

8. Borsutzki, M: «Prozeßintegrierte Ermittlung der Streckgrenze und der Tiefziehkenngrößen r_m und Δr an kaltgewalztem feuerverzinkten Feinblech» (in German), PhD-Thesis, University of the Saarland, Saarbrücken, 1997.
9. Borsutzki, M.; Kroos, J.; Reimche, W.; Schneider, E.: «Magnetische und Akustische Verfahren zur Materialcharakterisierung von Stahlblechen»; In: Stahl und Eisen 120, 12, 2000, p. 115.
10. Stegemann, D.; Reimche, W.; Heutling, B.; Krys, A.; Feiste, K.L.; Kroos, J.; Stolzenberg, M.; Westkämper, G.; Angerer, R.: «Characterization of mechanical-technological steel properties by Non Linear Harmonics Analysis within the production line», In: Proc. AIP Conf. 497/1 (1999). – P. 196.
11. EMG IMPOC, Quality Assurance during Strip Processing, Elektro Mechanik GmbH, Wenden, Firmenschrift.

РЕГИСТРАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

*А.А. Беспалько, П.И. Федотов, Л.В. Яворович
г. Томск, Россия, Томский политехнический университет*

Эффект механоэлектрических преобразований в диэлектрических материалах известен достаточно давно, некоторые из аспектов его объяснения и использования обсуждаются, например, в [1–4]. При механоэлектрических преобразованиях появление электромагнитного отклика из твердотельных диэлектрических сред, в том числе и горных пород, обусловлено в большой степени наличием в них двойных электрических слоев и воздействием на эти слои акустических сигналов. Образование двойных электрических слоев происходит по разным механизмам на границах контактирующих различных материалов, минеральных зерен, включений, прожилков, минерализованных жидкостей и ионизированных газов, на берегах микротрещин и пустот, а также на границах других макро и микро неоднородностей. Воздействующие на эти слои акустические импульсы могут возникать при нагружении материалов и горных пород с усилием, превышающим предел их прочности, прорастанiem трещин, при котором часть энергии высвобождается в виде акустических колебаний. Детерминированное акустическое возбуждение при контроле прочности и подготовке разрушения твердых тел может быть создано искусственно, например, с помощью пьезоакустических излучателей или ударом шарика. Акустические колебания приводят в действие механизм, при котором происходят изменения дипольного момента двойных электрических слоев и, как следствие, эмиссия электромагнитных сигналов. Таким образом, параметры электромагнитного отклика или характеристики электромагнитной эмиссии (ЭМЭ) твердотельной среды увязываются с характером ее деформирования, приводящего к движению зарядов двойного электрического слоя. Использование такой связи позволяет контролировать прочность и этапы подготовки стадий разрушения твердотельных материалов и массивов горных пород. Для автономной регистрации электромагнитной и акустической эмиссий (АЭ) в условиях шахт и повышенных электромагнитных помех необходима специальная аппаратура.

В Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников Томского политехнического университета для этих целей разработан, изготовлен и испытан в лабораторных и шахтных условиях регистратор ЭМЭ и АЭ. Блок-схема регистратора приведена на рис. 1.

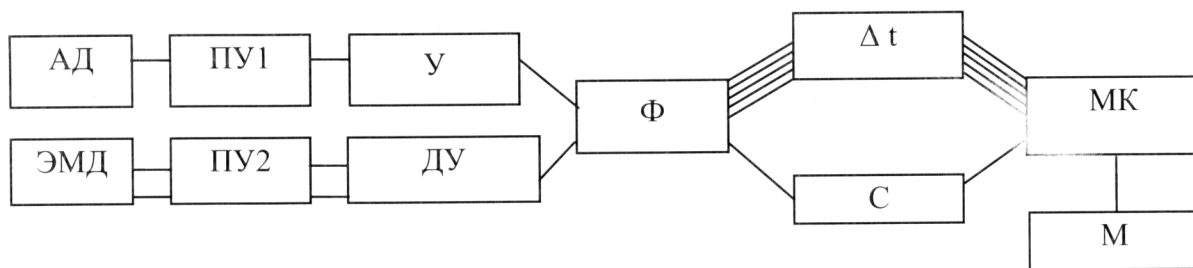


Рис. 1. Блок-схема регистратора электромагнитной и акустической эмиссий

На блок-схеме представлена последовательность обработки регистрируемых сигналов. Акустический широкополосный датчик (АД) преобразует колебания в напряжение от 50 мВ и выше, которое усиливается по мощности в предварительном усилителе (ПУ1), для передачи по длинной линии без искажений. Далее сигнал усиливается до заданных значений напряжений усилителем (У) и фильтруется полосовым фильтром (Ф) в диапазоне частот от 1.0 до 100 кГц. После этого сигнал усредняется по выбранному интервалу Δt равному 1 или 5 с, оцифровывается микроконтроллером МК и записывается на хранение во внутреннюю память прибора (М). Для приема электромагнитного сигнала используется пара емкостных или индукционных датчиков (ЭМД). Напряжения от 50 мкВ, снимаемые с них, усиливаются по мощности (ПУ2) для передачи по длинной линии также, как и для акустических сигналов. В дальнейшем полученные с ЭМД сигналы вычитаются на дифференциальном усилителе (ДУ), а результат усиливается до необходимых значений. Далее сигналы распределяются по трем узкополосным и одному широкополосному фильтрам (Ф) и компаратору (С). Здесь формируются 5 каналов данных мониторинга ЭМЭ, которые далее усредняются по выбранному интервалу времени Δt , оцифровываются МК и записываются в память. На компараторе также выделяются значимые по амплитуде импульсы, количество которых подсчитывается в интервале Δt и записывается в память. Запись информации о амплитудных изменениях ЭМЭ ведется по трем полосам с центральными частотами 2, 15, и 100 кГц, в широком диапазоне частот 1–100 кГц, а также фиксируется скорость поступления значимых по амплитуде ЭМС. Вся текущая информация о данных ЭМЭ, скорости счета ЭМС и АЭ выведена на экран регистратора. На нем же отображается меню с возможностями регулировки схем регистрации и работы внутренней программы. Регистратор ЭМЭ и АЭ имеет малое энергопотребление, поэтому аккумуляторы с емкостью 9.0 Ач и напряжением 6.0 В обеспечивают его бесперебойную автономную работу в течение 7 суток. Такой срок удобен при работе в шахтных условиях и поддерживается необходимым объемом памяти в 4 Мбайта, а также уменьшением потока информационных данных путем их усреднения в заданном промежутке времени Δt . Эти промежутки при необходимости могут быть изменены. Сервисная программа обеспечивает быструю перезапись собранной в памяти прибора информации на персональный компьютер, а сменный аккумулятор – продолжение его работы в последующие 7 суток. Регистратор имеет размеры $(280 \times 280 \times 30)$ мм³ при весе до 7 кг совместно с АД и ЭМД.

Для испытания работы регистратора ЭМЭ и АЭ в лабораторных условиях использовали пресс ИП-500, усилием до 50 тонн и образцы горных пород. Под действием такого усилия разрушаются образцы всех горных пород и диэлектрических материалов сечением 16 см². В качестве приемника ЭМЭ использовали емкостный дифференциальный датчик. На рис. 2 показан ход ЭМЭ на частоте 100 кГц и интенсивности ЭМС в диапазоне частот 1–100 кГц в процессе одноосного сжатия образца магнетитовой руды до разрушения. Повышенными значениями ЭМЭ отмечаются все стадии изменения напряженно-деформированного состояния образца: уплотнение; этап формирования

очага разрушения; этап предшествующий разрушению; фактическое разрушения. На этапе формирования очага разрушения происходит интенсивное образование микротрещин, которое сопровождается акустической эмиссией и, вследствие механоэлектрических преобразований, электромагнитной эмиссией. Наибольшее нарастание ЭМЭ происходит на полосе с центральной частотой 100 кГц. В дальнейшем перед фактическим разрушением образца происходит слияние микротрещин в более длинные, акустические импульсы от них также увеличиваются по длительности и, как следствие, электромагнитная эмиссия более эффективно регистрируется на меньших частотах.

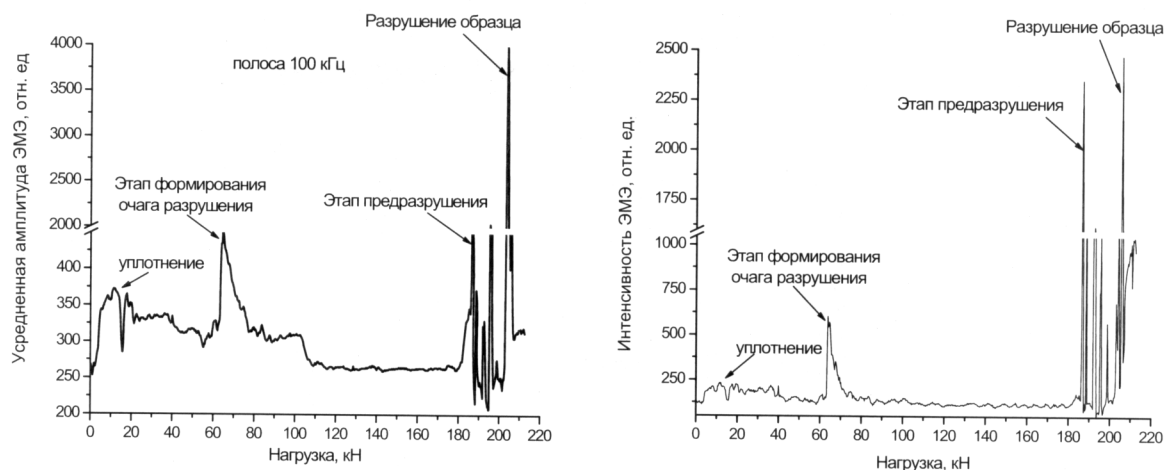


Рис. 2. Изменение ЭМЭ на частоте 100 кГц (а) и ее интенсивности (б) для образца магнетитовой руды при одноосном сжатии на прессе

Регистратор ЭМЭ и АЭ испытывали также в шахте Таштагольского железорудного месторождения, в которой отработка рудного тела производится взрывным способом. Для этих целей взрывают до 300 тонн взрывчатого вещества на глубине до 800 м, при этом высвобождается энергия до сотен мегаджоулей. В дальнейшем в результате такого возбуждения происходит релаксация горного массива, которая сопровождается геодинамическими проявлениями: вывалами, горными ударами, толчками и горно-тектоническими землетрясениями. На рис. 3 показаны изменения акустической и электромагнитной эмиссий до взрыва 297 тонн взрывчатого вещества в шестом блоке между горизонтами –140 и –210 м шахты Таштагольского рудника, во время взрыва и после него. При установке регистратора ЭМЭ и АЭ дифференциальные электромагнитные датчики располагались около северного борта орта 7 горизонта –210 м. Горный массив в месте установки комплекса сложен сланцами и скарнами. В качестве приемников электромагнитных сигналов использовались индукционные датчики, установленные в скважины, пробуренные в борту выработки на высоте 2 м от ее основания. Расстояние между приемными датчиками составляло 5 м. Приемником акустических сигналов служил широкополосный пьезопреобразователь специальной конструкции, который вбивался в борт проходки рядом с индукционными датчиками. После осуществления технологического взрыва горного удара не последовало. На рис. 3 видно, что до взрыва интенсивность АЭ и ЭМЭ минимальная. После взрыва интенсивность акустической эмиссии в определенные промежутки времени усиливается. Существенные изменения наблюдались и при регистрации ЭМЭ. Видно, что интенсивность ЭМЭ возрастает, а затем медленно возвращается в исходное состояние. Ход изменений ЭМЭ показывает в явном виде этапы релаксации горного массива после таких мощных взрывных возмущений. Следует отметить, что при развертывании полученных данных для более де-

тального просмотра, видна тонкая структура ЭМЭ, необходимая и полезная для разработки метода мониторинга и прогноза разрушительных геодинамических событий в шахтных условиях.

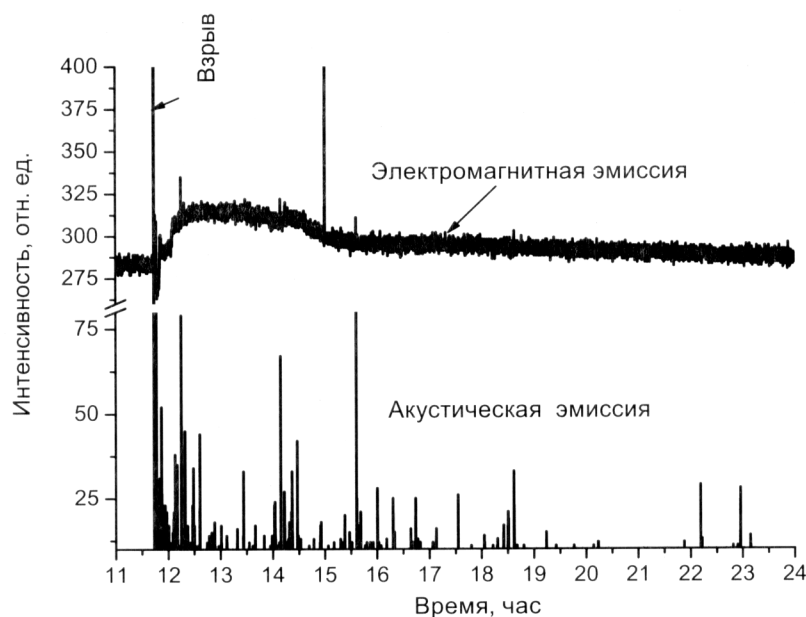


Рис. 3. Электромагнитная и акустическая эмиссии массива горных пород Таштагольского рудника до технологического взрыва, во время и после него в шестом блоке между горизонтами – 140 и – 210 м

Таким образом, созданный регистратор ЭМЭ и АЭ автономен при работе в течение 7 суток, имеет низкие энергопотребление и весогабаритные характеристики, удобен при снятии записанной в память информации по 6 каналам с помощью специальной сервисной программы. Этот прибор может быть эффективно использован: для контроля прочности и разрушения диэлектрических материалов при механическом нагружении в лабораторных условиях; для мониторинга геодинамических проявлений в шахтах и других подземных сооружениях; для разработки метода прогноза геодинамических проявлений в натурных условиях при естественном и техногенном изменении напряженно-деформированного состояния горного массива, а также при его искусственном акустическом зондировании.

Список литературы

1. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. – 1970. – № 12. – С. 3–13.
2. Хатиашвили Н.Г., Перельман М.Е. Генерация электромагнитного излучения при прохождении акустических волн через кристаллические диэлектрики и некоторые горные породы // Доклада АН СССР. – 1982. – Т. 263. – № 4. – С. 839–842.
3. Беспалько А.А., Суржиков А.П., Хорсов Н.Н., Яворович Л.В., Климко В.К., Штирц В.А., Шипеев О.В. Наблюдения изменений состояний массивов горных пород после массового взрыва по параметрам электромагнитной эмиссии // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7, спец. вып. – Ч. II. – С. 253–256.
4. 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.