

УДК 622.831

## К оценке геологических нарушений угольных пластов по характеристикам электромагнитного излучения массива

Кожушок О. Д.<sup>1</sup>, Сергиенко В. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ЗАО «Донецксталь», Донецк, Украина

<sup>2</sup> Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины, Днепрпетровск, Украина

---

### Аннотация

Исследованы закономерности электромагнитного излучения угля и алевролита при сжимающем нагружении. Обоснована методика выявления аномальных зон в угольных пластах по их излучению. Приведены результаты натуральных исследований

---

Еще в середине прошлого века было установлено, что при хрупком разрушении горных пород происходит высвобождение энергии в различных формах, в том числе и в виде широкополосного электромагнитного излучения [1, 2]. Создание технических средств для регистрации излучения стало возможным в 70-ых годах 20 века в связи с переходом электроники на полупроводниковую схемотехнику. Проведенные в бывшем СССР и на Украине обширные исследования показали перспективность данного метода при изучении геодинамических явлений [3, 4].

Особенностью процесса электромагнитного излучения (ЭМИ) является индивидуальный характер его проявления для различных типов пород, с учетом условий конкретного месторождения. Он проявляется в интенсивности излучения, в его спектральном составе, в приуроченности к определенным стадиям напряженно-деформированного состояния. Для определения особенностей излучения под нагрузкой угля, взятого с пласта  $d_4$  шахты «Красноармейская-Западная № 1», а также расположенного в кровле и почве пласта алевролита, был проведен лабораторный эксперимент. Его схема представлена на рис. 1.

Датчик электромагнитного излучения представляет собой незамкнутый ферритовый П-образный сердечник с намотанной на нем катушкой. Параллельно катушке подключена емкость. Резонансная частота образовавшегося колебательного контура составляет около 80 кГц. Конструкция помещена в металлический экран и незамкнутой частью магнитопровода обращена к исследуемому образцу. Ввиду незначительной величины сигнала, он предварительно усиливается усилителем переменного тока. Регистрация сигнала, характеризующая уровень ЭМИ, осуществляется вольтметром переменного тока.

С помощью тензометрического силоизмерителя действующее на образец сжимающее усилие преобразуется в аналоговый электрический сигнал, который усиливается с помощью усилителя постоянного тока, а затем его величина измеряется вольтметром постоянного тока.

Синхронная регистрация показаний обоих вольтметров осуществляется видеосъемкой.

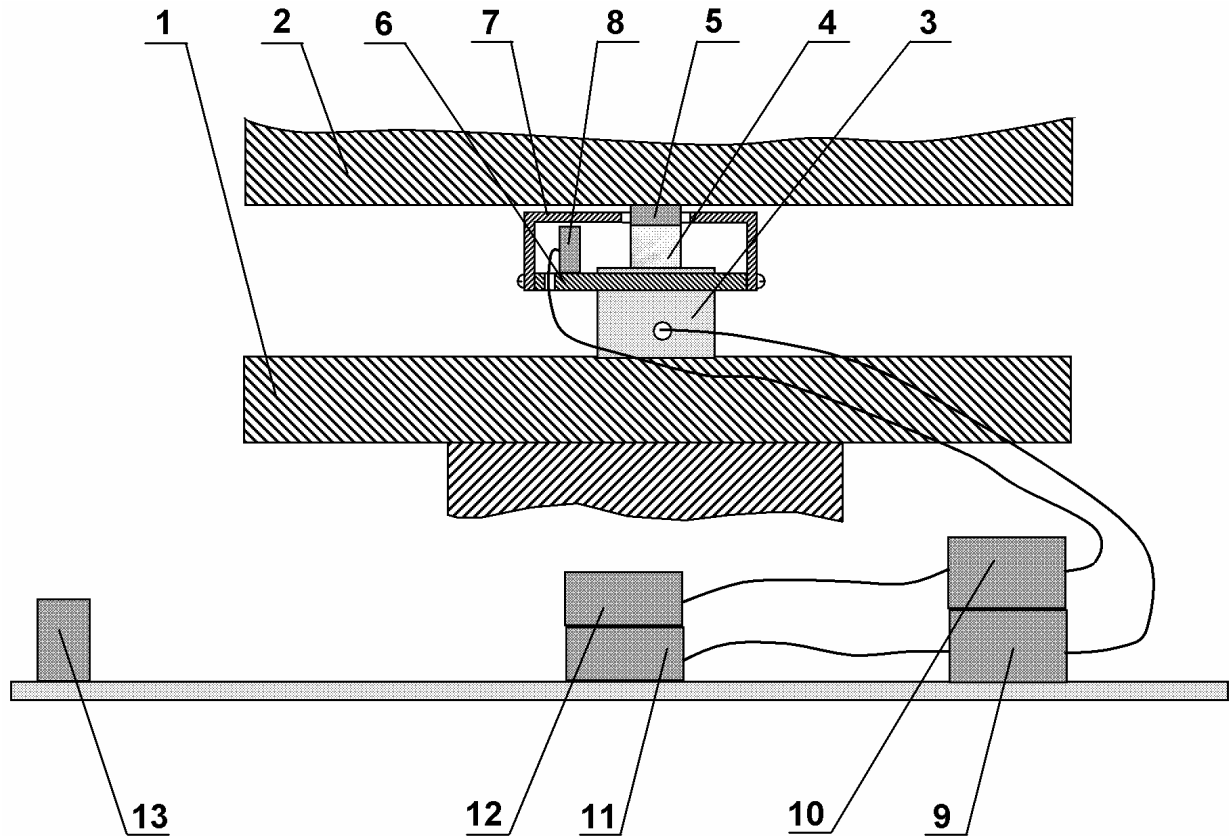
Для возможности оценки уровня ЭМИ по отношению к стадии деформирования величина действующего напряжения представляется в относительных единицах, представляющих собой отношение текущего сжимающего напряжения  $\sigma$  к пределу прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$ .

Величина уровня электромагнитного излучения в пределах полосы пропускания датчика и канала усиления дана в относительных единицах.

Для каждого из типов пород получены характерные зависимости изменения уровня ЭМИ от напряженно-деформированного состояния. Они представлены на рис. 2 и 3.

Обобщенные характеристики процесса электромагнитного излучения при нагружении для угля и алевролита представлены в табл. 1. Даны относительные величины напряжений для максимумов излучения до предела прочности и на стадии запредельного деформирования, а также значения указанных максимумов излучения, представленные в условных единицах.

Особенностью угольных образцов является весьма низкий уровень излучения до некоторого порогового сжимающего напряжения.



1 – нижняя плита пресса, 2 – верхняя плита пресса, 3 - тензометрический силоизмеритель, 4 – исследуемый образец, 5 – изолирующая прокладка, 6 – кронштейн, 7 – экран, 8 – датчик ЭМИ, 9 – усилитель постоянного тока, 10 - усилитель переменного тока, 11 – цифровой вольтметр постоянного тока, 12 – цифровой вольтметр переменного тока, 13 – видеокамера

Рис. 1. Общая схема установки для оценки интенсивности электромагнитного излучения геоматериалов под сжимающей нагрузкой

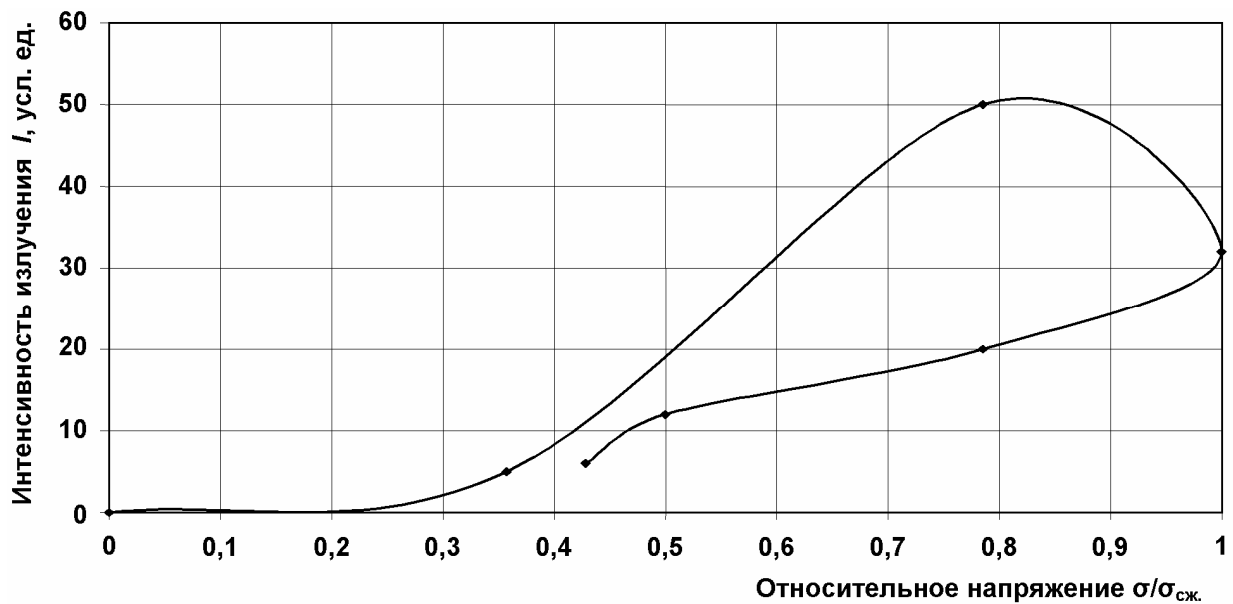


Рис. 2. Характерная зависимость уровня электромагнитного излучения от величины относительного сжимающего напряжения для угля.

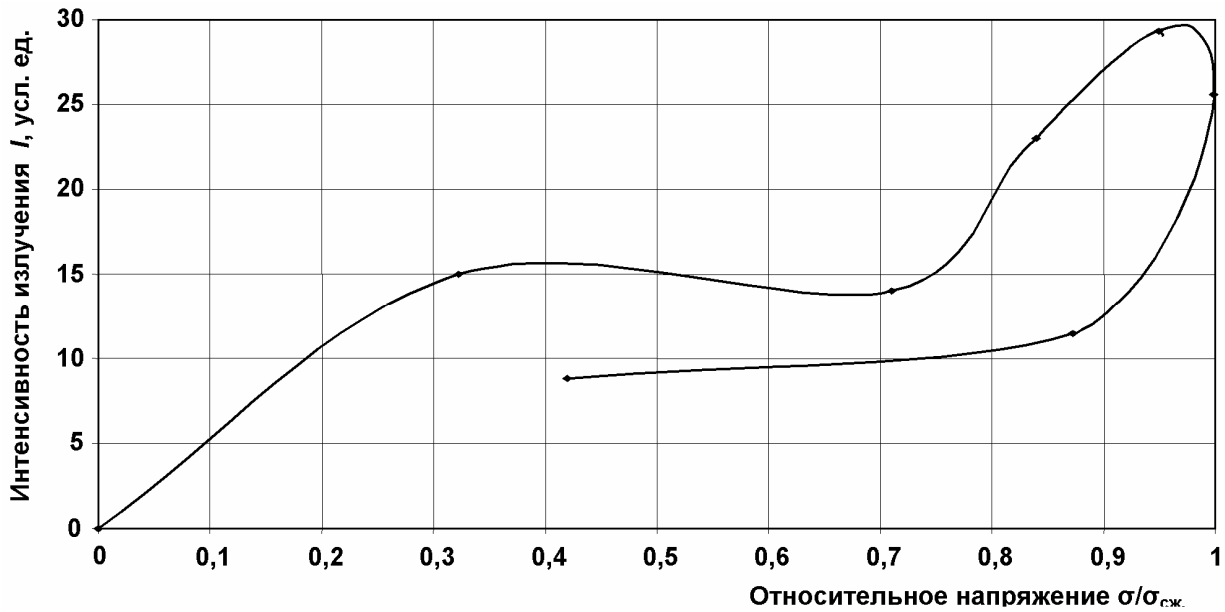


Рис. 3. Характерная зависимость уровня электромагнитного излучения от величины относительного сжимающего напряжения для алевролита

Табл. 1. Обобщенные характеристики электромагнитного излучения угля и алевролита под нагрузкой

Геоматериал	Максимальный уровень $I$ , у. е.		Положение максимума $\sigma/\sigma_{сж}$ .	
	до предела прочности	за пределом прочности	до предела прочности	за пределом прочности
уголь	33	25	0,80	1,00
алевролит	26	26	0,96	1,00

Затем по мере нагружения происходит монотонное возрастание уровня излучения, достигающее максимума на стадии интенсивного образования макротрещин в образце. При разрушении образца интенсивность излучения падает и постепенно уменьшается на запредельной стадии деформирования.

Для образцов алевролита характерен более высокий уровень излучения при небольших относительных напряжениях. Следует, однако, учесть что ввиду большой разности показателей предела прочности на одноосное сжатие (13–15 МПа для угля и 40–60 МПа для алевролита) абсолютная величина механического напряжения при этом сопоставима с разрушающим для угля. Особенностью алевролита является наличие участка стабилизации уровня излучения в широком диапазоне нагружения, а затем резкое возрастание при напряжениях, близких к разрушающим. На запредельном участке деформирования наблюдается весьма резкое снижение интенсивности излучения с выходом на участок стабилизации при разгрузке образца.

Данные табл. 1 свидетельствуют, что при измерении в выработке, пересекающей угольный пласт, его излучение вносит значительную часть в общий электромагнитный фон. Максимум интенсивности электромагнитного излучения для угля приурочен к уровню сжимающего напряжения порядка  $0,8 \sigma_{сж}$ . На этой стадии деформирования в угле идет интенсивное формирование новых трещин. Указанное явление как раз и является характерным для зон геологических нарушений, где угольный массив уже предварительно ослаблен и процесс его разрушения на локальных участках начинается быстрее, чем в пласте с выдержанным строением.

Необходимо учитывать и то обстоятельство, что при измерениях в натуральных условиях регистрируемый сигнал представляет собой сумму естественного и техногенного излучения. Для снижения техногенного фона измерения в выработке следует выполнять в ремонтную смену при неработающем комбайне и конвейере.

В связи с отсутствием на Украине отечественных разработок для измерения характеристик естественного электромагнитного излучения, которые бы удовлетворяли современным требованиям эксплуатации в условиях угольных шахт, опасных по газу и пыли, для выполнения

экспериментальных шахтных исследований была использована доработанная аппаратура ДЭМОН. Указанная аппаратура была разработана Феодосийским институтом инженерной экологии и выпускалась малыми сериями по заявкам организаций, занимающихся прогнозом устойчивости грунтовых откосов. При сдвигении грунтовых масс большого объема, что характерно для оползневых явлений в Крыму, так же как и при разрушении, возникает широкополосное электромагнитное излучение, хотя его природа несколько другая – трибозлектрический эффект.

Доработка аппаратуры была выполнена совместными усилиями специалистов НПП Технополис «Экоиндустрия» и Института геотехнической механики НАН Украины. Модернизированная аппаратура ДЭМОН прошла экспертизу в МакНИИ и в таком исполнении допущена для использования в угольных шахтах, опасных по газу и пыли.

Фиксируемое в натуральных условиях угольной шахты электромагнитное излучение по своей природе является случайным процессом и представляет собой сумму техногенной составляющей, электромагнитного фона, определяемого крупномасштабными процессами, происходящими в земной коре и атмосфере, а также локальных пространственных вариаций, определяемых строением и состоянием породного массива в ближней зоне приема. Указанные обстоятельства определяют особенности применения метода регистрации естественного электромагнитного излучения для оценки степени нарушенности угольного пласта и вмещающих пород.

Главной особенностью, впрочем присущей многим геофизическим методам, является подход к выявлению аномальных участков в массиве, заключающийся в том, что критерием аномалии является не абсолютное значение регистрируемого параметра, а его экстремальное значение на фоне всей совокупности результатов измерений. Отсюда вытекает, что все измерения на данном участке должны быть выполнены по единой методике, с использованием одного измерительного средства и в кратчайший срок. Последнее обстоятельство связано как с медленными изменениями глобального электромагнитного фона, так и с ограниченным интервалом времени, в течение которого можно приостановить в выработке работу механизмов с силовым электроприводом.

Для более достоверной оценки рекомендуется использование направленных антенн и одинаковая их ориентация по отношению к угольному пласту для всей совокупности измерений. Такая возможность предусмотрена и в используемой аппаратуре ДЭМОН, снабженной встроенной системой магнитных антенн.

С учетом значительного разброса показаний количество измерений в одной точке рекомендуется принимать не менее пяти и в качестве информативного параметра пользоваться усредненным значением. При наличии в указанной выборке явно аномальных значений, рекомендуется повторное проведение измерений в данной точке профиля.

Показания прибора даются в относительных единицах и определяются заданным уровнем чувствительности и временем интегрирования входного сигнала. Оба указанных параметра должны быть неизменными в пределах всей совокупности измерений.

Метод эффективен при комплексировании с другими. При интерпретации полученных данных необходимо учитывать всю имеющуюся геологическую информацию по данному участку.

Методика апробирована в условиях шахты «Красноармейская-Западная № 1» на участке с мелкоамплитудной тектонической нарушенностью угольного пласта. Для эксперимента была выбрана дорабатываемая 3-я южная лава бремсберга блока № 5. План экспериментального участка представлен на рис. 4.

При интерпретации полученных результатов измерений необходимо учитывать, что напряженно-деформированное состояние массива на концевых участках лавы отличается от его состояния в центральной части лавы.

В связи со сложностью линейных измерений в лаве привязка точек измерений осуществлялась по стойкам механизированной крепи.

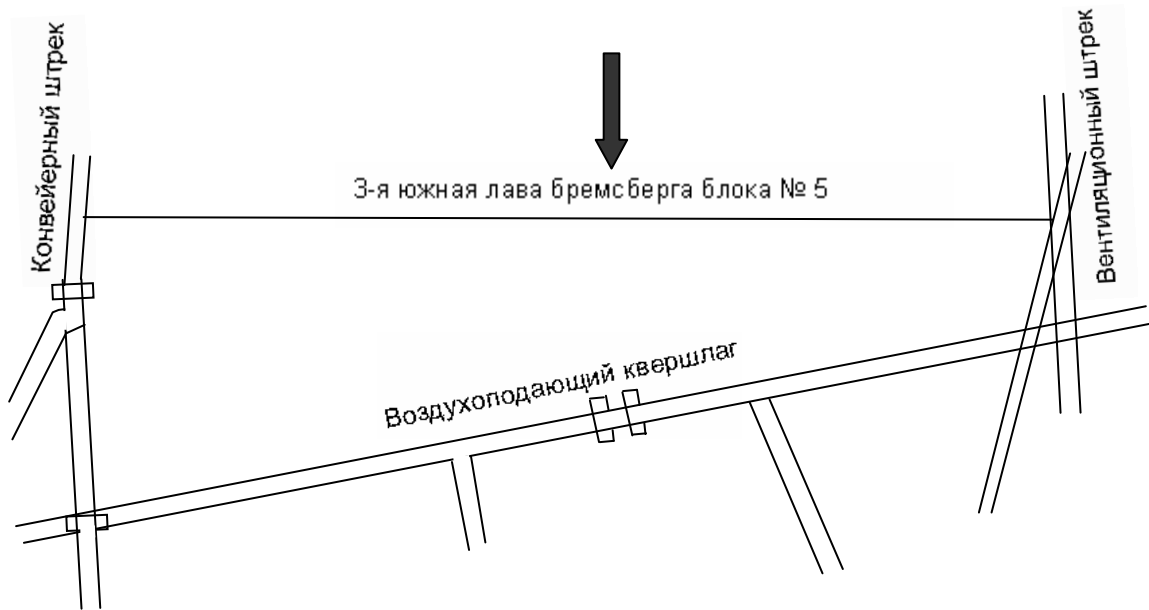


Рис. 4. Схема экспериментального участка

На концевых участках лавы измерения выполнялись напротив каждой второй стойки, а в центральной части точки измерения были разрежены.

Попутно с измерениями выполнялась прорисовка угольного пласта.

Результаты измерений и визуальных наблюдений в лаве иллюстрируются рис. 5.

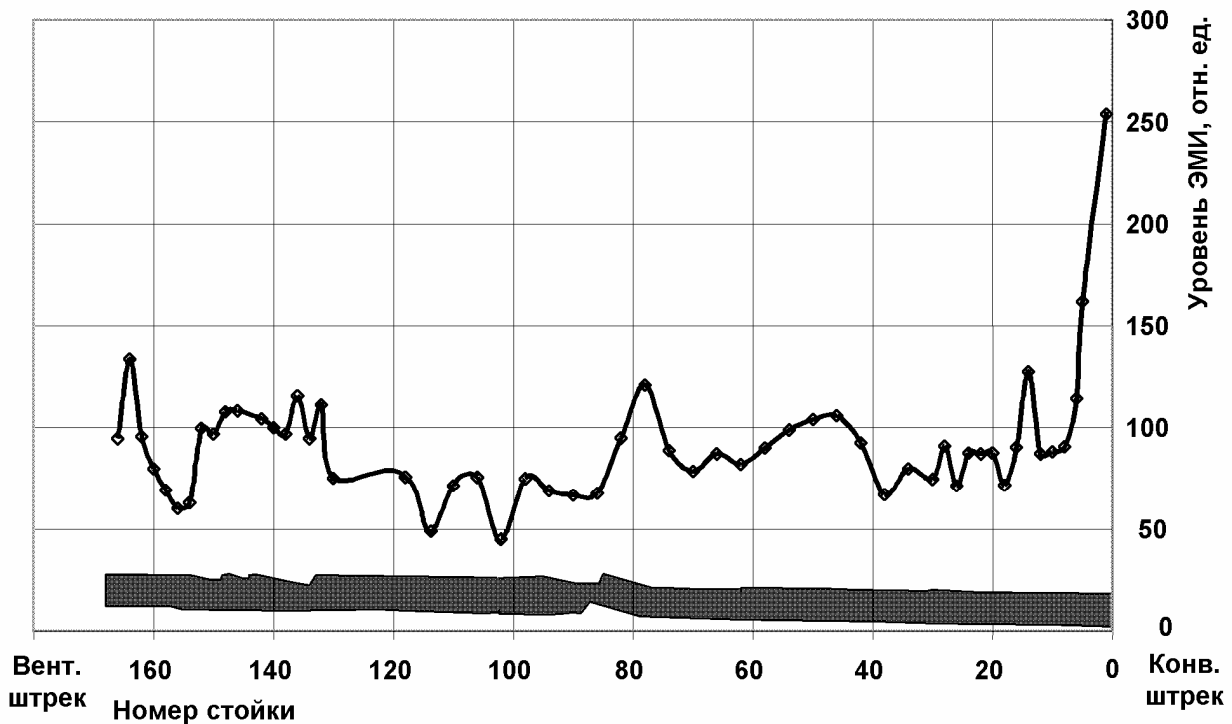


Рис. 5. Изменение уровня электромагнитного излучения вдоль лавы, пересекающей мелкоамплитудное геологическое нарушение

Рис. 5 свидетельствует о повышенном значении электромагнитного излучения на концевых участках лавы, которое особенно заметно со стороны конвейерного штрека. Этот результат вполне согласуется с представлениями об интенсификации процессов хрупкого разрушения в приконтурной зоне массива на сопряжении «штрек–лава».

Участок с повышенным значением интенсивности ЭМИ в пределах стоек 132–152 практически совпадает с визуально наблюдаемым нарушением угольного пласта. В то же время положение всплеска уровня излучения в районе стойки 78 смещено в сторону конвейерного штрека по отношению к участку вертикального смещения пласта. По полученным данным прогнозируется развитие нарушения в указанном направлении при дальнейшем перемещении фронта очистных работ.

Специфические условия угольной шахты значительно ограничивают возможности геофизических методов, потенциально применимых для оценки состояния породного массива. В этом плане использование метода регистрации естественного импульсного электромагнитного излучения массива с использованием искровзрывобезопасной аппаратуры является выигранным в плане высокой оперативности контроля, возможности оценки состояния выработок большой протяженности и безопасности работы с аппаратурой. Следует отметить, что с повышением глубины разработки затраты при использовании метода не возрастают, а его информативность повышается, так как возрастает отношение полезного сигнала к фону.

### **Библиографический список**

1. Хапшашвили, Н. Г. Об электромагнитном эффекте при трещинообразовании в щелочно-галоидных кристаллах и горных породах [Текст] // Изв. АН СССР, сер. «Физика Земли». – 1984. – № 9. – С. 23 – 27.
2. Егоров, П. В. Выявление в массиве зон повышенных напряжений по локальному электромагнитному излучению [Текст] / П. В. Егоров, В. П. Корнейчиков // Методология измерения напряжений в массиве горных пород. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1978. – С. 109 – 112.
3. Веселовский, Г. С. Опыт применения метода ЕИЭМПЗ для диагностики состояния подземных и наземных сооружений [Текст] / Г. С. Веселовский, З. В. Варивода, В. Н. Сергиенко // Проблемы гидродинамики в горном деле и строительстве. Ч 1. – К.: Изд-во КПИ, 1996. – С. 91.
4. Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике породного массива и подземных геотехнических систем [Текст]. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ им. Н. С. Полякова. – 2004. – 75 с.

© Кожушок О. Д., Сергиенко В. Н., 2009 г.