

Исследование пьезоэлектрического эффекта горных пород



Д.В. Ботвенко,
канд. техн. наук, зав.
лабораторией



М.С. Сазонов,
канд. техн. наук, ст.
науч. сотрудник



В.Г. Казанцев,
д-р техн. наук, зав.
кафедрой



В.В. Высоцкий,
ст. преподаватель

ОАО «Научный центр ВостНИИ по безопасности работ в горной промышленности»

Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова

ФГБОУ ВПО «КемГУ»

Представлены данные исследований пьезоэлектрического отклика горных пород (кварцит, песчаник и алевролит) с различным содержанием диоксида кремния при статических и динамических нагружениях образцов. Установлено, что горные породы, обладающие пьезоэлектрическим эффектом при неблагоприятных сочетаниях механического состояния угленосного массива и шахтной атмосферы способны вызывать взрывное горение метановоздушной смеси. Предложен силовой критерий оценки возможности взрыва метановоздушной смеси при обрушениях горных пород.

Investigation data of the piezoelectric response of rocks (quartzite, sand-rock and silty rocks) with different content of silica under static and dynamic loading of samples are given in the Article. It is established that the rocks possessing piezoelectric effect under unfavourable combination of mechanical condition of the coal-bearing massif and mine atmosphere can cause methane-air mixture explosive burning. Power criterion for evaluating the potential of explosion of methane-air mixture under the collapse of rocks is proposed hereby.

Ключевые слова: пьезоэлектрический эффект, горная порода, диоксид кремния, напряжения.

Производство горных работ на выемочных участках сопряжено с неизбежным обрушением вышележащей толщи горных пород. При обрушении кровли угольных пластов, сложенной породами с большим содержанием свободного диоксида кремния, возникает опасность воспламенения метановоздушной смеси в выработанном пространстве, инициируемого трещинообразованием, динамическим разрушением и фрикционным трением элементов горных пород.

Одна из вероятных причин воспламенения и взрыва метановоздушной смеси — мощные электрические разряды между берегами образующихся экзогенных трещин при их развитии или между кусками пород при их разрушении.

Напряженность электрического поля в горных породах имеет различную природу. В нетронutom массиве — это естественные электрические поля, теллурические и локальные, обусловленные вариациями магнитного поля Земли и геофизическими явлениями, такими как трение отдельных масси-

вов пород при их сдвигении, электрические поля, возникающие в результате фильтрационных и диффузионных процессов жидкости и газа, имеющие биологическую и иную природу. Вместе с тем такие электрические поля не представляют особой опасности даже в случае их неблагоприятной суперпозиции, поскольку процесс эволюции электрического поля растянут во времени. Это объясняется тем, что период спонтанной поляризации невелик, время завершения макроструктурной поляризации у различных пород составляет $1 \cdot 10^{-8} \div 1 \cdot 10^{-3}$ с. Время жизни свободных электронов, например, у диоксида кремния около 10 мс. По этой причине внешние плавно изменяющиеся во времени геофизические воздействия на структуру горных пород можно считать статическими, а электрические поля — уравновешенными из-за утечки зарядов.

Иная картина проявляется при разрушении горных пород, когда время разрушения сопоставимо со временем деполяризации. Таким образом, на напряженность электрического поля влияет как ско-

рость нагружения горных пород, так и величина их нагрузки (разгрузки).

При обрушениях кровли возникновению аномальных всплесков электрических полей и лавинообразному освобождению энергии в крест простирания способствует спонтанное выделение потенциальной энергии деформации в момент разрушения пород (разделение кусков пород на части) в малые промежутки времени при практически мгновенном снятии нагрузки.

Как известно, во многих кристаллах при растяжении и сжатии в определенных направлениях возникает электрическая поляризация. В результате этого на их поверхностях появляются электрические заряды обоих знаков, так называемый прямой пьезоэлектрический эффект.

Исследованиям возникновения электрических полей в условиях быстропротекающих процессов разрушения, в том числе в горных породах, посвящен ряд работ [1–4].

При этом установлено следующее:

заряды на свежих сколах возникают в процессе раскалывания породы вследствие перераспределения электронов или ионов между стенками бегущей трещины;

наличие хаотических структурных дефектов в материале не оказывает определяющего воздействия на распределение зарядов вдоль поверхности разрушения;

накопление положительных и отрицательных зарядов на берегах движущейся трещины зависит от деформации разделяющихся частей. Вместе с тем вопрос о механизме миграции зарядов остается открытым.

Пьезоэлектрические эффекты, возникающие в горных породах, можно объяснить моделью Мейснера. Горные породы содержат вкрапления диоксида кремния SiO_2 различной концентрации, достигающей 60 % и выше. Его кристаллическая решетка состоит из четырех положительных ионов кремния и двух отрицательных ионов кислорода. При деформациях сжатия и растяжения горных пород возникают положительные и отрицательные электрические заряды на краях трещин или плоскостей, образующихся при разрушении. При этом величина зарядов пропорциональна величине деформации. В связи с тем, что между деформацией и приложенной силой, согласно закону Гука, существует прямая зависимость, поляризация кристалла при пьезоэлектрическом эффекте должна быть пропорциональна приложенной силе.

В работах [5–8] подтверждено наличие эффекта пьезоэлектричества в горных породах экспериментально, а затем теоретически установлена пропорциональная связь между величиной заряда на грани породного массива (образца) и приложенной к ней силой. Если сдвиговые напряжения отсутствуют, то поляризация образца при растяжении или сжатии широко известна и определяется по выражению

$$Q = d\sigma, \quad (1)$$

где Q — поверхностная плотность заряда; d — коэффициент пропорциональности между электрическими и механическими напряжениями (пьезоэлектрический модуль); σ — нагрузка.

При снятии нагрузки или прекращении ее нарастания, с течением времени заряды исчезают.

Пьезоэлектрический эффект может достигаться не только под действием нормальных напряжений, но и под действием сдвиговых сил.

В общем случае напряженное состояние объекта в точке характеризуется тензором напряжений, включающим шесть компонент нормальных и сдвиговых напряжений, а вектор поляризации Q имеет три независимые компоненты. Поэтому коэффициент d в выражении (1) представляет собой 18 различных пьезоконстант. Поскольку все пьезоконстанты связаны друг с другом, то при описании пьезоэлектрических свойств можно ограничиться лишь одной константой, например d . Вместо многопараметрического анализа напряженного состояния тела по тензору напряжений целесообразно рассмотреть эквивалентное напряжение. При переходе от многопараметрического анализа к однопараметрическому в качестве эквивалентных напряжений целесообразно рассмотреть интенсивность напряжений S_p , поскольку этот параметр представляет совокупность компонент тензора напряжений.

При этом выражение (1) приобретает обобщенный вид, отражающий однопараметрическую связь между электрическими зарядами и механическими напряжениями, которая пригодна при исследовании быстропротекающих процессов:

$$Q = dS_p, \quad (2)$$

где $S_i = (3/2 S_{ij} S_{ij})^{1/2}$; S_{ij} — компоненты тензора девиатора напряжений.

По данным работы [9] хрупкое разрушение твердых тел, в том числе горных пород, сопровождается электромагнитным излучением в диапазоне частот от десятков килогерц до десятков мегагерц и амплитудой напряженности электрической составляющей поля от долей микровольт на метр до сотен вольт на метр в зависимости от размеров разрушений и свойств разрушаемых тел.

Данные электромагнитные явления обусловлены различными по своей природе физическими процессами, протекающими в зоне концентрации напряжений, которые могут быть объединены в следующие три основные группы. Возникновение электрических разрядов вследствие высоковольтной поляризации горных пород при их смещениях за счет пьезо-, сейсмо-, трибо- и электрохимических (фильтрационных) эффектов.

Перенос зарядов на берега трещин из приповерхностных объемов массива вследствие направленного перемещения заряженных дислокаций из-за

асимметрии поля напряжений в вершине образующейся трещины приводит к эмиссии носителей заряда со стенок трещины в поле высокой напряженности и, как следствие, к возможности образования электрического пробоя вблизи вершины трещины между ее берегами.

Анализируя вышеперечисленные теории и гипотезы, можно сделать вывод о том, что при обрушении горных пород в выработанных пространствах выемочных участков возможно возникновение температурного импульса посредством пьезоэлектрического эффекта, достаточного для воспламенения метановоздушной смеси.

В рассматриваемой проблеме о возможности воспламенения метановоздушной смеси от пьезоэлектрического эффекта к ключевым факторам относятся параметры напряжений пробоя и условия существования такого пробоя — установление критерийных оценок воспламенения метановоздушной смеси в условиях разрушения горных пород.

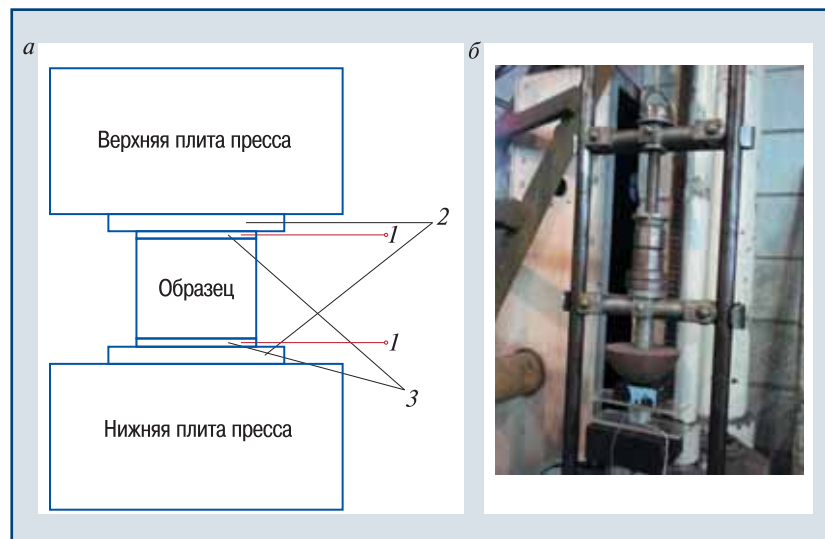
Результаты опытов по исследованию пьезоэлектрического эффекта различных материалов и точность количественных измерений пьезоэлектрических параметров монокристаллов или текстур в значительной степени зависят от выбора методики измерения, который определяется предполагаемым пьезоэлектрическим эффектом, а также электромеханическими свойствами исследуемого материала.

Ввиду того, что в пьезоэлектрических материалах наблюдают прямой и обратный пьезоэлектрический эффект, все методы измерений можно разделить на две группы: с прямым и обратным пьезоэлектрическим эффектом.

При прямом пьезоэлектрическом эффекте методы использования образцов пород можно разделить на статические и динамические в зависимости от характера приложения механического усилия. В первом случае нагрузку или разгрузку образца производят многократно, периодически, во втором — однократно. Экспериментальные исследования показали, что тот и другой методы приемлемы для изучения пьезоэлектрического эффекта горных пород и минералов.

Экспериментальные исследования пьезоэлектрического эффекта горных пород осуществляли двумя способами: статическим и динамическим. При статическом нагружении использовали жесткий механический пресс LOIS Schorper для испытания горных пород на сжатие и растяжение усилием до 100 кН (10 тыс. кгс), скорость нагружения составляла 20 мм/мин. Разность потенциалов на образце горной породы в результате нагружения измеряли

цифровым осциллографом Tektronix DPO 2024 по схеме, показанной на рис. 1, а.



▲ Рис. 1. Схема и общий вид установки для экспериментального определения пьезоэлектрического эффекта горных пород

Важные условия проведения эксперимента — заземление осциллографа, изоляция образца от металлических частей нагрузочного приспособления, очистка поверхности образцов от инородных тел, высушивание их до полного удаления влаги.

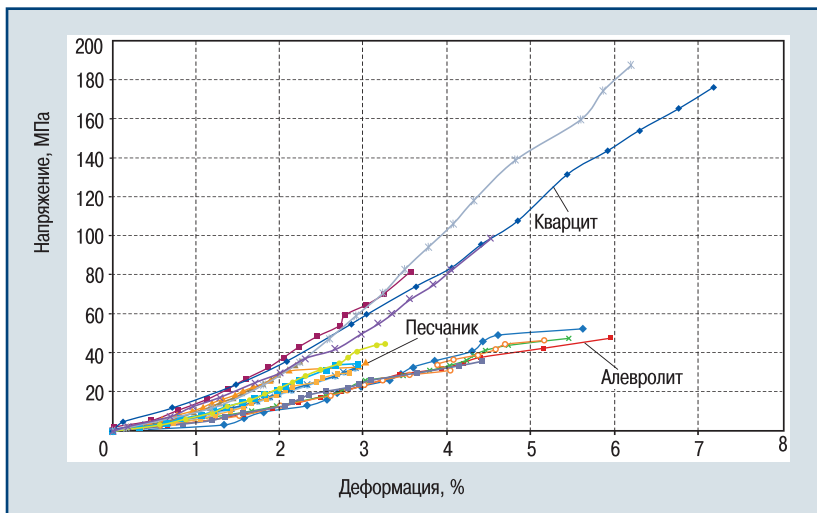
Перед началом экспериментов в качестве теста была опробована пьезозажигалка делителем напряжений для защиты осциллографа. Коэффициент деления схемы равен 200, т.е. значения, отображаемые на осциллографе (В), меньше действительных в 200 раз. В пьезозажигалке использован искусственный элемент — пьезокерамика. Схема проверена с помощью эталонного источника постоянного тока при напряжении до 300 В, расхождение составило меньше 1 %.

Результаты экспериментов показали, что разность потенциалов, возникающая в пьезозажигалке между электродами, достигает 8160 В, а длительность этого импульса приблизительно равна 130 мс.

После испытаний было принято решение провести опыты на образцах горной породы с понижающей схемой и без нее. Первые же эксперименты показали небольшую разность потенциала, поэтому в последующих опытах понижающая схема не применялась.

В экспериментах использовали образцы горных пород. Диаграммы деформирования (рис. 2) и физико-механические характеристики пород (табл. 1) получены при одноосном сжатии образцов в соответствии с [10, 11].

Для определения предела прочности при сжатии подготовили пять образцов кубической формы размерами 2×2×2 см для каждого типа горной породы, затем их тщательно отшлифовали до параллельности граней. Для установления модуля упругости подготовили пять образцов призматической формы



▲ Рис. 2. Диаграммы деформирования горных пород:
 1–5 – образцы кварцита соответственно № 1, 2, 3, 4, 5; 6–10 – образцы алевролита соответственно № 4, 5, 6, 7, 9; 11–15 – образцы песчаника соответственно № 1, 2, 3, 4, 5

Таблица 1

Горная порода	Предел прочности при сжатии, МПа	Модуль упругости, МПа	Содержание диоксида кремния, %
Кварцит	115,9	1742	62
Песчаник	50,7	996	33
Алевролит	44,0	753	33

размерами 2×2×4 см для каждого типа горной породы. Деформации измеряли с помощью индикаторов цифровых с ценой деления 0,001 мм.

Результаты экспериментальных исследований пьезоэлектрического эффекта для образцов кварцита представлены на рис. 3. Образцы нагружали до полного разрушения. При этом во время разрушения и откалывания кусков на осциллограмме регистрировали импульсы напряжения. Важно отметить, что на образцах песчаника и алевролита при медленной скорости нагружения (20 мм/мин) до разрушения образца амплитуда импульсов не превышала 1 В.

Максимальное напряжение на гранях образца кварцита составило около 8 В при длительности импульса 36 мс. Под импульсом понимают кратковременный всплеск напряжений на осциллограмме в процессе деформирования образца горной породы.

Динамический метод исследования пьезоэлектрического эффекта горных пород отличается от статического скоростью прикладываемой нагрузки. В данных исследованиях воспроизводилось ударное нагружение образца. Следует отметить, что динамический метод моделирования наиболее близок к реальному процессу обрушения горных пород в выработанном пространстве.

Для исследования пьезоэлектрического эффекта горных пород была создана установка, позволяющая практически мгновенно прикладывать нагрузку к образцу. Она представляет собой наковальню, на которую с определенной высоты сбрасывают груз

известной массы по направляющим (рис. 1, б). В процессе испытаний варьировали высоту сбрасывания груза и его массу.

При ударе среднее значение динамических напряжений σ_d (МПа) в образце рассчитывали в зависимости от сопротивления материалов:

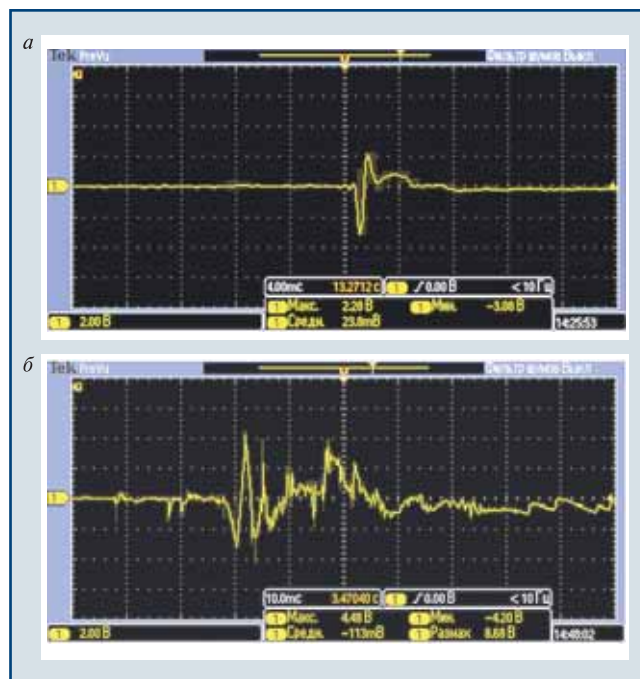
$$\sigma_d = \frac{G_{гр}}{F_{обр}} \sqrt{1 + 2H \frac{EF_{обр}}{G_{гр}l_{обр}}}, \quad (3)$$

где $G_{гр}$ – вес груза, Н; $F_{обр}$ – площадь сечения образца, м²; H – высота падения груза, м; E – модуль упругости образца, Па; $l_{обр}$ – высота образца, м.

Предел прочности при ударе определяли по разрушению образца, если же этого не происходило после первого удара, то увеличивали высоту сбрасывания груза на 8 см, что соответствует повышению напряжения до 9,15 МПа (определено по формуле (3) для песчаника, а вес груза оставался неизменным. Всего было испытано шесть образцов песчаника.

При практически мгновенном приложении нагрузки динамический

предел прочности при одноосном сжатии для песчаника оказался на 49 % выше статического. Пределы прочности при сжатии песчаника для различного вида приложения нагрузки приведены ниже.



▲ Рис. 3. Осциллограмма напряжений при испытании образца кварцита:
 а – № 12 (напряжение 5,36 В, длительность всплеска 4,8 мс);
 б – № 16 (напряжение 8,68 В, длительность всплеска 36 мс)

Динамический предел прочности, МПа 75,8
 Статический предел прочности, МПа 50,7
 Прирост, % 49,0

Результаты определения электрического напряжения в образцах песчаника при динамическом приложении нагрузки представлены в табл. 2.

редать свой потенциал через диэлектрический песчаник на медные пластинки.

На рис. 4 представлена осциллограмма образца песчаника № 45 при динамическом приложении нагрузки.

В большинстве случаев длительность электрических импульсов составляет 3–4 мс. Необходимо также отметить, что регистрируемая осциллографом разность потенциалов на обкладках образца во время испытания при динамическом приложении нагрузки — обобщенная величина, в которую входят величина пьезоэлектрического эффекта и некоторая величина шумов, определяемая при «холостом» (без образца) испытании.

Во время испытания образца песчаника № 23 при первом и втором ударах видеокамера зафиксировала искру между образцом песчаника и обкладкой, при этом показание осциллографа не поднималось выше 24 В. Кадры видеозаписи, на которых зафиксированы моменты появления искры, приведены на рис. 5, а, б. При этом разность потенциалов (9 В, 12 мс), которую регистрировал осциллограф, показана на рис. 5, в.

Искровые разряды, зафиксированные при проведении опытов, — прямое, а взрывы метановоздушных смесей при обрушении горных пород — косвенное подтверждение возможности развития аварийных ситуаций, сопровождающихся взрывами метановоздушных смесей в выработанном пространстве вследствие

возникновения искровых разрядов в горных породах в моменты их разрушения. Например, в заключении экспертной группы по расследованию аварии с групповым несчастным случаем, происшедшей 08.05.2010 в ОАО «Распадская» ЗАО «Распадская угольная компания», говорится, что породы почвы и кровли всех разрабатываемых пластов отнесены к взрывоопасным по фрикционному воспламенению метановоздушной смеси. Фрикционное искрение в выработанном пространстве при обрушении пород также исключается, поскольку посадок кровли, по

Таблица 2

Номер образца	Нагрузка, МПа	Напряжение на обкладках образца, В	Площадь образца, см ²	Высота образца, см	Пьезоэлектрический модуль $d \cdot 10^{-3}$, м/В
16-1	52,24	3,2	3,05	2,050	0,34
16-2	61,39	6,0	3,05	2,050	0,21
16-3	71,20	6,6	3,05	2,050	0,22
16-4	81,42	4,4	3,05	2,050	0,38
18-1	63,75	4,2	3,98	2,261	0,34
18-2	67,86	2,9	3,98	2,261	0,53
19-1	71,65	2,7	3,79	2,130	0,56
19-2	76,41	3,5	3,79	2,130	0,46
25	81,04	10,2	7,65	2,944	0,23
26-1	78,31	8,2	7,71	3,111	0,30
26-2	78,31	11,2	7,71	3,111	0,22
27	80,40	5,2	7,49	3,038	0,47
22	84,11	19,8	12,65	4,314	0,18
23-1	78,70	23,6	14,70	4,240	0,14
23-2	78,70	9,0	14,70	4,240	0,37
24	89,80	18,4	13,66	3,943	0,19
28	87,05	23,6	12,25	4,159	0,15
40	202,60	25,6	4,72	0,647	0,05
47-1	198,05	25,6	4,70	0,680	0,05
47-2	198,05	22,2	4,70	0,680	0,06
49	229,73	25,6	4,63	0,684	0,06
29	123,67	8,8	6,64	2,743	0,39
30	130,37	11,2	6,01	2,727	0,32
45	240,45	33,6	4,13	0,700	0,05
46	191,45	20,4	3,83	0,893	0,08
44	199,83	20,4	3,89	0,807	0,08

Пьезоэлектрический модуль

$$d = \Delta l / U, \quad (4)$$

где Δl — изменение длины образца l при воздействии среднего динамического напряжения σ_d на его торец, $\Delta l = \sigma_d l / E_y$; E_y — модуль упругости материала образца, МПа; U — напряжение на обкладках образца, В.

Из данных табл. 2 следует, что существует некоторая «критическая» высота сбрасывания образца, при которой возникают максимальные значения электрических напряжений. Объяснить это можно тем, что сам песчаник — диэлектрик, а электрическое напряжение инициируют кристаллы кварца, которые расположены в структуре песчаника в виде вкраплений. Чем меньше толщина пластинки песчаника, тем большее количество вкраплений сможет пе-



▲ Рис. 4. Осциллограмма образца песчаника № 45 во время испытания при динамическом приложении нагрузки



▲ Рис. 5. Результаты испытания образца песчаника № 23

свидетельствам работников шахты, не зафиксировано. Однако полностью исключить этот источник воспламенения метановоздушной смеси нельзя. Можно только утверждать о малой вероятности данного события.

Так, комиссия по расследованию аварии на шахте «Кузбасская» (20.09.76) одной из возможных причин инициирования взрыва метана посчитала разрушение пород кровли труднообрушаемого песчаника и песчанистого алевролита, в результате чего в трещинах могли возникнуть высокие электрические поля и создавалась возможность для протекания электрических зарядов, которые, в свою очередь, вызвали взрыв метана, находившегося в выработанном пространстве выемочного участка № 324.

Критерий возникновения опасной ситуации при обрушении горных пород может быть получен с использованием соотношения (2):

$$dS_i = Q > Q_{кр}, \quad (5)$$

где $Q_{кр}$ — критическое значение заряда, накапливающегося на поверхности раздела частей породы при разрушении, определяется экспериментально.

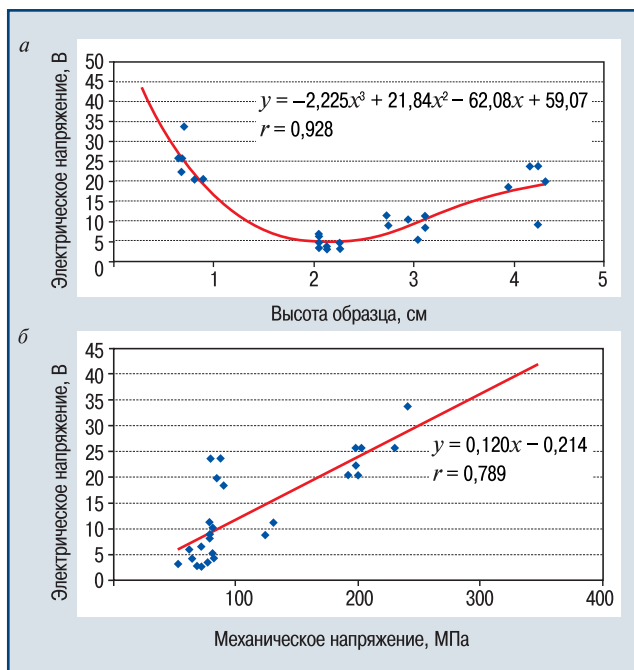
Условие (5) необходимое, но недостаточное. Поскольку для возникновения искрового разряда должно состояться событие разрушения, надо в соответствии с соотношением (5) определить условие начала разрушения горной породы, например используя энергетический критерий прочности:

$$kS_i \geq \beta_n [s], \quad (6)$$

где k — коэффициент запаса прочности, $k > 1$; β_n — коэффициент приведения предельных характеристик образцов к реальным условиям; $[s]$ — предел прочности на растяжение (сжатие).

Анализ результатов экспериментальных испытаний, представленных в табл. 2, показывает зависимость электрических напряжений от высоты образца, а также от механических напряжений сжатия (рис. 6, r — коэффициент корреляции).

Хорошие корреляционные значения (0,928 и 0,789) полученных зависимостей позволят в дальнейшем использовать их для моделирования про-

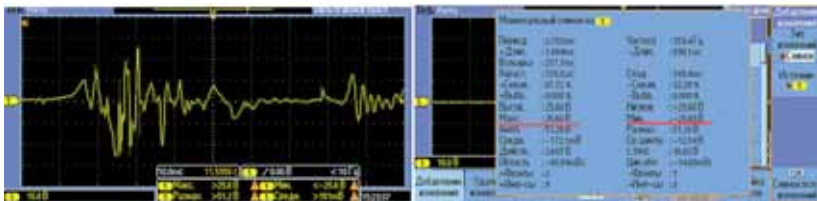


▲ Рис. 6. Зависимость электрического напряжения от высоты образца песчаника (а) и от механических напряжений в образце песчаника (б)

цесса накопления электрических напряжений в горных породах.

В ходе испытаний песчаника на стенде, имитирующем мгновенное разрушение образцов под действием динамической нагрузки, один из факторов, влияющих на электрические напряжения, возникающие в породах, — естественная влажность образцов. Так, при испытаниях образцов песчаника, содержащих 0,8 % естественной влажности, получено максимальное напряжение примерно 25 В. При уменьшении влажности приблизительно до 0 %, оно неизменно возрастало и составило около 58 В.

Важный момент — исследование горных пород с различным содержанием диоксида кремния. При динамическом приложении нагрузки к одинаковым по площади и высоте образцам кварцита (рис. 7) и песчаника получены разные результаты электрических напряжений.



▲ Рис. 7. Осциллограмма образца кварцита № 18 при динамическом приложении нагрузки во время испытания

Так, при испытании образцов песчаника ($\text{SiO}_2 = 33\%$) размерами $2 \times 2 \times 2$ см максимальные напряжения не превышали 7 В, а таких же образцов кварцита ($\text{SiO}_2 = 62\%$) составили 25 В.

Дальнейшая задача исследований — проверка предложенных критериальных зависимостей (5), (6) при испытаниях образцов из песчаника, алевролита и других пород с высоким содержанием диоксида кремния по изложенной выше методике.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Искровые разряды, зафиксированные при проведении опытов, — прямое подтверждение, а реальные взрывы метановоздушных смесей при обрушениях горных пород в процессе отработки угольных пластов — косвенное подтверждение возможности развития аварийных ситуаций, сопровождающихся взрывами метановоздушных смесей в выработанном пространстве вследствие возникновения искровых разрядов в горных породах в моменты их разрушения.

Список литературы

1. Корнфельд М.И. Электрические разряды на поверхности щелочно-галоидного кристалла// Физика твердого тела. — 1971. — Т. 13. — № 2. — С. 474–479.
2. Петухов И.М., Линьков А.М. Теоретические основы борьбы с выбросами угля, породы и газа// Уголь. — 1975. — № 9. — С. 9–15.

3. Явление возникновения объемного разряда в горных породах при их механическом нагружении/ П.В. Егоров, С.Б. Васильев, В.П. Корнейчиков и др.// Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 1978. — № 5. — С. 101–104.

4. Хямляйнен В.А., Простов С.М., Сыркин П.С. Геоэлектрический контроль разрушения и инъекционного упрочнения горных пород. — М.: Недра, 1996. — 288 с.

5. Применение метода электротметрии для контроля за состоянием горных выработок в условиях рудника «Октябрьский»/ Б.Г. Тарасов, В.В. Дырдин, С.М. Простов и др.// Сб. «Вопросы рудничной аэрологии». — Кемерово: КузПИ, 1976. — Вып 4. — С. 250–257.

6. Тарасов Б.Г., Дырдин В.В., Иванов В.В. Геотектонические процессы и аномалии квазистационарного электрического поля в земной коре// ДАН СССР. — 1990. — Т. 312. — № 5. — С. 1092–1095.

7. Алексеев Д.В. Баротоки в твердых телах с диффузионным механизмом проводимости// Физика твердого тела. — 1991. — Т. 33. — № 10. — С. 1456–1476.

8. Воробьев А.А. Преобразование видов энергии в земной коре, электризация пород и разряд в них// Материалы науч.-техн. конф. ТВН. — Томск: Изд. ТГУ, 1973. — С. 11–21.

9. Мясников А.А., Старков С.П., Чукунов В.И. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах. — М.: Недра, 1985. — 205 с.

10. ГОСТ 21153.2–84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. — М.: Изд-во стандартов, 1984.

11. ГОСТ 28985–91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. — М.: Изд-во стандартов, 1991.

642935@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 3 апреля 2014 г.

Внимание!

ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ «ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА» СЕРИЯ 08. ВЫПУСК 21



Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности подземных хранилищ газа» разработаны на основе и взамен Правил создания и эксплуатации подземных хранилищ газа в пористых пластах (ПБ 08-621–03), утвержденных постановлением Госгортехнадзора России от 05.06.2003 № 57.

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности устанавливают требования, направленные на обеспечение промышленной безопасности, предупреждение аварий, несчастных случаев на опасных производственных объектах подземных хранилищ газа, на которых получают, используются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества, в том числе способные образовывать паро- и газовоздушные взрывопожароопасные смеси.

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности вступили в силу с 17.05.2014.

Эту книгу и другие нормативные документы можно приобрести по адресу:

Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 21, а также заказать в отделе распространения по тел/факсам:

(495) 620-4753 (многоканальный), 620-4747, 620-4746. E-mail: ornd@safety.ru.

Реклама