

Д. В. Ботвенко

канд. техн. наук, заведующий лабораторией ОАО «НЦ ВостНИИ»

В. Г. Казанцев

д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Бийского технологического института» (филиала) «АлтГТУ им. И. И. Ползунова»

М. С. Сазонов

канд. техн. наук, старший научный сотрудник ОАО «НЦ ВостНИИ»

В. В. Высоцкий

старший преподаватель, кафедра экспериментальной физики ФГБОУ ВПО «КемГУ»

УДК 622.8

О ВОЗМОЖНОСТИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ОТ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ГОРНЫХ ПОРОД

Установлено, что горные породы, обладающие пьезоэлектрическим эффектом при неблагоприятных сочетаниях механического состояния углепородного массива и шахтной атмосферы способны вызвать взрывное горение метановоздушной смеси.

Ключевые слова: ПЬЕЗОЭФФЕКТ, ГОРНАЯ ПОРОДА, ДИОКСИД КРЕМНИЯ, НАПРЯЖЕНИЕ

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, инициируемое трещинообразованием, динамическим разрушением и фрикционным трением элементов горных пород.

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

Напряженность электрического поля в горных породах имеет различную природу. В нетронутым массиве это естественные электрические поля, теллурические и локальные, обусловленные вариациями магнитного поля Земли и геофизическими явлениями, такими как трение отдельных массивов 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 $10^{-8} \div 10^{-3}$ с. Время жизни свободных электронов, например, у двуокиси кремния порядка 10 мс. По этой причине внешние плавно изменяющиеся во времени геофизические воздействия на структуру горных пород могут считаться статическими, а электрические поля уравновешенными из-за утечки зарядов.

Иная картина проявляется при разрушении горных пород, когда само время разрушения оказывается сопоставимым со временем деполяризации. Таким образом, на величину напряженности электрического поля влияет как скорость нагружения горных пород, так и уровень 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 посвящено ряд работ [1–4].

При этом установлено:

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

- наличие хаотических структурных дефектов в материале не оказывает определяющую роль в распределении зарядов вдоль поверхности разрушения;

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

Пьезоэлектрические эффекты, возникающие в горных породах можно объяснить моделью Мейсснера. Горные породы содержат в себе вкрапления диоксида кремния SiO_2 различной концентрации, достигающей 60 % и выше. Кристаллическая решетка диоксида кремния 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 пропорциональность, то поляризация кристалла при пьезоэлектрическом эффекте должна быть пропорциональна приложенной силе.

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

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

где Q – поверхностная плотность заряда;
 d – коэффициент пропорциональности между электрическими и механическими напряжениями – пьезоэлектрический модуль;

σ – нагрузка.

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

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

Заметим, что 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 восемнадцать 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 представляется целесообразным ввести в рассмотрение эквивалентное напряжение. При переходе от многопараметрического анализа к однопараметрическому в качестве эквивалентных напряжений целесообразно включить в рассмотрение величину интенсивности напряжений S_p , поскольку эта величина представляется совокупностью компонент тензора напряжений.

При этом выражение (1) приобретает обобщенный вид, отражающий однопараметрическую связь между величинами электрических зарядов и механических напряжений, которая пригодна при исследовании быстропротекающих процессов:

$$Q = d \cdot S_i, \quad (2)$$

где $S_i = (3/2 \cdot S_{ij}S_{ij})^{1/2}$, 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 микровольта 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 районе вершины 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнфельд, М. И. Электрические разряды на поверхности щелочно-голоидного кристалла // ФТТ, 1971, 13, 2.
2. Петухов, И. М. Теоретические основы борьбы с выбросами угля, породы и газа / И.М. Петухов, А.М. Линьков // Уголь. – 1975. – № 9.
3. Егоров, П. В. Явление возникновения объемного разряда в горных породах при их механическом нагружении / П. В. Егоров, С. Б. Васильев, В. П. Корнейчиков и др. // ФТПРПИ, 1978.
4. Хямяляйнен, В. А. Геоэлектрический контроль разрушения и инъекционного упрочнения горных пород / В. А. Хямяляйнен, С. М. Простов, П. С. Сыркин. – М.: Недра, 1996. – 288 с.
5. Тарасов, Б. Г. Применение метода электрометрии для контроля за состоянием горных выработок в условиях рудника «Октябрьский» / Б. Г. Тарасов и др. – В сб. «Вопросы рудничной аэрологии». – Кемерово, КузПИ, 1976, вып 4. – С. 250–257.
6. Тарасов, Б. Г. Геотектонические процессы и аномалии квазистационарного электрического поля в земной коре / Б. Г. Тарасов, В. В. Дырдин, В. В. Иванов // ДАН СССР 1990. – Т. 312. – № 5. – С. 1092–1095.
7. Алексеев, Д. В. В твердых телах с диффузионным механизмом проводимости / Д. В. Алексеев, Д. В. Баротоки // ФТТ 1991, – Т. 33. – № 10 – С. 1456–1476.
8. Воробьев, А. А. Преобразование видов энергии в земной коре, электризация пород и разряд в них // Материалы научно-технической конференции ТВН. – Томск: изд. ТГУ, 1973.
9. Мясников, А. А. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А. А. Мясников, С. П. Старков, В. И. Чикунов. – М: Недра, 1985. – 205 с. ил. 22 с.

Проводя анализ вышеперечисленных теорий и гипотез 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 нами проблеме о возможности воспламенения метановоздушной смеси от пьезоэлектрического эффекта ключевыми факторами являются параметры пробойных напряжений и выяснение условий существования такого пробоя – установление критериальных величин оценки воспламенения метановоздушной смеси в условиях разрушения горных пород.

THE POSSIBILITY OF IGNITION OF METHANE-AIR MIXTURE FROM THE PIEZOELECTRIC EFFECT ROCKS

D. V. Botvenko, V. G. Kazantsev, M. S. Sazonov, V. V. Vysotsky

It is established that rocks with piezoeffect in unfavorable combinations of mechanical condition of a surrounding coal array and mine atmosphere can cause an explosive methane-air mixture combustion.

Key words: PIEZOEFFECT, ROCK, SILICON DIOXIDE, INTENSITY

*Ботвенко Денис Вячеславович
e-mail: d.botvenko@nc-vostnii.ru*

*Казанцев Владимир Георгиевич
e-mail: wts-01@mail.ru*

*Сазонов Михаил Сергеевич
e-mail m.sazonov@nc-vostnii.ru*

*Высоцкий Владимир Владимирович,
e-mail sigmakem@mail.ru*