

УДК 622.831.322

Соболев В.В., д-р технических наук, профессор

Рудаков Д.В., д-р технических наук, заведующий кафедрой

Степанов Д.В., студент гр. 184м-18-1 ФБ

Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина

Кириллов А.К., д-р технических наук, старший научный сотрудник,

Институт физики горных процессов НАН Украины, г. Днепр

ОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРЕТНОГО ПОТЕНЦИАЛА В КАМЕННЫХ УГЛЯХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЛАБОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В последние годы исследования формирования электретного состояния и структурных особенностей микрочастиц механоактивированных ископаемых углей вызывают большой научный и практический интерес в связи с регистрацией новых физических свойств диэлектриков, обусловленных аккумуляцией в них электрического тока без приложения разности потенциалов [1]. Известно, что создание поляризованного состояния в диэлектриках может происходить как при отсутствии внешнего напряжения (нагревание, действие света, ионизирующее излучение, трение, механические деформации и др), так и при зарядании [2-5]. При этом в диэлектриках формируется разность потенциалов внутреннего электрического поля.

Мелкодисперсные механоактивированные системы характеризуются развитой удельной поверхностью, увеличение которой происходит с уменьшением размера микрочастиц, в целом представляют собой неравновесные системы. Именно такими механоактивированными системами могут быть представлены выбросоопасные зоны в угольных пластах. Интерес к таким структурам вызван актуальностью исследований возможной связи влияния электретных потенциалов (внутреннего электрического поля – эффекта кумуляции электрического тока) на формирование выбросоопасного состояния. [6]

В работе использованы методики, описанные в [7-9]. Обработка предварительно измельченных углей ограничивалась следующими параметрами: температура 295...325 К, напряженность внешнего поля 5...320 В/см (область слабых полей), частота 50 Гц, время обработки не более 240 мин. Более длительное время обработки образцов угля не приводит к заметному увеличению электретной разности потенциалов. Поскольку в исследованиях способности каменных углей аккумулировать электрические заряды, как правило, используются внешние поля сильных напряженностей [5], то интерес вызывает эффект воздействия слабых электрических полей, в том числе, время релаксации электретного заряда.

Увеличение химической активности измельченных углей, дополнительно

обработанных слабым электрическим полем, может быть обусловлено каталитическими реакциям. Активизация каталитических реакций обусловлена увеличением концентрации химически активных центров на внутренних поверхностях углей. Известно [2], что нескомпенсированные электрические заряды в пространстве, окружающим электрет, создают квазистатическое электрическое поле. Используя численное моделирование, установлено влияние поля точечного заряда на степень устойчивости химической связи (на примере малых молекул) [10]. Так, сближение молекулы с точечным электрическим зарядом на некоторое критическое расстояние приводит к разрыву связи. В модели использованы квантово-механические закономерности. Температура, при которой происходит химическая реакция, принималась равной 0 К, т. е. энергии поля оказывается достаточно для преодоления энергетического барьера, необходимого для разрыва связей, в том числе, у таких молекул как СО и N₂. В результате обработки газового и жирного углей, подтвердилась принадлежность этих углей к электретам...

После механоэлектрической обработки образцы угля приобретали электретную разность потенциалов ($U_{В.П.}$), которую обнаруживали по компенсационной методике [5]. Значения, электрохимической активности $A_{В}$ для выброшенного жирного угля) (шахта им. А.Ф. Засядько, Украина) составила $4,3 \cdot 10^{-5}$, из неопасной зоны – $0,7 \times 10^{-2}$. Результаты, близкие по величине и по тенденции изменения характера электретных параметров, показаны в [6].

Зависимость изменения электретного потенциала $U_{В.П.}$ от времени свидетельствует о сверхмедленной релаксации электретного состояния, возбужденного слабым полем (рис.). **Регистрация $U_{В.П.}$** осуществлялась непрерывно в течение всего опыта. Анализируя результаты не обработанных и обработанных электрическим полем углей (неопасных, выбросоопасных и после выброса, табл.), установлено, что время релаксации электретного состояния увеличивается с ростом плотности структурных дефектов (в кристаллитах и полимерной матрице угля) и электрических зарядов. При этом, в микроструктуре угля, увеличивается запас энергии, накопленной в дефектах. Аналогичные эффекты известны в металлофизике [11].

В [12] показано, что в переходной зоне между «спокойным» углем и выбросоопасным существует корреляционная связь концентрации дефектов и их энергетических параметров с макроскопическими свойствами угля (в этой зоне угольного пласта возрастает концентрация зарядов в связи с ростом концентрации дефектов; при этом увеличивается запасенная микроструктурой энергия).

В углях после выброса значения электретной разности потенциалов значительно меньше, чем до выброса. В жирных углях [12] максимальное значение $U_{В.П.}$ соответствует выбросоопасным состояниям, а минимальное – углям из зоны выброса, у которых потенциальные возможности возбудить и развить активные химические реакции оказываются практически исчерпанными. Наибольшая скорость снижения электретного заряда приходится на первые

минуты релаксации.

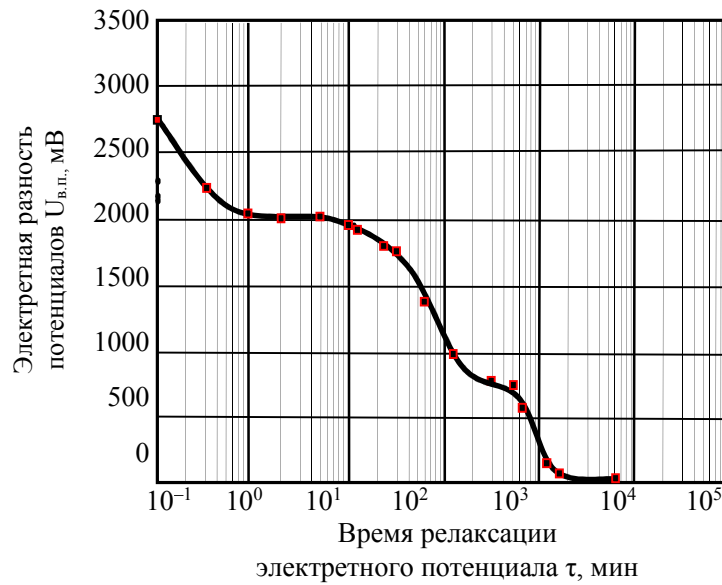


Рис. – Зависимость характера релаксации электретного потенциала в образце угля жирного из выбросоопасной зоны от времени ($\Delta U_{в.п.} = 5\%$)

Таблица

Характеристики электретного состояния каменных углей, обработанных слабым электрическим полем

Уголь исходный жирный	Начальное значение электретного потенциала $U_{Э.П}$ мВ	Электрохимический потенциал $A_{в}$	$N \times 10^{-18}$, ПМЦ/г	Остаточный потенциал, $U_{Э.п.о.}$, мВ
Не опасный	2100	7×10^{-3}	5-7	0,88 (0,71)*
Выбросоопасный	2750	9×10^{-3}	80	0,78 (0,66)*
После выброса	13	$4,3 \times 10^{-5}$	6-14	0,63 (0,23)*

Примечание. *Значения в скобках получены спустя 5.5 месяцев после эксперимента.

В табл. представлены значения устойчивости электретного состояния, вызванной электрохимической активности ($A_{в}$) и медленной релаксации электретной разности потенциалов, предварительно обработанных электрическим полем. Измерения параметров проводились при комнатной температуре в условиях естественной влажности атмосферы и прекращались после нескольких суток релаксации. Время, в течение которого производились измерения времени релаксации электретного состояния составляло для различных образцов угля от $8 \cdot 10^4$ до $2 \cdot 10^6$ с, что в сравнении с максвелловским временем релаксации (~ 30 с) на несколько порядков больше. Плотность дефектов увеличивается в

результате механического измельчения угля и при дополнительной обработке электрическим полем. Однако следует заметить, что электрическая обработка угля при комнатной температуре практически не увеличивает концентрацию ПМЦ. С увеличением температуры обработки всего до 325 К концентрация ПМЦ относительно исходного механоактивированного угля увеличивается в 2-5 раз.

Сравнение данных, приведенных в [12, 13], с результатами наших опытов [114, 15], показывает близкие по значению времена релаксации электретного заряда. Кроме этого изменения физических характеристик углей, обработанных электрическим полем, и углей, исследованных в [12,13,16], имеют аналогичные тенденции. Приведенные результаты исследований свидетельствуют о деструктивном характере воздействия на уголь даже слабых электрических полей. О существовании корреляционной связи между способностью каменных углей аккумулировать электрические заряды и склонностью к внезапным выбросам угля и газа впервые сообщалось в [16].

Заклучение

Впервые в механоактивированных образцах газового и жирного углей после дополнительного воздействия внешнего электрического поля слабой напряженности установлен эффект аккумуляции электрических токов. Этот результат свидетельствует о том, что в механоэлектроактивированных углях произошло формирование градиентов потенциала внутреннего электрического поля. Следует отметить, что для выбросоопасных углей как неравновесных систем, в целом характерны основные физико-химические свойства, которые экспериментально установлены при исследовании каменных углей¹, механоэлектроактивированных в лабораторных условиях. В частности, известно, что величина электретного потенциала зависит от дисперсности микрочастиц измельченного угля, т.е. от удельной внутренней поверхности и плотности дефектов микрочастиц. Возможна закономерная связь между перечисленными параметрами как с выбросом угля и газа непосредственно, так и с интенсивностью выброса, его продолжительностью и продолжительностью выделения газа из угля после выброса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Украины в соответствии с приказом № 199 от 10 февраля 2017 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Танаев А.Б., Щербаченко Л.А., Безрукова Я.В. и др. Особенности процессов накопления и транспорта электретных зарядов в мелкоразмерных разупорядоченных структурах под действием внутреннего напряжения // Журнал технической физики. – 2017. – Т. 87, вып. 3. – С. 383-389.
2. Электреты: сборник / Под ред. Г. Сесслера, пер. с англ. А.Ю. Гросберга, Ю.К. Джикаева, пер. под ред. А.Н. Губкина. М.: Мир, 1983. 486 с

3. Рычков А. А., Бойцов В. Г. Электретный эффект в структурах полимер — металл: Монография. — Санкт-Петербург: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена. — 2000. — 250 с.
4. Гороховатский Ю. А. Электретный эффект и его применение. Соросовский образовательный журнал. — 1997. — № 8. — С. 92-98.
5. Губкин А. Н. Электреты. — М.: Наука, 1978. — 192 с.
6. Соболев В.В., Рудаков Д.В., Стефанович В.И., Ях К. Физическое и математическое моделирование условий выброса угля и газа // Разработка месторождений.— 2017. —№3(11). — С. 40–49.
7. Орлинская О.В., Соболев В.В., Чернай А.В. Термоэлектрическая обработка минералов и горных пород. Днепропетровск: РИО НГА Украины, 1999. — 983 с.
8. Соболев В.В. Филиппов А.О., Самовик Д.В. Зазимко В.И. Изменения структуры каменных углей при воздействии слабого магнитного поля // Вісник Кременчуцького державного технічного університету ім. Михайла Остроградського. — 2012. — №1. — С.143-148.
9. Pivnyak, G.G., Sobolev, V.V. & Filippov A.O. (2012) Phase transformations in bituminous coals under the influence of weak electric and magnetic fields // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.— 2012. — 5. — С. 43-49.
10. Соболев В.В. Закономерности изменения энергии химической связи в поле точечного заряда// Доповіді НАН України. — 2010. — №4. — С. 88-95.
11. МартинДж., Доэрти Р. Метастабильность микроструктуры металлических систем. — Москва: Атомиздат, 1978. — 280 с.
12. Zaytsev, P.P., Malova, G.V., Panchenko, Ye.M. i dr. (1992) Elektricheskiy esvoystvavybrosopasnykh kamennykhugleyiprognozirovaniyevybrosa uglyaigaza //Khimiyatverdgotopлива. — 1992. — №5. — С. 88-92.
13. Губкин А.Н., Зайцев П.П., Зггоруйко В.А. и др. Новый метод прогнозирования склонности каменных углей к внезапным выбросам.// Письма в Журнал технической физики. - 1990. - Т. 16, В.5. - С. 88-90.
14. Sobolev, V; Rudakov, D; Stefanovych, L Ja ch, K (2017) Physical and mathematical modelling othe conditions of coal and gas outbursts // Mining of Mineral Deposits Volume: 11 Issue: 3 Pages: 40-49. DOI: 10.15407; Numb.: WOS:000426091500005
15. Molchanov O., Rudakov D., Sobolev V., Kamchatnyy O. (2018) Destabilization of the hard coal nanostructure by a weak electric field // E3S Web of Conferences 60, 00023; doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000023>
16. Панченко Е. М., Прокопало О. И., Зайцев П. П., и др. Сверхмедленная релаксация электрической поляризации в каменных углях и прогнозирование выброса угля и газа. — Препринт / СКНЦШ. — Ростов на Дону, 1992. — 40 с.