

Аналитические выражения, аппроксимирующие полученные зависимости: $r = 0,3843A\omega^2 \sin \omega t - 1,5164$, $r = 0,3841A\omega^2 \sin \omega t - 1,5656$ целесообразно использовать для определения величины диссипации энергии в слое каменного угля марок ДГр и Гр при его разделении по плотности для различных режимных параметров данного процесса, а изложенная выше методика может быть применена для определения диссипации энергии в процессе разделения других видов сыпучих материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко Г.А., Шевченко В.Г. Разработка и реализация математической имитационной модели вибротранспортирования и разделения слоя сыпучего материала в жидкой среде // Сб. научн. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ. - 2003. - № 17, том 1. – С. 611 – 617.
2. Шевченко Г.А., Шевченко В.Г. Аналитические исследования процесса вибротранспортирования и разделения сыпучих материалов в жидкости // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2003. – Вып. 47. – С. 72-86.
3. Шевченко Г.А. О выборе параметров колебаний вибромашин при транспортировании материалов в жидких средах // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. 1999. – Вып. 16. – С. 98-106.

УДК 662.7:552.57:622.234.5

А.В. Бурчак, Д.П. Силин,
В.К. Слободяникова
(ИГТМ НАН Украины)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ НА МИКРОУРОВНЕ

В роботі розглянуті можливості оцінки стану вугільної речовини на мікро рівні після гідродинамічного впливу за допомогою метода ЕПР. Доведено важливість подібних досліджень для вирішення проблем видобутку енергоносіїв. Запропоновано ряд параметрів, що дозволяють кількісно оцінити зміни в структурі вугільної речовини.

RESEARCH OF RESULT LEADING OF HYDRODYNAMICS INFLUENCE ON THE COAL - BED AT THE MICROLEVEL

Possibilities of appraise the state of coal substance on the micro level after the hydrodynamics influence were examining in the work. It was demonstration the importance of similar researches to decide the problems of extraction the coal and gas.

Дефицит энергоносителей на Украине делает все более актуальными задачи по интенсификации добычи угля и газа, а также утилизации шахтного метана. Важной проблемой также является дегазация угольных пластов - как профилактическое мероприятие по снижению газообильности и предотвращению внезапных выбросов угля и газа при ведении горных работ.

Перспективным способом интенсификации газовыделения из газонасыщенного породно-угольного массива является гидродинамическое воздействие на угольный пласт через скважины, пробуренные, как с подземных выработок, так и с поверхности Земли. При гидродинамическом воздействии в угольном мас-

сиве протекает ряд взаимосвязанных процессов. В результате происходит послойное разрушение угля в зоне скважины и вынос его в выработку, разупрочнение угля и дегазация зоны разупрочнения за счет десорбции метана и его интенсивной фильтрации [1]. Определение параметров такого взаимодействия невозможно без понимания процессов происходящих в газонасыщенном угольном пласте на молекулярном и надмолекулярном уровне. То есть на уровне, на котором формируются свойства угольного вещества и на котором, собственно, и происходит взаимодействие. Высокой информативностью и достоверностью получаемой информации на микро уровне обладает метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

Идеей предлагаемой работы является исследование структурных изменений происходящих в газонасыщенном угольном пласте при гидродинамическом воздействии с помощью метода электронного парамагнитного резонанса.

Целью исследований является установление принципиальной возможности оценки влияния гидродинамического воздействия на угольный пласт на микро уровне.

При проведении работ ставились задачи:

1) разработать методические основы исследования влияния гидродинамического воздействия на угольный пласт методом ЭПР;

2) определить критерии, по которым возможна оценка состояния угольного вещества на микро уровне;

3) оценить соответствие получаемой информации общепринятым представлениям о процессах проходящих в угле при гидродинамическом воздействии.

Исследования, проводимые методом ЭПР, базировались на ранее отработанных методиках изучения системы «уголь-газ» при изменении в ней барических условий [2, 3]. Измерительный эксперимент включал в себя регистрацию спектра поглощения СВЧ энергии ПМЦ (парамагнитными центрами) угля при нормальных условиях и до момента стабилизации при повышенном давлении (5,0 МПа). Регистрировались и исследовались параметры самой линии поглощения и кинетические характеристики переходного процесса.

Спектры ЭПР отражают все изменения прошедшие в угольном веществе с момента осадконакопления, при этом изменяется не только концентрация ПМЦ, но и их природа и структура. Совокупность всех этих процессов сказывается на ширине и форме каждой индивидуальной линии спектра ЭПР угля, а их тщательный анализ может выявить роль тех или иных взаимодействий, сформировавших особенности наблюдаемых сигналов.

Для решения поставленных задач была проведена серия измерительных экспериментов по пробоотбору проведенному на шахте им А.Ф. Засядько по пласту *l*₁. Пласт однопачечный, верхняя часть пласта перемята. Данный пробоотбор был выполнен при подготовке проведению ГДВ (гидродинамического воздействия). Проба № 546 отобрана из угольного материала выброшенного из скважины после двадцати циклов воздействия. Схема пробоотбора показана на рис. 1. В табл. 1 и 2 сведены результаты лабораторных анализов этих проб. Из анализа схемы пробоотбора и данных приведенных в таблицах следует отме-

тить, что показатели, определенные методом ЭПР для нижней части пласта отличаются от показателей верхней части. В частности, концентрация парамагнитных центров (КПЦ) в верхней части немного выше, чем в нижней, что согласуется с отличиями в показателе выход летучих веществ (V^{daf}). На этом фоне важно отметить, что показатель $K_{нас}$, отражающий процентное содержание активных ПМЦ в общем их количестве, определенный для проб отобранных в верхней, перемятой части, выше чем в нижней. Препарированность верхней части пласта подтверждается и показателем T_N – постоянной времени протекания процесса. Для менее нарушенной части пласта этот показатель существенно выше. То есть процесс проникновения парамагнитного газа к ПМЦ менее нарушенного угольного вещества более длительный, чем для перемятого, нарушенного угля. Важно также отметить различные значения этого показателя (T_N) для проб, отобранных по свежепройденому второму штреку от проб, отобранных в подготовительной нише третьего штрека, простоявшей до пробоотбора около одного года. Естественно предположить, что краевые нагрузки и контакт с кислородом в течение года, должны привести к нарушениям и структурным изменениям в угольном веществе. Результаты экспериментов показали, что пробы угля, отобранные из ниши третьего западного конвейерного штрека имеют, меньшее значение показателя T_N , чем пробы из не подвергавшегося длительным краевым, опорным нагрузкам второго штрека, для обеих частей пласта. Следовательно, можно утверждать, что показатель T_N – постоянная времени протекания процесса - отражает нарушенность угольного пласта.

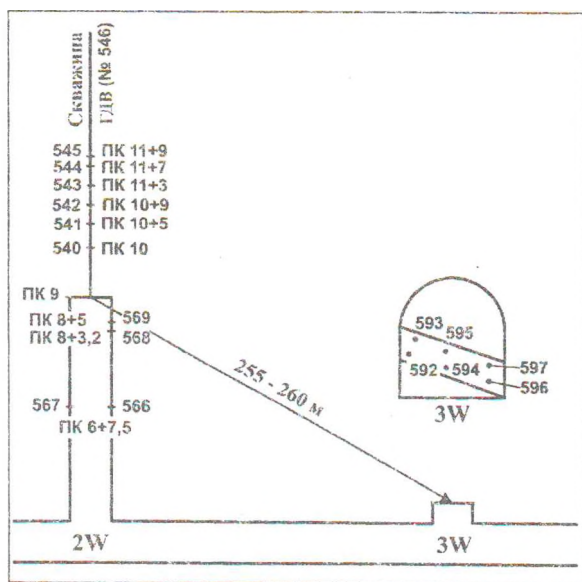


Рис. 1 – Схема пробоотбора по пласту l_4 (шх. им. А.Ф. Засядько)

Показатель ΔH – ширина линии поглощения СВЧ энергии ПМЦ угля для всего пробоотбора примерно постоянна. Исключение составляет проба № 594, существенно выпадающая из общего ряда. Не располагая данными петрографического анализа нельзя дать убедительную трактовку существенного сужения спектра этой пробы. Но необходимо отметить, что значение относительного изменения ширины линии поглощения, после барического воздействия, также выпадает из общего ряда. Влияние молекул парамагнитного газа (при повышении давления) на систему сопряженных связей, обуславливает изменение характера электронных взаимодействий в угольном веществе. При этом не исключается возможность внедрения молекул парамагнитного газа между отдельными конденсированными ароматическими слоями макромолекул угольного вещества [4]. Таким образом, можно предположить, что уголь пробы № 594 имеет относительно высокое содержание конденсированной ароматической составляющей активно взаимодействующей с внешними парамагнитными центрами.

Особое внимание при анализе результатов лабораторных исследований этого пробоотбора следует уделить пробе № 546, отобранной после удавшегося гидродинамического воздействия. Легко видеть, что концентрация ПМЦ в этой пробе угля существенно ниже средней по пробоотбору. При этом отобранная проба представлена мелкой фракцией, практически пылью, которая, как правило, имеет повышенные концентрации парамагнитных центров. Общеизвестно, что выброс сопровождается выносом угольной пыли с повышенным содержанием ПМЦ. После удавшегося гидродинамического воздействия в вынесенном струей воды угле КПЦ снижено примерно в три раза по сравнению с первоначальными значениями. Этот факт следует объяснить тем, что молекулы ископаемых углей склонны к деструкции разных типов, в том числе и к окислительно-гидролитической под влиянием воды, водных растворов щелочей, органических растворителей. Гидролиз углей приводит к разрыву различных связей и изменению компонентного состава. Свободные радикалы участвуют в реакциях фрагментации, о чем свидетельствует изменение сигнала ЭПР [5]. Под действием циклических механических воздействий также происходит деструкция углеродных связей в ароматическом ядре молекулы угля. Ароматическая и алифатическая составляющие упрощаются, снижается молекулярная масса [6]. Исходя из вышеизложенного можно предположить, что в процессе ГДВ часть свободных радикалов угля вступила во взаимодействие с молекулами воды и продуктами ее гидролиза. Образовались устойчивые, возможно химические, соединения, что и привело к понижению концентрации ПМЦ в угле.

В тоже время показатель $K_{ис}$ для пробы № 546 повышен, что свидетельствует о том, что структура угольного вещества сильно нарушена под действием ГДВ. При этом оставшиеся ПМЦ активизированы, способны к физическому взаимодействию с другими парамагнитными центрами. Это утверждение полностью подтверждается существенным снижением, по сравнению со средним по пробоотбору, значением постоянной времени протекания процесса. В нару-

шенном внешним воздействием угольным веществе процесс стабилизации сигнала ЭПР протекает быстрее.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований проб пласта ϵ_4
по шх. им. А.Ф. Засядько

№ пробы	Выход летучих веществ V_{daf} , %	КПЦ $N^a \cdot 10^{19}$, $г^{-1}$	Коэффициент пассивации K_N , %	Постоянная времени T_N , с	Предельная сорбционная способность Q , мг/г	Ширина линии ΔH , э	Изменение ширины линии $K_{\Delta H}$, %
540	29,03	3,59	33,8	105,3	8,98	7,4	4,6
541	29,03	3,97	33,8	110,4	9,93	7,4	6,7
542	29,03	3,60	36,4	104,8	9,70	7,4	7,8
543	29,03	3,70	35,7	87,4	9,77	7,4	4,6
544	29,03	3,34	35,8	69,4	8,85	7,5	5,1
545	29,03	3,28	37,6	73,0	9,13	7,4	8,0
546	29,03	1,10	41,9	40,5	3,41	7,5	7,7
566	29,03	3,62	35,7	99,8	9,56	7,4	7,0
567	29,03	3,68	33,9	117,3	9,23	7,2	8,9
568	29,03	3,67	37,0	97,6	10,05	7,3	5,3
569	29,03	3,87	38,5	77,6	11,03	7,3	4,8
592	33,2	3,79	35,5	94,7	9,96	7,2	4,3
593	30,15	3,24	38,1	61,7	9,13	7,4	9,0
594	27,33	3,70	37,0	79,3	10,13	6,8	13,2
595	29,17	3,34	35,2	81,4	8,70	7,5	5,1
596	31,15	3,94	35,2	94,7	10,26	7,4	5,4
597	28,20	3,43	37,5	72,1	9,52	7,2	6,5

Необходимо также отметить аномально низкую предельную сорбционную способность этой угольной пробы, при высоком проценте активных, способных к сорбционному взаимодействию ПМЦ. Этот факт является косвенным подтверждением химического взаимодействия свободных радикалов угля с водой и продуктами ее гидролиза.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований проб пласта l^a ₇

по шх. им. Ф.Э. Дзержинского

№ пробы	Выход летучих веществ V_{daf} , %	КПЦ $N^a \cdot 10^{19}$, г ⁻¹	Коэффициент пассивации $K_{пс}$, %	Постоянная времени T_N , с	Предельная сорбционная способность Q , мл/г	Ширина линии ΔH , э	Изменение ширины линии $K_{лн}$, %
586	34,22	3,42	38,8	54,5	9,82	7,1	13,0
587	35,00	3,28	36,8	43,4	8,93	7,2	15,1
588	33,42	3,41	36,0	84,9	9,08	7,2	13,1
589	37,12	3,54	38,6	62,4	10,11	6,7	16,2
590	37,02	3,32	37,9	63,7	9,31	6,8	18,8
591	35,55	3,87	38,4	49,9	11,00	7,0	9,2

Для подтверждения сделанных выводов рассмотрим результаты лабораторных анализов проб огобранных во время проведения ГДВ на шахте им. Ф.Э. Дзержинского. Результаты представлены в таблице 2. Условия проведения воздействия не позволяют вести ситовой анализ выходящего из скважины угольного материала, однако, по качественным характеристикам можно выделить три пробы: № 588 – крупные куски, № 591 – мелкая фракция, № 587 – «пена».

Из данных, приведенных в таблице 2 видно, что крупные, прочные, ненарушенные куски имеют невысокую концентрацию ПМЦ. В мелкой фракции КПЦ максимально. Концентрация ПМЦ в «пене» наименьшая из зарегистрированных по этому пробоботбору, что подтверждает возможность химического взаимодействия ПМЦ угля с водой. Значение показателя $K_{пс}$ для крупных ненарушенных кусков минимально, а для мелкой фракции несколько выше, чего и следовало ожидать для измельченной, препарированной пробы. Необходимо отметить, что минимальное время протекания процесса у наиболее нарушенной пробы № 587 – «пена». Максимальное - у пробы № 591 – крупные куски. Проба № 591 с мелкой фракцией, как сильно нарушенная имеет малое значение показателя T_N – постоянная времени протекания процесса. Значения показателя Q – предельная сорбционная способность, для проб этого пробоботбора достаточно близки, но при этом угольный материал вышедший из скважины в виде пены имеет минимальное значение этого показателя. Что также подтверждает вывод о том, что ПМЦ этой пробы химически связаны.

В результате проведенных исследовательских работ можно сделать следующие выводы:

1. метод ЭПР позволяет исследовать влияние гидродинамического воздействия на угольное вещество на микро уровне;
2. для исследования влияния ГДВ на угольное вещество применимы методики изучения системы «уголь-газ» при изменении барических условий;
3. предложен ряд параметров, определяемых методом ЭПР, позволяющих количественно оценить структурные изменения в угле после ГДВ;
4. предложенный подход к изучению влияния ГДВ на газонасыщенный угольный пласт методом ЭПР позволяет получить данные о процессах проходящих в угле, что дает возможность на практике оптимизировать параметры воздействия и успешно решать задачи по интенсификации добычи метана из угольных пластов;
5. работы необходимо продолжить для уточнения результатов экспериментальных исследований, их проверке и построения на этой основе научно обоснованных представлений о процессах проходящих в газонасыщенном угольном пласте при проведении гидродинамического воздействия.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты / А.Ф.Булат, К.К.Софийский, Д.П.Силин и др. // Днепропетровск: Полиграфист. 2003. – 220 с.
2. Бурчак А.В. Исследование системы "уголь-газ" и разработка способов оценки метаморфизма и нарушения углей методом ЭПР: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.15.11/ ИГТМ НАН Украины.– Днепропетровск, 1994.
3. А.с. №1679325 СССР, МКИ¹ G 01N 24/10. Способ анализа углей методом ЭПР / А.С.Поляшов, А.В. Бурчак, В.Е. Забигаило, Н.И. Насос (СССР).– № 4691698; Заявлено 3.03.92; Опубл. 25.08.92, Бюл. №12.–3 с.
4. Кучер Р.В., Комланец В.А., Бутузова Л.Ф. Структура ископаемых углей и их способность к окислению.- К.: Наук. думка, 1980.- 168 с.
5. Нонхи Д., Уолтон Дж. Химия свободных радикалов. - М.: Мир. - 1977. - 606 с.
6. Черский Н.В., Царев В.Л., Сороко Т.И., Кузнецов О.Л. Влияние тектоно-сейсмических процессов на образование и накопление углеводородов.- Новосибирск: Наука. – 1985. – 260 с.

УДК 553.94:622.324

В.Ф. Приходченко, Ю.М. Нагорний (НГУ),
С.Ю. Приходченко (ИГТМ НАН України)

ТЕКТОНІЧНІ УМОВИ ВИБУХУ МЕТАНУ НА ПЛАСТІ І₃ ПОЛЯ ШАХТИ КРАСНОЛИМАНСЬКА

Проведен анализ тектонических условий накопления повышенного количества метана в угольном пласте на месте взрыва.

TECTONIC CONDITIONS OF EXPLOSION OF METHANE ON COAL-BED I₃ IN THE KRASNOLYMANSKAYA MINE

The analysis of tectonic conditions of accumulation of the promoted amount of methane in a coal-bed in place of explosion is conducted.

У липні 2004 р. у 11-й південній лаві вугільного пласта І₃ шахти „Краснолиманська” відбувся катастрофічний вибух метану із людськими втратами. Стаття присвячена аналізу тектонічних передумов накопичення підвищеної кількості метану у вугільному пласті у місці вибуху.