

**МЕХАНИЗМ МАССОПЕРЕНОСА ПОДВИЖНЫХ ФАЗ В
ВЫСОКОГРАДИЕНТНЫХ ЗОНАХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

Розглянуто фактори зовнішнього впливу на механізм масопереносу рухливих фаз в високо градієнтних зонах та їх взаємозв'язок з техногенними перетвореннями в структурі макромолекул вугільної речовини.

**THE MASS TRANSFER MECHANISM OF MOBILE PHASES
IN HIGH-GRADIENT ZONES OF THE COAL LAYER**

The factors of external influence on the mass transfer mechanism of mobile phases in high-gradient zones and their correlation with man-caused transformations in the structure of macromolecule of coal substance are considered

Переход газообразных углеводородов с поверхности угля в атмосферу (дегазация), а из подвижного состояния в связанное (сорбция) в первую очередь связан с фазовыми переходами при нарушении равновесного состояния на границе раздела сред "твердое-газообразное". Исследование механизма переноса подвижных фаз при нарушении равновесия в балансе энергетических сил, накопленных в углегазовом массиве и горного давления очень сложная и многогранная задача. Об этом свидетельствует наличие ряда гипотез и моделей физики процесса массопереноса при возникновении и протекании газодинамических явлений, как наиболее экстремальной его стадии в высокоградиентных зонах угольных пластов [1]. При этом в энергетическом балансе сил принято рассматривать соотношение внутреннего энергетического потенциала (энергию газа, накопленную массивом) и внешнего (горное давление).

Вместе с тем опыт ведения горных работ и новые представления о структурно-текстурном строении, состоянии и взаимодействии углеводородов угольного генезиса показывают, что отмеченные факторы являются следствием следующих процессов:

- изменения равновесия сил вертикальной и горизонтальной составляющих опорного горного давления;
- явления генерации энергетического потенциала углегазовым массивом при его разрушении на границе раздела сред твердое-газообразное и преобразования структурно-текстурного строения макромолекул угольного вещества;
- скорости (интенсивности) перехода равновесного состояния в подвижное и перераспределения напряжений.

Этот вывод подтверждается многочисленными и общеизвестными результатами инструментальных измерений напряженного состояния массива, характером газовыделения в скважины и проявлением зоны повышенного горного давления на смежных подрабатываемых (надрабатываемых) пластах.

Однако, несмотря на то, что характер газовыделения из угольных пластов и роль газа в их разрушении под влиянием техногенных факторов достаточно хорошо изучены, механизм массопереноса по-прежнему малоисследован. При этом необходимо учитывать, что под массопереносом в угольных пластах понимается перемещение флюидов, которые представляют собой смесь твердой, жидкой и газообразной фаз. Кроме этого механизм массопереноса под избыточным давлением имеет свои отличительные особенности.

Например, визуально наблюдаемое перемещение газа при продавливании его через водонасыщенный слой песка, начиная с избыточного давления 2 атм. уже не наблюдается. Газ скользит по поверхностям песчинок в виде пленок, "перескакивая" в точках контакта песчинок с одной поверхности на другую. Пленкообразный механизм перемещения газа из области более высокого давления в область более низкого в дисперсных системах повышает значение поверхности и ее состояния. Совместно с газом в массопереносе участвуют жидкие и твердые компоненты. Так экспериментально установлено, что при газификации углей твердая фаза представлена высокоуглеродистой высокодисперсной фазой - сажой [2].

Флюид не может не содержать влагу. На рисунке 1 представлены дифференциальные термограммы, полученные с помощью высокочувствительных микротермопар.

Из анализа кривых следует вывод о существовании связей влаги с твердой фазой угольного вещества с различными энергиями (число точек резкого излома кривой). Поэтому результаты стандартного определения влаги углей весовым методом (после прогрева при температуре 105 °С до постоянного веса), по-видимому, недостаточно полно отражают природную влажность углей.

При деформировании угольных пластов в углях образуются и раскрываются трещины. Процесс образования и раскрытия трещин развивается скачкообразно. В результате при растягивающих напряжениях образуется свободное пространство, в которое выбрасывается газ, влага и сверхтонкая угольная пыль. Для их перехода из связанного состояния в свободное (рис. 1), не требуется высоких энергетических затрат в том числе и температуры. По предварительным расчетам, влага в образующиеся "вакуумированные" полости на фоне избыточного давления 10 МПа может "выбрасываться" при температуре 75°С (аналогично например проявляется эффект снижения температуры кипения с уменьшением давления).

Следовательно, можно предположить, что при деформировании углей в зонах растяжения образуется "флюид", который в зонах сжимающих напряжений при ступенчатом развитии обратного процесса – уменьшения "трещинного объема" проталкивается через уголь, распадаясь на твердую, жидкую и газообразную компоненты. Сверхтонкая угольная пыль "забивает" трещинные полости, "запечатывая" их, влага частично вновь связывается угольным веществом, а газ переходит в сорбированное состояние. Так как при подобном механизме массопереноса важную роль играет поверхность, то для характеристики ее энергетического состояния исследованы кривые ЭПР

образцов угля (рис. 2), нагрев которых остановлен на разных температурах, соответствующих энергиям связи влаги с угольным веществом (рис. 1).

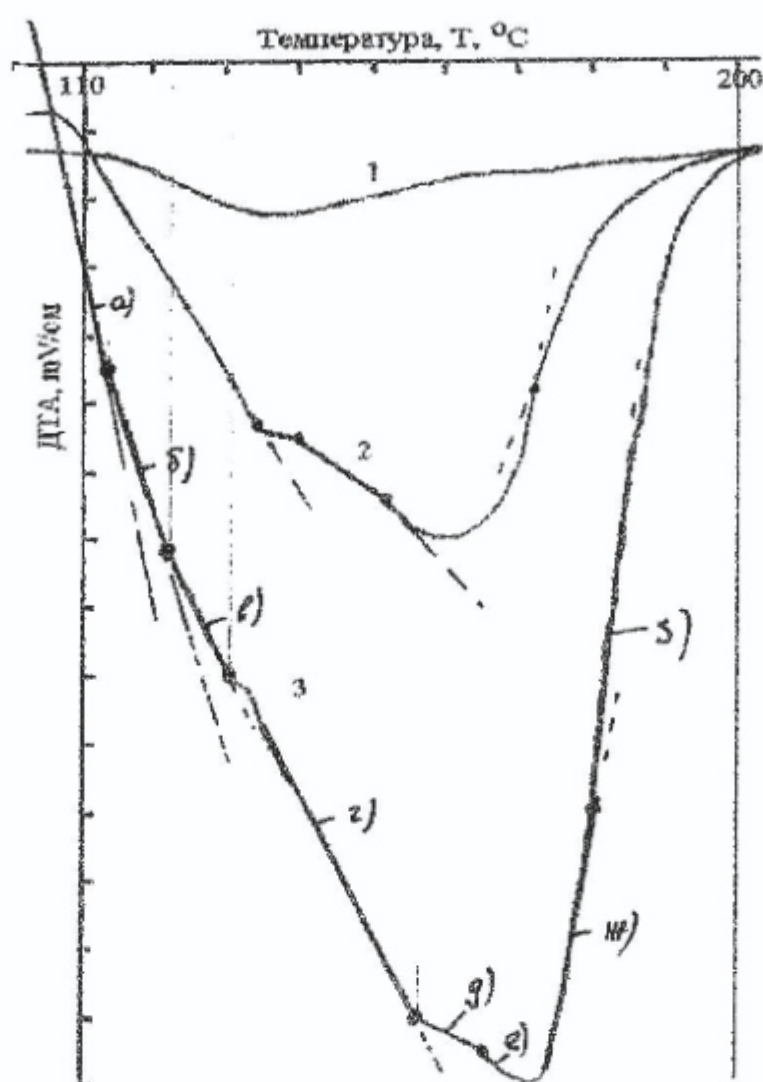


Рис. 1 - Дифференциальные термограммы процесса "ухода" влаги из бурого (3), длиннопламенного (2) и тощего (1) углей

Учитывая, что интенсивность аналитических ЭПР - сигналов нормирована относительно значений интенсивности образца, приведенного в равновесном состоянии с атмосферой при нормальных условиях, анализ кривой показывает, что в интервале температур от 70 до 150 °C энергия связи влаги с угольным веществом понижена. Это обеспечивает возможность ее ухода во флюид при динамично протекающих процессах деформирования углей.

Аналогичный вывод о переходе углеводородов из твердого состояния в газообразное, позволяет сделать и анализ газовыделения через технологические скважины при гидродинамическом разрушении угля с последующим свободным газоистечением (рис. 3) [3].

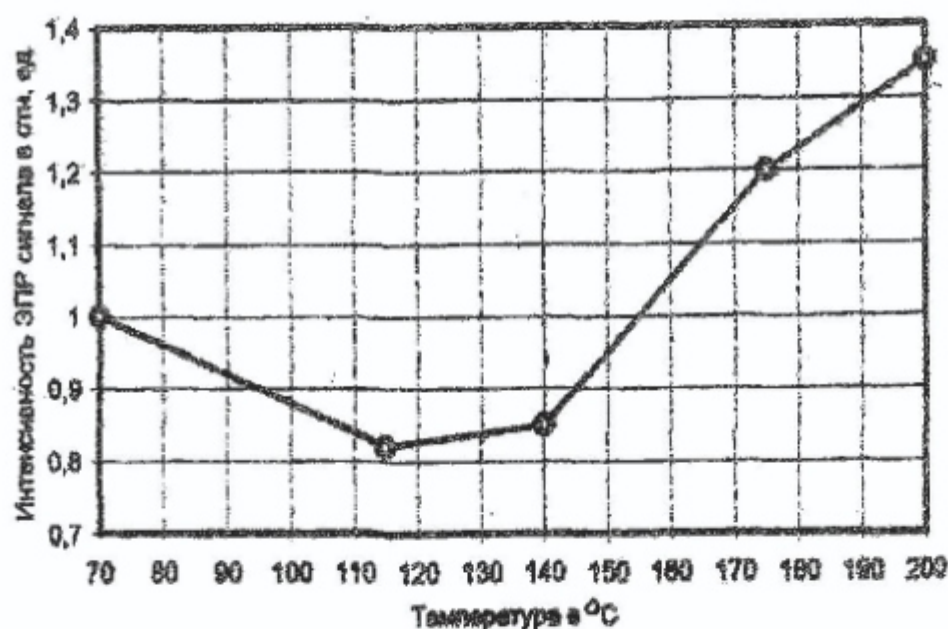


Рис. 2 – Характер изменения интенсивности ЭПР-сигналов образцов, прогретых до разных температур

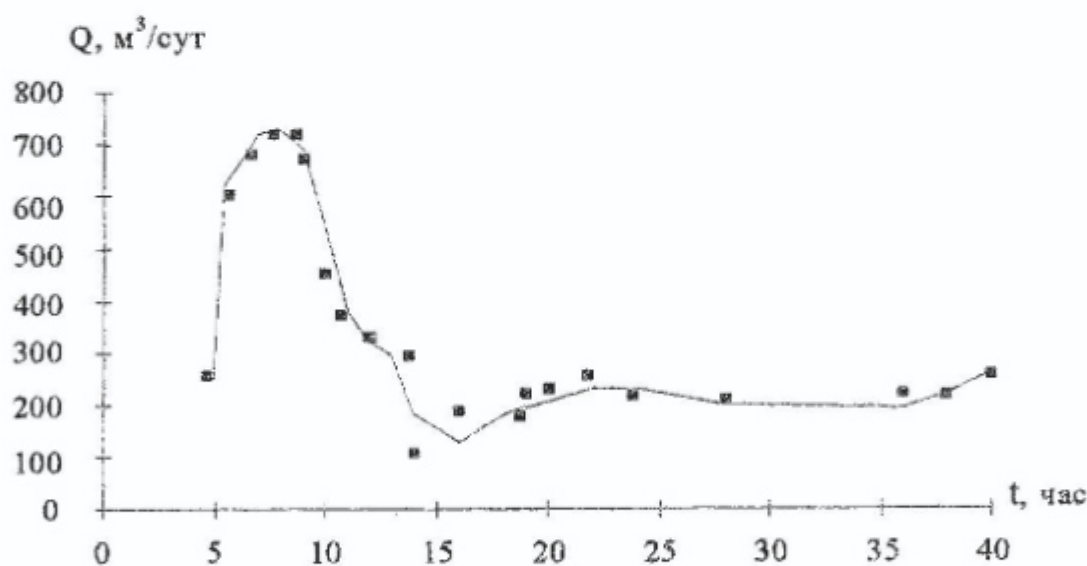


Рис. 3 – Изменение дебита технологической скважины при гидродинамическом разрушении и свободном газоистечении

Газовыделение из массива в объемах, более чем на порядок превышающих расчетные значения содержания газа в угле, и при этом, протекающее по отношению к длительному периоду метаморфизма практически мгновенно,

Переходы жидкой и газообразной фаз в макромолекулах угольного вещества сопровождаются концентрацией углерода и отторжением химических соединений боковых группировок, в основном в виде воды H_2O и метана CH_4 . По мере роста степени метаморфизма в углях от марки «Д», химическая формула $C_{28}H_{18}O_2$ предложена В. Ходотом, до марки «А» (табл. 1) происходит изменение молекулярного веса и процентного содержания химических элементов.

Таблица 1 – Элементный состав углей разного марочного состава на примере пласта I_3 Донецкого бассейна

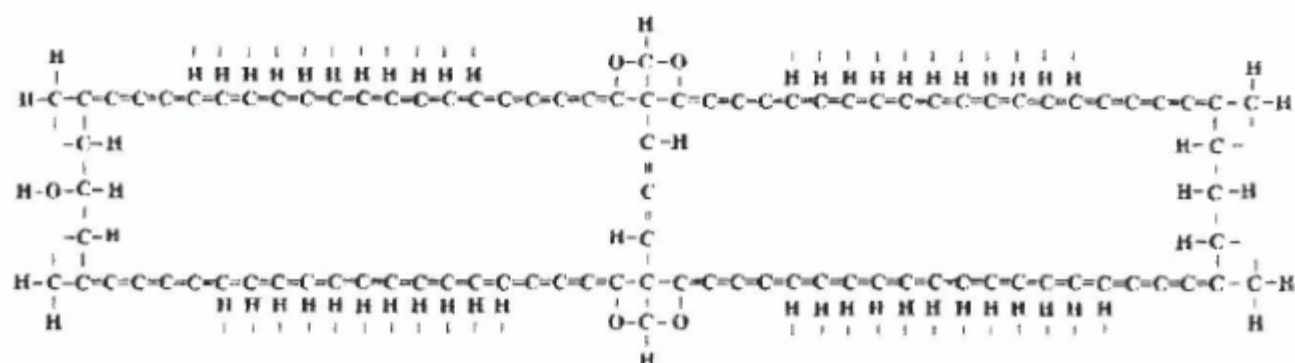
Марочный состав угля	Элементный состав ОМУ углей пласта I_3				
	Элементный состав, %			Химическая формула и вес	
	C^{daf}	H^{daf}	O^{daf}	Вероятная формула	Молекулярный вес
Г	80,00	5,60	14,40	$C_{37}H_{31}O_5$	554,67
Ж	89,00	5,50	9,50	$C_{62}H_{46}O_5$	872,94
К	88,70	5,30	6,00	$C_{97}H_{69}O_5$	1314,66
Т	92,40	3,80	3,80	$C_{96}H_{47}O_3$	1248,43
А	95,0	2,0	3,0	$C_{52}H_{12}O$	620

Интервал изменения содержания химических элементов в разных видах органики - от растительного вещества до антрацита для углерода составляет от 48 до 96 %; для кислорода от 48 до 0 %; для водорода от 6,5 до 1,5 %.

Содержание углерода в угольном веществе служит основной характеристикой качества углей и показателем метаморфизма. Содержание водорода характеризует восстановительную среду накопления углей. Повышенное содержание водорода обеспечивает высокий выход летучих веществ, повышает пластические свойства при спекании и улучшает гидрогенизирующую способность углей. Кислород в угольном веществе определяется окислительными условиями среды, в которой накапливался исходный материал.

Рассматривая элементарные модели организации макромолекул угольного вещества, например марка «К» (рис. 4), как одной из наиболее динамичных, можно представить каким образом происходит формирование составляющих флюида углеводородных соединений.

Аналогично, исходя из химической формулы макромолекулы угольного вещества (табл. 1), при ее разрушении для угля марки «Д» возможно образование и генерация в пространство 2-х молекул воды и 3-х молекул метана; марки «Ж» 5-ти молекул воды и 9-ти молекул метана; марки «Т» 3-х молекул воды и 10-ти молекул метана; марки «А» 1-й молекулы воды и 2-х молекул метана.



$C_{97}H_{69}O_5$ - химическая формула угольного вещества марки «К»

Содержание элементов: C = 88,7%, H = 5,3%, O = 6,0%

На генерацию 5-ти молекул H_2O (H - 10; O-5)

Остаток C - 97; H - 59; O - 0

На генерацию 14-ти молекул CH_4 (C - 14; H -56) Остаток C - 83; H - 3;

Двойные связи C - 83; Одинарные связи: C - 14; H - 69; O - 5

Рис. 4 – Элементарная модель организации макромолекулы угольного вещества марки «К»

Таким образом, рассматривая результаты исследований изменения структурно-текстурного строения угля в высокоградиентных зонах, можно предположить, что массоперенос подвижных фаз (флюида) в угольном массиве происходит в следующей последовательности. При изменении напряженно-деформированного состояния с сопутствующим развитием и раскрытием имеющихся трещин формируется флюид. В зонах сжимающих напряжений он проталкивается через угольный пласт, распадаясь в пустотах на твердую, жидкую и газообразную компоненты. Сверхтонкая угольная пыль "забивает" трещинные полости, "запечатывая" их, влага частично вновь связывается угольным веществом, а газ переходит в сорбированное состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. - М.: Недра, 1978. - 164 с.
2. Садовенко И.А., Поляшов А.С., Инкин А.В. Исследование процесса миграции продуктов газификации в водонасыщенных породах// Збірник наукових праць Національного гірничого університету. №25. Дніпропетровськ: 2006. – С. 103 – 107.
3. Зберовский В.В. Новые принципы дегазации кругопадающих углегазовых месторождений // Уголь, 2002.- №7.- С. 51-55.