

**ФАКТОРЫ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА СИСТЕМУ "УГОЛЬ-ГАЗ"**

Розглянуто фактори зовнішнього впливу на систему "вугілля-газ" і їхній взаємозв'язок з техногенними перетвореннями в структурі твердих вуглеводнів.

**THE FACTORS MAN-CAUSED OF AFFECTING  
AT THE "COAL - GAS" SYSTEM**

The factors of an exposure at the "coal - gas" system and their intercoupling with man-caused by transformings in pattern of solid hydrocarbons are reviewed.

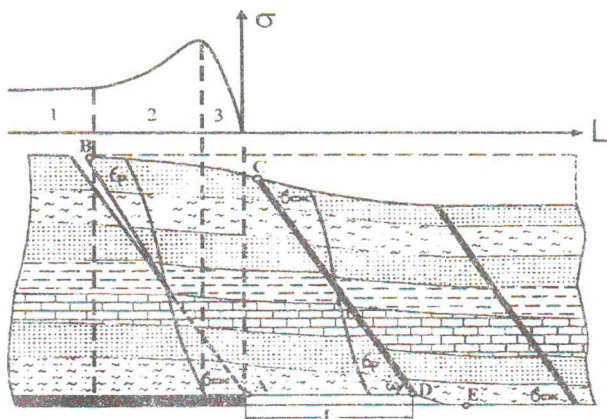
Провести исследования трансформации углеводородной системы "уголь-газ" при нарушении природного равновесия в балансе энергетических сил и горного давления очень сложная задача. Об этом свидетельствует наличие различных гипотез и моделей физики процесса возникновения и протекания внезапных выбросов угля и газа (наиболее экстремальной стадии проявления трансформации углеводородной системы "уголь-газ"). Их отличительные особенности заключаются в различных подходах к факторам, определяющим приоритет в нарушении энергетического баланса сил при возникновении или провоцировании газодинамических явлений.

Поэтому для общего представления физики процесса техногенных преобразований в системе "уголь-газ" рассмотрим факторы внешнего воздействия на структуру надмолекулярной организации (НМО) твердых углеводородов.

**Фактор зоны опорного горного давления**

При подземной выемке полезных ископаемых в подработанной геологической толще происходит процесс сдвижения. Это приводит к перераспределению напряжений вокруг выработанного пространства [1]. При исследованиях напряженного состояния углеродного массива установлен ряд закономерностей развития деформаций в зоне влияния горных выработок. Если совместить результаты инструментальных наблюдений, проведенных в подземных условиях и на поверхности, то можно представить геомеханическую модель взаимосвязи параметров динамической мульды сдвижения (ДМС) и зоны опорного горного давления при перемещении очистного забоя (рис. 1).

Известно, что в зоне опорного горного давления прослеживается три области деформации массива. В первой, наиболее удаленной от забоя, имеет место пластическое деформирование и уплотнение массива. Во второй, средней области, массив исчерпав пластические и псевдопластические деформации, ведет себя как упругое тело. В третьей -- краевой части пласта под действием нарушения равновесия сил горного давления (вертикальной и горизонтальной составляющих) происходит отжим угля в сторону поверхности обнажения и конвергенция боковых пород. При этом, в результате разрушения опоры, зона опорного давления самеликвидируется.



1, 2, 3 – области деформации массива в зоне опорного горного давления.

Рис. 1 – Геомеханическая модель взаимосвязи параметров динамической мулды сдвига и зоны опорного горного давления при перемещении очистного забоя

В природе, в условиях формирования и самоликвидации зоны опорного давления, которые моделируются в лабораторных условиях при объемном сжатии и газонасыщении образцов угля [2, 3, 4], структура угольного пласта претерпевает трансформацию аналогично условиям угольного генезиса, но в более экстремальной форме. Исследованиями [5] установлено, что в зоне роста давления в напряженной газодинамической системе НМО макромолекул углеводородов происходит нарушение равновесия баланса энергетических сил. Во внутрипоровом пространстве происходит явление газового коллапса, которое сопровождается формированием новой структуры угольного вещества. В результате чего внутренний энергетический потенциал системы "уголь-газ" резко возрастает.

Аналогичные процессы происходят и в зоне опорного горного давления. Испытывая сверхдеформации, природная структура углеводородов трансформируется. При разрушении опоры в системе опять происходит нарушение равновесия сил объемного сжатия макромолекул, что приводит к ее раскрытию в сторону обнажения. Но, при этом, разрушение угля на отдельности различной формы сопровождается уже генерацией внутреннего энергетического потенциала системы в виде ее газовой составляющей.

Таким образом, спонтанное саморазрушение угля в краевой части пласта является следствием не только нарушения равновесия сил между вертикальной и горизонтальной составляющими опорного горного давления, а и трансформации системы "уголь-газ" при объемном сжатии макромолекул углеводородов. Поэтому баланс энергетических сил и расчет его потенциала, накопленного в трансформированной углеводородной системе, следует рассматривать во взаимосвязи с градиентом вертикальной и горизонтальной составляющих сил опорного горного давления. Этот вывод подтверждается многочисленными общеизвестными инструментальными измерениями напряженного состояния массива,

характером газовыделения в скважины и проявлением зоны опорного давления на смежных подрабатываемых (надрабатываемых) пластах [6]. Однако, несмотря на то, что характер газовыделения в зоне опорного горного давления достаточно хорошо изучен, что позволяет эффективно использовать передовую дегазацию при снижении выбросоопасности угольных пластов, изменение энергетического потенциала системы "уголь-газ" по-прежнему малоисследованно.

#### Фактор блочного сдвижения горных пород

В результате процесса сдвижения массива горных пород на земной поверхности образуется муфта сдвижения. Динамика ее развития связана с технологией добычи и геомеханическими процессами, происходящими в геологической толще от вынимаемого пласта до земной поверхности. В связи с углублением горных работ характер геомеханических процессов претерпевает изменения. Поэтому, при переходе на новые горизонты, необходима постоянная корректировка параметров сдвижения нависающего массива. Это приводит к развитию новых научно-технических решений и обоснованию физических моделей сдвижения горных пород. Кроме этого необходимы исследования взаимосвязи параметров сдвижения с происходящими в системе "уголь-газ" явлениями техногенных преобразований.

На основании многочисленных и многолетних инструментальных измерений установлено, что на смежных пластах в подрабатываемом и надрабатываемом массиве геологической толщи, одновременно с зонами разгрузки формируются зоны пригрузки (сжатия). В зависимости от расстояния междупластья граница зоны сжатия проявляется при подработке на удалении до 120 м, а при надработке до 80 м впереди забоя рабочей лавы [6]. В этой части геологической толщи, вследствие роста деформаций, давления и температуры (аналогично условиям угольного генезиса) природная система "уголь-газ", также как и в зоне опорного давления, находится в условиях сверхдеформаций и приобретает новые физико-механические свойства.

Сдвижение горных пород, формирование зон опорного горного давления, зон растяжения и сжатия в ДМС и повышенного горного давления (ПГД) на смежных пластах являются следствием ведения горных работ. Следовательно, природная система "уголь-газ" испытывает техногенное воздействие задолго до проявления эффекта саморазрушения в краевой части пласта, где деформации сжатия практически мгновенно сменяются деформациями расширения.

В развитии и проявлении трансформации твердых углеводородов под влиянием техногенных факторов можно выделить три основных стадии: 1 – начальную; 2 – активную; 3 – пассивную (рис. 2).

Изменение напряженно-деформированного состояния в структуре углеводородов происходит одновременно с развитием растягивающих напряжений в подрабатываемом массиве горных пород. Межблочные трещины разрыва возникают, а затем развиваются по плоскости сдвижения горных пород



Рис. 2 – Схема модели развития трансформации углеводородов в системе "уголь-газ" и техногенных преобразований в геологической толще

(см. рис. 1). По мере образования и роста консоли защемления в геологической толще формируются блоки определенных размеров [1]. Размеры блока зависят от горно-геологических условий и свойств горных пород, технологических схем разработки и параметров очистных забоев. Поэтому, в зависимости от сочетания этих факторов и способов управления ими, может произойти как отрыв блока с его смещением в сторону выработанного пространства, так и плавный изгиб нависающего массива с раскрытием и закрытием трещин разрыва.

По мере подвигания очистного забоя размеры консоли блока увеличиваются. Вместе с ней возрастают опорное горное давление и напряженно-динамическое состояние углегазового массива, процесс техногенных преобразований в системе "уголь-газ" переходит в активную стадию. При критических напряжениях в краевой части пласта происходит практически мгновенная смена деформаций и его разрушения. Именно в этот период в результате проявления градиентов составляющих опорного горного давления и баланса энергетических сил в системе "уголь-газ" по границе раздела сред твердое – газообразное происходит раскрытие вторичной структуры угольного вещества [5]. Неустойчивое (относительно подвижное) состояние угольного пласта в его краевой части воспринимается нами как выбросоопасное.

После отрыва блока влияние консоли защемления на краевую часть пласта резко снижается, техногенные воздействия переходят в пассивную стадию. Одновременно с подвиганием очистного забоя в подработанной геологической толще, под действием отрывающихся блоков, вертикальные межблочные трещины разрыва смыкаются. За очистной выработкой горный массив возвращается в равновесное состояние, но уже с техногенно трансформированными подработанными (надработанными) угольными пластами.

Предложенная модель последовательности и характера проявления техногенных преобразований, происходящих в геологической толще, уже на данном

этапе позволяет логически обосновать взаимосвязь факторов горного давления и сдвигения горных пород, неразрывно связанных между собой, с явлением трансформации углеводородов в системе "уголь-газ".

### Газодинамический фактор трансформации системы "уголь-газ"

В гипотезах выбросоопасности приводятся многочисленные результаты исследований динамики газовыделения, на основании которых установлен ряд закономерностей. В работе [7] приведены результаты исследований газовыделения при бурении и разбуривании скважин. Используя метод аналогий, авторы этих исследований сущность характера газовыделения и его снижения после разбуривания скважины поясняют следующим образом. Известно, что вокруг выработки, в том числе и скважины, образуются зоны деформаций. Если с поверхности скважины убрать уже разрушенный в зоне максимальных деформаций уголь, то перераспределения напряжений, в ранее образовавшейся вокруг скважины зоне разгрузки, не происходит.

Аналогичные результаты получены при исследовании влияния диаметра опережающих скважин на метановыделение в них [8]. В исследуемом диапазоне при диаметре скважин 100-300 мм радиус их эффективного влияния, т.е. зоны разгрузки или зоны трансформации составил 1,25 м. При этом также было установлено, что основная часть метана из скважины выделяется в процессе бурения, а затем разбуривания, после чего газовыделение снижается и, практически прекращается.

Таким образом, разбуривание скважины не приводит к нарушению сложившегося равновесия сил в прискважинной зоне. Однако, вместе с тем, при извлечении разрушенного угля наблюдается скачкообразный рост скорости газовыделения, который авторы ничем не поясняют. Это явление можно обосновать разрушением угля на более мелкие отдельности, при котором возрастание энергетического потенциала газообразной составляющей является следствием его генерации системой "уголь-газ".

При исследованиях эффективности дегазации угольных пластов в глубоких шахтах [9] установлен характер и интенсивность газовыделения в дегазационные скважины из выбросоопасных и невыбросоопасных пластов. Их анализ показывает, что на интенсивность газовыделения в скважины оказывает влияние не только глубина залегания пласта, а и его газодинамическое состояние. На глубоких горизонтах и в выбросоопасных зонах значительная часть газа выделяется при бурении и в начальный период функционирования скважин, т.е. в период техногенного воздействия. Далее наблюдается устойчивый характер постепенного снижения газовыделения.

Рассматривая результаты исследований выделения газа в скважины с позиции трансформации системы "уголь-газ" и ее энергетического потенциала можно отметить, что газодинамическое состояние системы характеризуется интенсивностью (скоростью) газовыделения, характер проявления которой является следствием нарушения баланса природного равновесия энергетических сил.

Таким образом, под влиянием факторов техногенного воздействия на угольные пласты в системе "уголь-газ" происходит закономерное нарушение при-

Таким образом, под влиянием факторов техногенного воздействия на угольные пласты в системе "уголь-газ" происходит закономерное нарушение природного равновесия внутренних энергетических сил. В геологической толще горных пород система "уголь-газ" подвергается техногенному воздействию первоначально в зоне влияния ДМС и в зоне опорного горного давления, а затем в краевой части пласта. Трансформация структуры НМО угольного вещества в зонах сверхдеформаций приводит к резкому возрастанию внутреннего энергетического потенциала системы. Реализация которого, в зависимости от факторов внешнего воздействия, может происходить при объемном сжатии во внутрипоровом пространстве в виде явления газового коллапса или при саморазрушении в краевой части в виде явления генерации энергии газообразной составляющей системы "уголь-газ".

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четаерик М.С., Андрощук Е.В. Теория сдвигания массива горных пород и управления деформационными процессами при подземной выемке угля. – Днепропетровск: РИА «Днепр-VAI», 2004. – 148 с.
2. Зорин А.Н., Колесников В.Г. Софийский К.К., Попырин А.Ф., Прусова А.А. Механика и физика динамических явлений в шахтах. – К.: Наукова думка, 1979. – 155 с.
3. Осокин В.В. Роль газа в инициировании и развитии внезапных выбросов угля и газа // Разработка месторождений полезных ископаемых. Респ. Межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техника, 1971. - №25. – С. 55-60.
4. Борисенко А.А. Исследование механизмов разрушения угля энергией газа при внезапных выбросах // Выбросоопасность угольных пластов. Науч. сообщения ИГД им. Сковчинского, 1980. - №186. – С. 78-83.
5. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. – М.: Издательство Академии горных наук, 2000. – 519с.
6. Новичихин И.А., Кулешов В.М., Зайцев Ю.А. Использование защитных пологих пластов на шахтах Донбасса - Донецк: Донбасс, 1977. – 70 с.
7. Николин В.И. Представления (гипотеза) о природе и механизме выбросов угля, породы и газа. В кн. Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. - М.: Недра, 1978. – С. 122-140.
8. Пузырев В.Н., Черкасов В.С., Боровков Ю.А. Влияние диаметра скважины на метановыделение в них // Уголь, 1990. - №2. – С. 43-44.
9. Забурдяев В.С. Эффективность дегазации угольных пластов в глубоких шахтах // Науч. сообщ. Ин-т горного дела им. Сковчинского, 1982. - № 209. – С. 87-92.
1. Четверик М.С., Андрощук Е.В. Теория сдвигания массива горных пород и управления деформационными процессами при подземной выемке угля. – Днепропетровск: РИА «Днепр-VAI», 2004. – 148 с.
2. Зорин А.Н., Колесников В.Г. Софийский К.К., Попырин А.Ф., Прусова А.А. Механика и физика динамических явлений в шахтах. – К.: Наукова думка, 1979. – 155 с.
3. Осокин В.В. Роль газа в инициировании и развитии внезапных выбросов угля и газа // Разработка месторождений полезных ископаемых. Респ. Межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техника, 1971. - №25. – С. 55-60.
4. Борисенко А.А. Исследование механизмов разрушения угля энергией газа при внезапных выбросах // Выбросоопасность угольных пластов. Науч. сообщения ИГД им. Сковчинского, 1980. - №186. – С. 78-83.
5. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. – М.: Издательство Академии горных наук, 2000. – 519с.
6. Новичихин И.А., Кулешов В.М., Зайцев Ю.А. Использование защитных пологих пластов на шахтах Донбасса - Донецк: Донбасс, 1977. – 70 с.
7. Николин В.И. Представления (гипотеза) о природе и механизме выбросов угля, породы и газа. В кн. Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. - М.: Недра, 1978. – С. 122-140.
8. Пузырев В.Н., Черкасов В.С., Боровков Ю.А. Влияние диаметра скважины на метановыделение в них // Уголь, 1990. - №2. – С. 43-44.
9. Забурдяев В.С. Эффективность дегазации угольных пластов в глубоких шахтах // Науч. сообщ. Ин-т горного дела им. Сковчинского, 1982. - № 209. – С. 87-92.