

УДК 622.831.322:635

## РОЛЬ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ УГЛЕЙ В ФОРМИРОВАНИИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДОНБАССА

**Киселев Н. Н.**

*(НТЦ «ОНИС при УкрНИИМИ НАНУ», г. Донецк, Украина)*

**Коптиков В. П., Радченко А. Г.**

*(МакНИИ, г. Макеевка, Украина)*

**Радченко А. А.**

*(Донбасская НАСА, г. Макеевка, Украина)*

*У цій роботі показана роль надмолекулярної структури вугілля і розкрита фізична суть підвищеної потенційної викидонебезпеки вугілля середньої стадії метаморфізму.*

*In this article we show the role of coal supramolecular structure and reveal physics of increased potential bursting liability of coals of middle metamorphism stage.*

Согласно энергетической теории В. В. Ходота, внезапный выброс угля и газа является результатом совместного взаимодействия и влияния следующих факторов: горного давления, газа, заключенного в угле, физико-механических свойств угольного пласта [1]. В работе [2] указывается на повышенную потенциальную выбросоопасность углей средней стадии метаморфизма, но физическая сущность этого явления раскрыта недостаточно полно.

Целью настоящей работы является раскрытие физической сущности повышенной потенциальной выбросоопасности углей средней стадии метаморфизма, что является важным моментом для дальнейшего развития теории и практики борьбы с внезапными выбросами угля и газа.

В начале 30-х годов профессор Л. Н. Быков установил, что хрупкость углей имеет свой максимум при выходе летучих веществ  $V^{daf}=15-32\%$  [3].

В работе [4] указывается, что дробимость углей, обуславливается следующими факторами: крепостью, трещиноватостью и вязкостью. В свою очередь вязкость угля обусловлена его пластическими свойствами, пластичность угля количественно характеризуется толщиной пластического слоя  $Y$ , мм.

В работе [5] указывается, что максимальные значения величины сорбции метана углями находятся в диапазоне  $V^{daf} = 25 - 30\%$ , а максимальные величины набухания углей при сорбции метана находятся в диапазоне  $V^{daf} = 10 - 25\%$ .

Следует отметить, что на разрушаемость угля и прочность его в массиве оказывают влияние не только пластичность, но и газоносность, величины сорбции и сорбционного набухания. Угли средней стадии метаморфизма характеризуются рядом особенностей:

– повышенные: коксуемость, спекаемость, теплотворная способность, вязкость, пластичность, дробимость, а также выбросоопасность;

– пониженные: удельный вес, пористость, прочность, пределы прочности на сжатие и растяжение;

Согласно [6], сложность и молекулярная неоднородность структуры угля заключаются в том, что макромолекулы содержат большое количество фрагментов, существенно отличающихся по составу и строению. Отсутствует определенный порядок в чередовании фрагментов структуры, а микронеоднородность органической массы угля (ОМУ) характеризуется наличием участков с разной степенью упорядоченности структуры.

Исходя из современных представлений о строении углей [7], ОМУ состоит из ароматической кристаллической твердой составляющей и алифатической аморфной подвижной составляющей. Каждая из этих двух составляющих в свою очередь состоит из упорядоченной и неупорядоченной частей. В углях средней стадии метаморфизма происходит структурная перестройка ОМУ, разрыв химических связей, что приводит к повышенной подвижности молекулярной структуры углей в интервале изме-

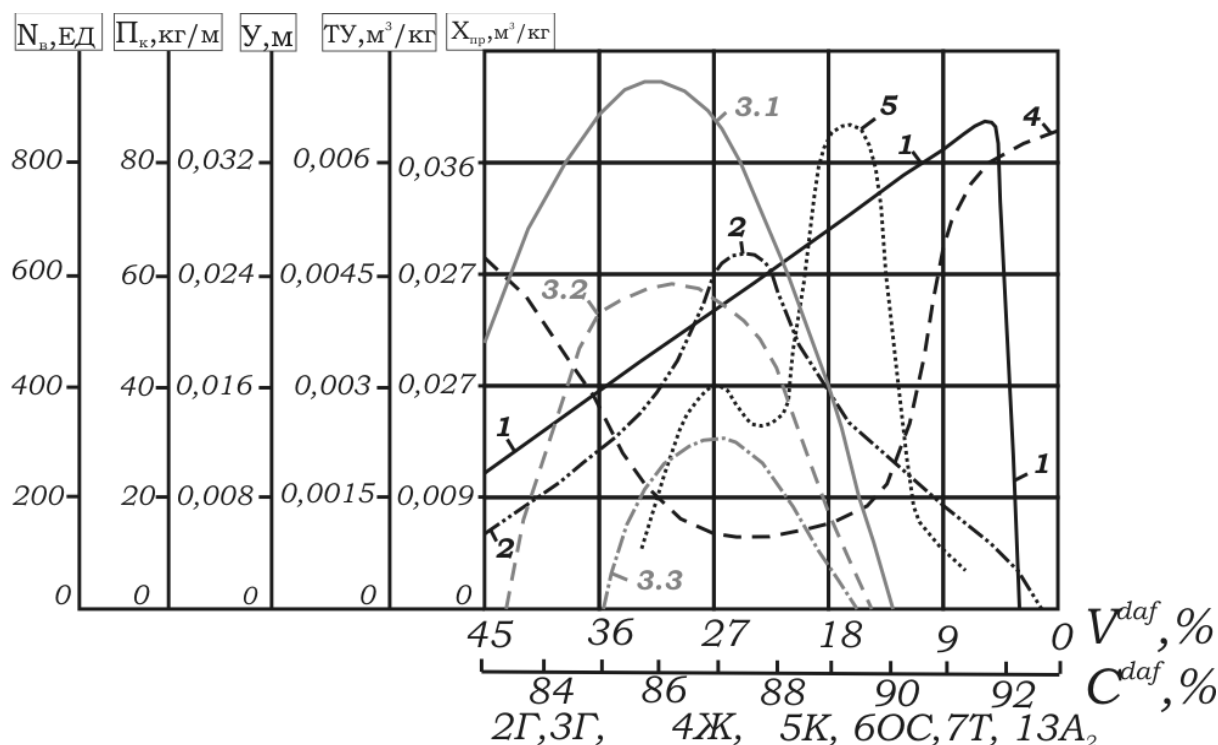
нення  $V^{daf} = 35 \div 29 \%$ . В даному інтервалі йде ріст упорядоченої частини кристаллическої складової, і ріст неупорядоченої частини аморфної складової [7]. За рахунок складывання кристаллоподобних слоїв-лент і їх закручування в спіралі відбувається зменшення вільного простору, йде скорочення довжини алифатических зв'язей. Сильне взаємодія сусідніх ділячок цих кристаллоподобних слоїв сприяє їх розриву в місцях перегибів. Ароматичність, кількість кілець в вуглеродному ядрі і кількість сіток в пакеті збільшується. Збільшення товщини пакетів, зменшення розмірів вуглеродних сіток, ущільнення молекулярної структури вказує на структурну перебудову ОМУ. З'являється висока рухливість глобул з вираженою поверхнею розділу, в той же час, частина складчатих надмолекулярних утворень (НМО) не сформувалася в глобули і існує в вигляді окремих фрагментів складчатих НМО, вони виконують дію своеобразної смазки на глобули і їх агрегати [7]. На даному етапі метаморфізму утворюються замкнуті молекулярні пори і мікропори, зростає пластичність, це призводить до зниження міцності вугілля і зростанню їх дробимості. В діапазоні зміни  $V^{daf} = 29 \div 18 \%$  відбувається ріст упорядоченої частини кристаллическої складової, а також починається ріст упорядоченої частини аморфної складової. В зв'язі з цим пластичність, спекаємість вугілля падають, зростає твердість вугілля. На даному етапі метаморфізму починається зшивання сегментів ОМУ, крихкість і руйнуємість вугілля зменшуються, вугілля стають більш міцними. В ряду метаморфізму вугілля відсотковий вміст алифатического вуглерода –  $C_{алф}, \%$  має параболічеську залежність з максимальними значеннями для вугілля середньої стадії метаморфізму [8].

В роботі [9] підкреслюється, що при підході до вибросоопасної зони в каменних вугіллях збільшується їх ступінь метаморфізму, а в антрацитах спостерігається зворотна закономірність, т.е. відбувається локальний прогресивний (в першому випадку) і регресивний (в другому випадку) метаморфізм вугільного речовини. Вибросоопасні ділячки відрізняються від сусідніх більш високими значеннями пластичності, зсув і в першому і в другому випадках відбувається в бік більш високих значень пластично-

сти, дробимости углей. В работе [10] указывается, что по мере приближения к месту внезапного выброса молекулярная структура углей претерпевает сложные преобразования, следствием которых являются повышение её дефектности.

Рассмотрим, как изменяется выбросоопасность углей в ряду метаморфизма. Изменения природной газоносности –  $X_{np}$ , м<sup>3</sup>/кг и содержания тяжелых углеводородов –  $TУ$ , м<sup>3</sup>/кг, согласно данным работы [11], приведены на рисунке 1 – кривые 1 и 2 соответственно. На основании классификационной диаграммы клареновых углей Донбасса (авторы М. Л. Левенштейн и др., 1965 г.) и данных работы [13] нами были построены кривые изменения толщины пластического слоя  $Y$  (м) для: 3.1 – весьма восстановленных углей; 3.2 – средне восстановленных углей; 3.3 – особо маловосстановленных углей (см. рис. 1, кривые 3.1, 3.2, 3.3 – соответственно). Изменение дробимости углей по копру (кривая 4) построено по данным работы [14]. Изменение количества выбросов угля и газа в зависимости от  $V^{daf}$ , согласно данным работы [12] отражает кривая 5.

Анализ рисунка 1 показал следующее. Изменение количества выбросов – (кривая 5) в ряду метаморфизма имеет бимодальное распределение. Первый максимум выбросов ( $V^{daf} \approx 27\%$ ) связан с максимумами пластичности 3.1, 3.2, 3.3 тяжелых углеводородов, сорбционной способности углей по метану согласно [5], с ростом природной газоносности углей и минимумом прочности углей. Второй максимум выбросов ( $V^{daf} \approx 17\%$ ) связан с дальнейшим ростом газоносности углей, с низкими значениями прочности углей, с ещё сохраняющимися пластическими свойствами углей, с максимальными значениями величины сорбционного набухания углей согласно [5]. Следует отметить, что эти два максимума выбросов угля и газа обусловлены также максимальными значениями давлений метана, измеренных для углей средней стадии метаморфизма.



- 1 – природная газоносность пластов, м<sup>3</sup>/т;
- 2 – содержание тяжелых углеводородов, м<sup>3</sup>/т;
- 3 – толщина пластического слоя, мм:
- 3.1 – для весьма восстановленных углей;
- 3.2. – для средне восстановленных углей;
- 3.3. – для особо маловосстановленных углей;
- 4 – дробимость по копру (прочность по копру), г/см;
- 5 – количество внезапных выбросов, ед.

Рис. 1. Изменение выбросоопасности угольных пластов в зависимости от  $V^{daf}$

Высокая подвижность надмолекулярной структуры ОМУ позволяет атомам метана внедряться в межкристаллическое пространство ароматической составляющей и ещё с большей лёгкостью в межмолекулярное пространство алифатической составляющей. Это приводит к росту величины сорбции метана углем, к дальнейшему набуханию углей, росту внутренних напряжений. Вышележащие горные породы сдерживают увеличение объёма угольного вещества пласта и в пласте создается высокое давление метана. Происходит уменьшение диаметра пор, снижается газопроницаемость пласта, растут внутренние температурные

напряжения. В случаях зависания кровли, а также влияния других неблагоприятных факторов при подходе выработки к таким участкам с повышенными градиентами газового и напряженного состояний возможны выбросы угля и газа. В местах неблагоприятного сочетания геологических, тектонических, геомеханических, технологических факторов на таких участках резко возрастает вероятность проявления выбросов угля и газа.

### **Выводы**

1. В углях средней стадии метаморфизма структурная перестройка органической массы углей ведет к появлению новых свойств, таких как пластичность, которая обуславливает: спекаемость, коксуюемость углей, низкую прочность, высокую дробимость углей, их высокие сорбционную способность и набухаемость.

2. Высокая набухаемость углей ведет к уменьшению диаметра пор, снижению газопроницаемости угля, росту внутренних напряжений и давления газа в пласте.

### **Благодарность**

Авторы выражают глубокую признательность и благодарность д.х.н. Шендрик Т. Г. и д.т.н. Старикову Г. П. за полезные обсуждения и содействие при написании данной работы.

## **СПИСОК ССЫЛОК**

1. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля, породы и газа. – М. Госгортехиздат, 1961. – 363 с.
2. Забигайло В.Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность / Забигайло В.Е., Николлин В.И. – Киев: наук. думка, 1990. – 168 с.
3. Быков Л.Н. Теория внезапных выделений газов в шахтах и основные меры борьбы с ними (Центральный район Донбасса). В книге: Проблемы борьбы с рудничным газом и каменноугольной пылью. Труды и материалы МакНИИ, ОНТИ, НКТП, СССР, 1931, С. 7 – 41.
4. Исследование и классификация углей. Сборник № 18 ДонУГИ, Углетехиздат, Москва, 1959. – 232 с.

5. Айруни А.Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах. – М.: Наука, 1987. – 310 с.
6. Саранчук В.І., Ільяшов М.О., Ошевський В.В., Білецький В.С. / Основи хімії і фізики горючих копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – 640 с.
7. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля / Саранчук В.И., Айруни А.Т., Ковалев К.Е.; отв. Ред. Сапунов В.А.; АН УССР. Ин-т физ.-орган. Химии и углехимии. – Киев: наук. думка, 1988. – 192 с.
8. Гагарин С.Г. Роль невалентных взаимодействий между ароматическими фрагментами углей // ХТТ. – 1990. – № 5. – С. 9 – 13.
9. Лосев Н.Ф., Труфанов В.Н., Смирнов Б.В., Фролков Г.Д. Процессы и явления, формирующие и сопровождающие выбросы угля и газа / Вып. 13. Препринт. Ростов-на-Дону: издательство Северокавказского научного центра высшей школы. 1994. 24 с.
10. Фролков Г.Д., Свеколкин Н.В., Пересунько Т.Ф. Прогноз выбросоопасности по концентрации в угле парамагнитных центров / Безопасность труда в промышленности, 1987, № 3, С. 50 – 52.
11. Косенко Б.М. Изменение содержания метана и высших углеводородов в каменных углях и антрацитах Донбасса // Геология угольных месторождений – М, 1969. – т. 1. – С. 129 – 135.
12. Бобров И.А. Об оптимизации режима ведения сотрясательно-го взрывания в подготовительных выработках // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. – Сб. научн. трудов. – Макеевка – Донбасс, 1993, С. 31 – 38.
13. Левенштейн М.Л. Эталонная шкала метаморфизма углей // Метаморфизм углей и эпигенез вмещающих пород. – М., Недра, 1975. – С. 83 – 88.
14. Двужильная Н.М. Новые классификационные показатели слабоспекающихся углей высокой степени метаморфизма // Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна. – 1954. – Вып. 8 – С. 204 – 272.