

ления вибрационных и валковых классификаторов / Всеукр. наук.-техн. журнал "Вібрації в техніці та технологіях". – Вінниця. – Вип. . – 2004. – С.16-20

4. Надутый В.П., Ягнюков В.Ф. Моделирование влияния параметров валкового классификатора на производительность / Міжвід. зб. наук. праць. – Інститут геотехнічної механіки НАН України. – Дніпропетровськ. – Вип.30. – 2002. – С.165-171

УДК 662.7:552.87

Д-р геол.-мин. наук В.В. Лукинов,
д-р техн. наук В.А. Гончаренко,
инж. Д.А. Суворов
(ИГТМ НАН Украины)

О МЕХАНИЗМЕ ГЕНЕРАЦИИ МЕТАНА УГОЛЬНЫМ ПЛАСТОМ В ПРОЦЕССЕ ГОРНЫХ РАБОТ

Розглянуто фізико-хімічні основи сучасного утворення метану з вугілля в результаті техногенного впливу гірських робіт на вуглепородний масив

ABOUT MECHANISM OF THE GENERATIONS THE METHANE IN COAL LAYER IN PROCESS THE MOUNTAIN WORKS

They Are Considered physical-chemical bases of the modern forming the coal methane as a result technogenic influences of the mountain work on coal-rock massive

Исследования газоносности угольных месторождений позволили установить, что газы в углепородном массиве образовались в результате процессов метаморфизма углей и рассеянных углистых включений во вмещающих породах. Среди этих газов преобладает метан (от 60 до 95 %). Большинство исследователей считают, что метан в угле находится в свободном, сорбированном, растворенном и даже твердом состояниях [1].

Однако некоторые ученые считают, что метан в значительной мере образуется также в процессе горных работ в угольном пласте путем физико-химических реакций углерода с водородом под влиянием перераспределения напряженного состояния, которое приводит к деструкции угля. В качестве аргументов приводят различного рода расчеты и факты из практики горного дела.

Так, например: Эттингер И.Л. оценивал объёмы выделившегося CH_4 при выбросах угля и получил такие его объёмы, которые не смогли бы даже теоретически находиться в угольном пласте при максимальных его сорбционных параметрах; преобразование метана в твердое состояние требует огромных энергетических затрат, о которых нет сведений из истории образования угольных месторождений; лабораторные опыты по дегазации угля под вакуумом свидетельствуют о постоянной генерации метана; коэффициент общей пористости в ряду бурые угли – антрациты изменяется по параболе от 12 до 7 %, с минимумом 4 % на стадии коксующихся углей и т.п. [1, 2]. Приведенные аргументы указывают на то, что в объемах выделившегося газа из угля (особенно в случае проявления газодинамических явлений) очевидно значительная доля принадле-

жит метану, образовавшемуся при техногенном воздействии на угольный пласт в процессе его вскрытия. Однако механизм такой генерации современного метана не описан.

Целью данной статьи является изучение процессов современного образования метана на физико-химической основе под воздействием техногенного влияния в процессе горных работ.

В случае кристаллических структур, построенных из сложных молекул, пренебречь внутренней структурой частиц, как правило, нельзя. Молекула как целое колеблется в кристаллической решетке, тогда как внутри нее происходят сложные колебания отдельных атомных групп [3]. Рассматривая уголь, мы имеем дело с системой, в которой наблюдаются химические и конформационные изменения тех макромолекул из которых оно состоит. При этом под понятием конформации молекулы, мы понимаем различные пространственные формы молекулы, способные переходить друг в друга путем вращения атомов без разрыва межатомных связей в результате внешнего воздействия на горный массив [4]. Химическая и конформационная подвижность обуславливает относительно невысокую степень совершенства структуры угля практически на всех стадиях его катагенетических изменений.

При таком подходе, угольное вещество можно рассматривать, как молекулярный кристалл [3], в котором молекулы располагаются таким образом, что выступы одних молекул входят в углубления других, что, в конечном счете, приводит к образованию ряда соединений углерода с различными атомами. В результате длительного воздействия на угольный массив в течение миллионов лет внешнего силового поля, в нем возникают колебания атомов углерода как следствие соотношения неопределенностей, не имеющих по сути дела классического аналога. В этой связи можно сделать предположение, что давление является фактором, определяющим структурные изменения в угле, а температура есть фактор, ответственный за химизм этих процессов.

Допустим, что в угольном пласте атомы углерода, в силу принципа неопределенности Гайзенберга, совершают в общей массе колебательные движения. В этом случае атомы углерода находятся в двух квантовых состояниях, разделенных расстоянием ΔL . Оценить величину ΔL можно, используя принцип неопределенности Гайзенберга. Согласно этому принципу неопределенности положение квантовой частицы и ее импульс связаны соотношением [5]:

$$\Delta L \Delta p \sim \hbar, \quad (1)$$

где $\hbar$ – постоянная Планка.

Неопределенность импульса частицы (в данном случае атома углерода) будет связана с частотой его колебания. Оценочные подсчеты показывают, что величина ΔL имеет величину:

$$\Delta L \sim \sqrt{\hbar / 2m\omega} \sim 1 \text{ \AA}, \quad (2)$$

ω – частота колебаний атома углерода между квантовыми состояниями, возникающими в результате появления в системе поверхностей повышенного напряжения; m – масса атома углерода (рис.1, а).

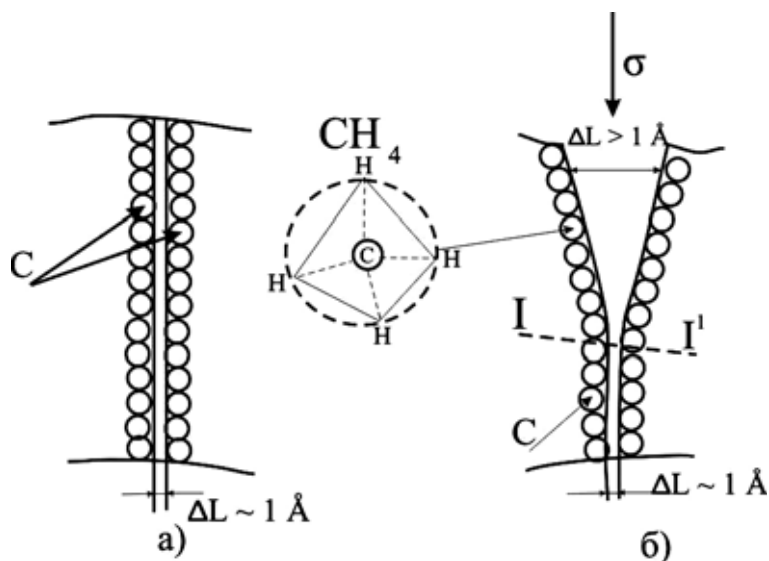


Рис.1 – Схематическое представление механизма образования метана в угле под влиянием техногенной силы

При возникновении в некоторой области угольных пластов аномально направленной силы σ , расстояние ΔL там начинает увеличиваться ($\Delta L > 1 \text{ \AA}$). В этом случае атом углерода получает некоторую «свободу», что позволяет ему образовывать химические соединения с различными элементами (например, с водородом) (рис.1, б).

На рис.1а изображена одна из многочисленных зон в угольном веществе состоящая из атомов углерода и имеющая две поверхности разрешенных квантовых состояний, разделенных промежутком $\Delta L \sim 1 \text{ \AA}$. Частоту атомов углерода в этой зоне будем обозначать символом ω . Возникновение такой зоны сводит данную проблему к задаче о системе с двумя базисными состояниями. Общим свойством систем с двумя разрешенными квантовыми состояниями является то, что одно из состояний энергетически более выгодно, а другое состояние имеет большую энергию на величину ΔE :

$$E_2 = E_1 + \Delta E . \quad (3)$$

Частота колебаний атома углерода ω очевидно связана именно с этой разницей энергий ΔE . Говоря об атоме углерода, мы прежде всего рассматриваем его протон, а различие в энергии ΔE обусловлено тем, что электроны этого атома «подстраиваются» под его движение. Различие в энергии между двумя разрешенными состояниями означает, что в систему «закачивается» энергия. На наш взгляд это происходит в результате образования поверхностей с повышенным значением напряженного состояния, возникающих под действием аномально направленной силы σ .

Деформация горного массива приводит к изменению его термодинамического состояния и соответственно к появлению на микроуровне у атома углерода возможности находиться в двух состояниях, разделенных зоной повышенного значения напряжения. Будем полагать, что процесс деформирования изучаемых объектов горного массива происходит настолько медленно, что в каждый момент времени в нем успевает установиться состояние термодинамического равновесия, соответствующее тем внешним условиям, в которых массив находится в данный момент времени. В результате такого воздействия происходит изменение внутренней энергии деформируемого тела. Деформация эта настолько мала, что она «ощутима» только на микроуровне. Это означает, что только на таком уровне и следует рассматривать изменение внутренней (или свободной) энергии горного массива dE . Изменение внутренней энергии dE равно разности полученного единицей объема тела количества тепла и произведенной силами внутренних напряжений работы dR . Процессы в горном массиве при его статическом нагружении являются обратимыми. В этом случае [6] количество тепла равно TdS , где T – температура изучаемого объекта, а dS – изменение его энтропии. Тогда имеем:

$$dE = TdS + \sigma_{ik} du_{ik}, \quad (4)$$

где σ_{ik} – тензор напряжений в данном месте горного массива, а du_{ik} – деформации тела, вызванные присутствием этого напряжения.

Термодинамическое соотношение (4) для процессов внутри горного массива примет вид:

$$E = TdS - pdV. \quad (5)$$

Вводя вместо энергии E свободную энергию тела $F = E - TS$, будем иметь:

$$dF = -SdT + \sigma_{ik} du_{ik}. \quad (6)$$

Так как свободная энергия является величиной скалярной, то и каждый член в разложении F должен быть скаляром. Тензор напряжений u_{ik} является симметричным, так как исследуемый нами горный объект находится в условиях всестороннего сжатия. Это означает, что мы можем составить два независимых скаляра второй степени, что приводит к разложению свободной энергии F с точностью до членов второго порядка:

$$F = F_0 + \lambda u_{ii} + \mu u_{ik}^2, \quad (7)$$

где λ и μ – коэффициенты Ламе.

В нашем случае не происходит значительное изменение объема деформации, определяемой суммой u_{ii} . Эта сумма будет равна нулю, что соответствует

деформации без изменения объема, т.е. сдвигу. Второго члена, отвечающего всестороннему сжатию, не будет и тогда свободная энергия будет иметь вид:

$$F = \mu (u_{ik} + \delta_{ik} u_{ii} / 3)^2, \quad (8)$$

где μ – модуль сдвига.

Выберем тензор напряжений сдвига таким образом, чтобы $u_{ik}=0$, тогда имеем:

$$F = \mu (\delta_{ik} u_{ii} / 3)^2. \quad (9)$$

В случае элемента горного массива $u_{ii} \sim p$, где p – давление в горном массиве. Тогда имеем:

$$F \sim \mu p^2. \quad (10)$$

Выражение (10) характеризует то, что изменение свободной энергии изучаемого объекта пропорционально второй степени горного давления. Сравнивая выражения (3) и (10) мы приходим к выводу, что в результате изменения напряженного состояния в горном массиве происходит изменение внутренней энергии молекулярных образований, которое пропорционально второй степени давления в горном массиве:

$$\Delta E \sim p^2. \quad (11)$$

В ряде работ [7, 8] приводятся теоретические расчеты объема метана, который может выделиться из угля под влиянием силовых факторов и с учетом числа возможных химических связей. Эти расчеты основаны на том, что каменный уголь имеет около 90 % углерода, 6 % кислорода и 4 % водорода (весовые проценты). Однако атомный вес углерода в 12 раз тяжелее атомного веса водорода и соответственно атомный процент углерода составляет около 63 %, кислорода около 3 % и водорода 34 %. Это означает, что больше третьей части атомов в угле приходится на водород.

Известно, что каждый атом углерода совершает 10^{13} колебаний в секунду, которые можно наблюдать с помощью спектрографа. При этом каждый атом углерода может оторваться в виде радикала только, если его «раскачать», т. е. затратить некоторую энергию для его отрыва (см. рис. 1, б). На этом основании можно утверждать, что наряду с адсорбцией существует химическая кинетика образования метана внутри угольного пласта. Расчеты показывают, что в среднем в одном кубометре угля на протяжении одного метра имеется 4 млрд. атомов углерода. Если теперь «разрезать» данный объем угля на слои, разделенные стенкой моноатомной толщины, то, получится, что эти моноатомные стенки покрыты на 30 % молекулами метана. Таким образом, теоретические расчеты количества метана, который генерируется из угольных пластов в процессе горных работ на различных глубинах залегания, показывают, что из одной тонны

добытого угля может выделяться около 53 м^3 метана [7, 8].

В последние годы в ИГТМ НАНУ им. Н.С. Полякова ведутся научно-исследовательские работы, связанные с повышением эффективности извлечения метана из угольных пластов путем интенсификации газовыделения гидродинамическим воздействием на горный массив. В этом случае создаётся совокупность сложных и одновременно протекающих в массиве процессов, приводящих к разупрочнению угольных пластов с последующей интенсификацией выделения метана из них. В результате применения такого способа было установлено, что дегазация из угольного пласта может повыситься до 10 раз [9]. Эти исследования являются примером для подтверждения на практике предложенного механизма генерации метана угольным пластом при техногенном влиянии горных работ на углепородный массив.

Таким образом, на основе принципа неопределенности Гайзенберга предложен механизм генерации метана из углерода и водорода с помощью физико-химических реакций на поверхностях трещин, образовавшихся под влиянием аномальных сил техногенного происхождения. Такой подход к роли современного образования метана позволяет логистически объяснить процессы возникновения аномальных газодинамических явлений в угольных шахтах и научно обосновать газовый потенциал угольных месторождений при подсчете реальных запасов угольного метана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эттингер И.Л. Газоёмкость ископаемых углей. – М.: Недра, 1966. – 233с.
2. Семенович В.В., Высоцкий И.В., Корчагин Ю.И. Основы геологии горючих ископаемых. – М.: Недра, 1987. – 397с.
3. Китайгородский А.И. Молекулярные кристаллы. – М.: Наука, 1971. – 257с.
4. Зоркий П.М. Симметрия молекул и кристаллических структур. – М.: Наука, 1986. – 315 с.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. – М.: Наука, 1989. – 767с.
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости. – М.: Наука, 1987. – 246с.
7. Мюллер Р. Л. К вопросу о возможной роли химических процессов при внезапных выбросах угля и газа в угольных шахтах // Вопросы теории внезапных выбросов угля и газа. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1959. – С. 156 – 172.
8. Карагодин Л. Н., Томилин П. И., Нарушный Б. М. Исследования метановыделения при внезапных выбросах угля и газа // Уголь. – 1986. – № 8. – С. 55- 58.
9. Софийский К.К., Силин Д.П., Мучник Э.И. и др. Закономерности процесса газовыделения из угольных пластов при гидродинамическом воздействии // Геотехн. механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ИГТМ НАН України, 2004. – Вип. 49. – С. 41 – 48.