

**ВЛИЯНИЕ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА КИНЕТИКУ
ВЫХОДА МЕТАНА ИЗ УГЛЯ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ
ГОРНОГО МАССИВА**

Експериментально досліджено вплив виду напруженого стану на кінетику виходу метану із зруйнованого вугілля з урахуванням температури гірничого масиву.

**STRESS STATE EFFECT ON METHANE EMISSION KINETICS IN COAL
WITH ACCOUNT TAKEN OF THE ROCK MASS TEMPERATURE**

Stress state effect on methane emission kinetics in broken coal with account taken of the rock mass temperature is studied experimentally.

При подземной разработке угольные пласты, особенно в окрестности горных выработок, находятся в условиях сложного напряженного состояния, а именно, объемного неравнокомпонентного сжатия, характеризуемого видом напряженного состояния. Ранее [1-3] было установлено существенное влияние вида напряженного состояния на физико-механические свойства углей, в том числе и на сорбционные. С ростом глубины разработки угольных пластов значительно изменяется такой важный термодинамический параметр как температура горного массива, достигая в некоторых случаях для современных глубин более 50С°. Поэтому весьма актуальным является исследование влияния вида напряженного состояния на кинетику выхода метана из угля с учетом температурных изменений в горном массиве.

В настоящей работе проведены исследования влияния вида напряженного состояния на кинетику выхода метана из угля при двух температурах $T = 25\text{C}^\circ$ и $T = 50\text{C}^\circ$. Для экспериментальных исследований были изготовлены образцы угля марки Т, отобранные на пласте I₄ ш. Комсомолец Донбасса. Пласт I₄ – простого строения, по внезапным выбросам угля и газа, горным ударам и самовозгоранию не опасен. Мощность пласта 0,97м, метаноносность пласта 21 – 25 м³/т, газообильность выемочного участка 9 – 13 м³/т. Уголь марки Т – энергетический, плотность угля 1,55 т/м³, зольность A^d – 9,6%, сера S_t^d – 3,1%, влажность угля W_t^d – 2,8%, выход летучих V^{daf} – 7,1%, теплота сгорания 35 МДж/кг [4].

Для испытаний на установке неравнокомпонентного трехосного сжатия УНТС [5] на кварцерапиловочном станке изготавливались образцы угля кубической формы с ребром 55мм. При подготовке образцов, грани куба изготавливались таким образом, чтобы одна пара была параллельной системам трещин или прослоям. Испытывались образцы угля с естественной влажностью, определяемой методом ЯМР.

Исследования образцов угля проводилось до разрушения для разных видов напряженного состояния, характеризуемых параметром Надаи – Лоде

$$\mu_{\sigma} = 2 \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \right) - 1 \quad (1)$$

где $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ - главные напряжения, при этом определялся вид деформационного состояния μ_{ε}

$$\mu_{\varepsilon} = 2 \left(\frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} \right) - 1 \quad (2)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - главные деформации.

Моделировалось пять видов напряженного состояния:

$\mu_{\sigma} = -1$ (обобщенное сжатие);

$\mu_{\sigma} = +1$ (обобщенное растяжение);

$\mu_{\sigma} = 0$ (обобщенный сдвиг);

$\mu_{\sigma} = -0,5$ (между обобщенным сжатием и обобщенным сдвигом);

$\mu_{\sigma} = +0,5$ (между обобщенным сдвигом и обобщенным растяжением).

В процессе нагружения давление, передаваемое по каждой оси, регистрировалось по образцовым манометрам, а смещения граней образцов - по лазерным индикаторам с точностью до 10^{-5} м. Поддержание необходимого давления по каждой грани достигалось путем периодического включения насосов высокого давления или сбросом давления в гидроцилиндрах.

Для получения достоверных данных о поведении угольных образцов в объемном неравнокомпонентном поле сжимающих напряжений и о значениях механических характеристик образцов, количество единичных испытаний в экспериментах составляло 5.

По результатам исследований были определены виды деформационного (μ_{ε}) и напряженного (μ_{σ}) состояний в момент разрушения.

На рис. 1. представлены зависимости μ_{ε} от μ_{σ} для угля при его разрушении, в сравнении с ранее проведенными исследованиями [6].

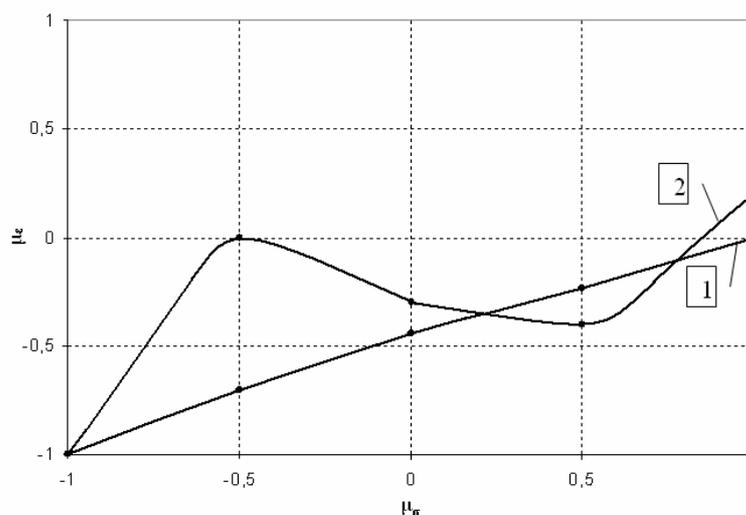


Рис. 1 – Зависимость вида деформационного состояния от вида напряженного состояния:

1- уголь марки Т пласта h_{10}^B шахты «им. С.М. Кирова» при $T = 25C^{\circ}$ [6],

2 – уголь марки Т пласта l_4 шахты «Комсомолец Донбасса» при $T = 25C^{\circ}$

Из зависимости видно, что для исследуемой марки угля Т в условиях объемного неравнокомпонентного нагружения μ_ϵ не соответствует μ_σ , причем μ_ϵ изменяется от обобщенного сжатия до обобщенного сдвига.

Кинетика выхода метана из угля исследовалась термогравиметрическим методом при двух температурах $T = 50^\circ\text{C}$ и $T = 25^\circ\text{C}$. Использовались образцы угля, полученные после разрушения при различных видах напряженного состояния.

Исследуемые угли измельчались до фракций 2,0 – 2,5мм. Для определения максимальной потенциальной метаноемкости все навески угля высушивались при $T = 100^\circ\text{C}$ в течение одного часа, помещались в контейнеры, под давлением метана 10 МПа. Время насыщения составляло 10 суток.

По окончании насыщения метанонасыщенные образцы помещались на термовесы и определялась кривая кинетики газовыделения в течение 4 часов с шагом измерения 10сек при $T = 50^\circ\text{C}$, а при $T = 25^\circ\text{C}$ в течение 5 часов с шагом измерения 1 минута.

На рис. 2. представлены для сравнения зависимости кинетики выхода метана из угля ($\mu_\sigma = -0,5$) при двух температурах $T = 50^\circ\text{C}$ и $T = 25^\circ\text{C}$.

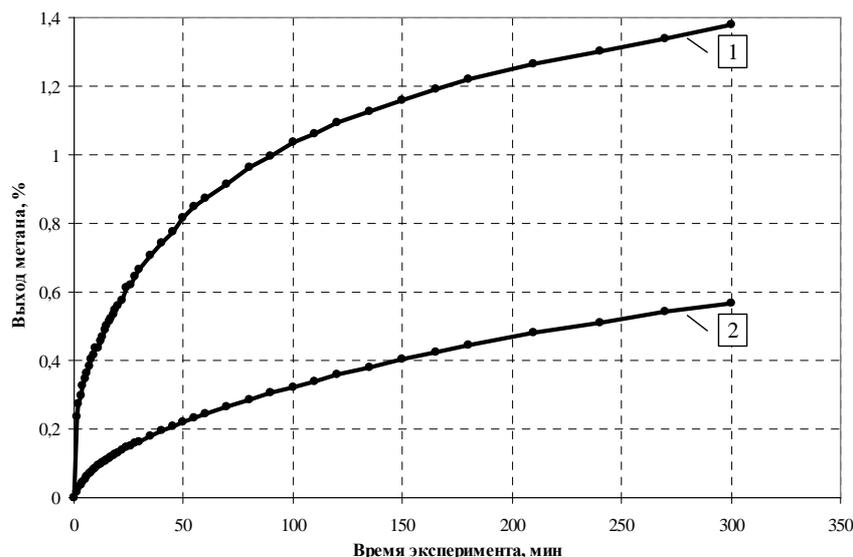


Рис. 2 – Количество выхода метана из угля для $\mu_\sigma = -0,5$ при: 1 - 50°C ; 2 - 25°C

Из представленного графика видно, что при увеличении температуры на 25°C количество метана, выходящего из угля, увеличивается в среднем в 2 - 2,5 раза. Это говорит о том, что при определении характера и механизма десорбции метана из угля необходимо учитывать температуру горного массива.

Для исследования влияния вида напряженного состояния на кинетику выхода метана из угля, определялись зависимости кинетики газовыделения на образцах подверженных разным видам нагружения и исходным образцом при двух температурах.

На рис. 3. и рис. 4. представлены зависимости кинетики газовыделения при двух температурах.

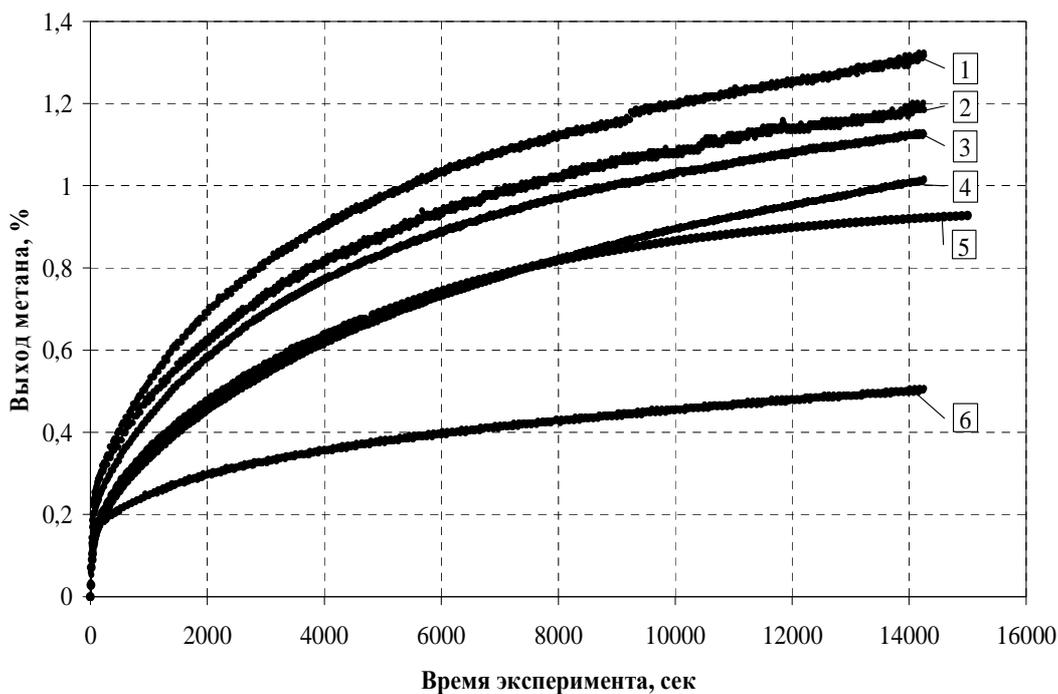


Рис. 3 – Количество выхода метана из угля для различных видов напряженного состояния при $T = 50\text{C}^{\circ}$: 1 - $\mu_{\sigma} = -0,5$; 2 - $\mu_{\sigma} = +1$; 3 - $\mu_{\sigma} = -1$; 4 - $\mu_{\sigma} = 0$; 5 - $\mu_{\sigma} = +0,5$; 6 – исходный образец.

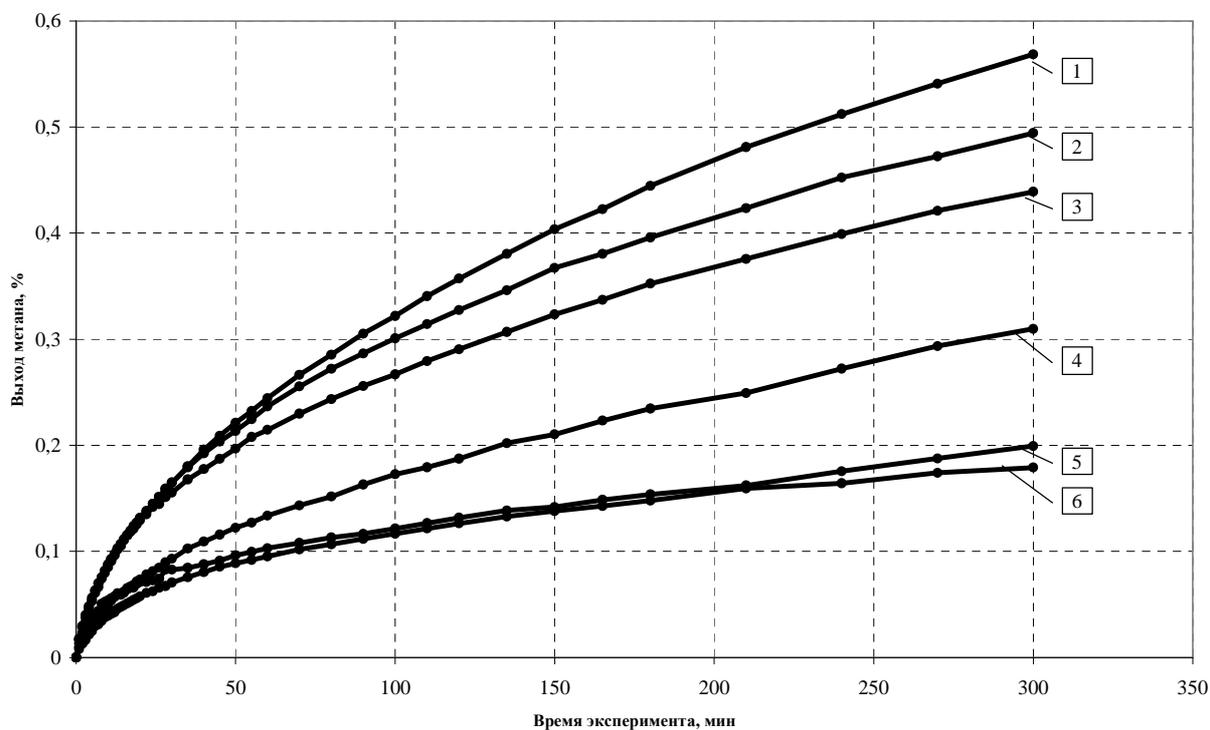


Рис. 4 – Количество выхода метана из угля для различных видов напряженного состояния при $T = 25\text{C}^{\circ}$: 1 - $\mu_{\sigma} = -0,5$; 2 - $\mu_{\sigma} = +1$; 3 - $\mu_{\sigma} = +0,5$; 4 - $\mu_{\sigma} = 0$; 5 - $\mu_{\sigma} = -1$; 6 – исходный образец.

Из представленных графиков видно, что наибольшая кинетика выхода метана при $\mu_\sigma = -0,5$ как при $T = 50^\circ\text{C}$, так и при $T = 25^\circ\text{C}$.

Также определялась скорость выхода метана от времени (рис. 5).

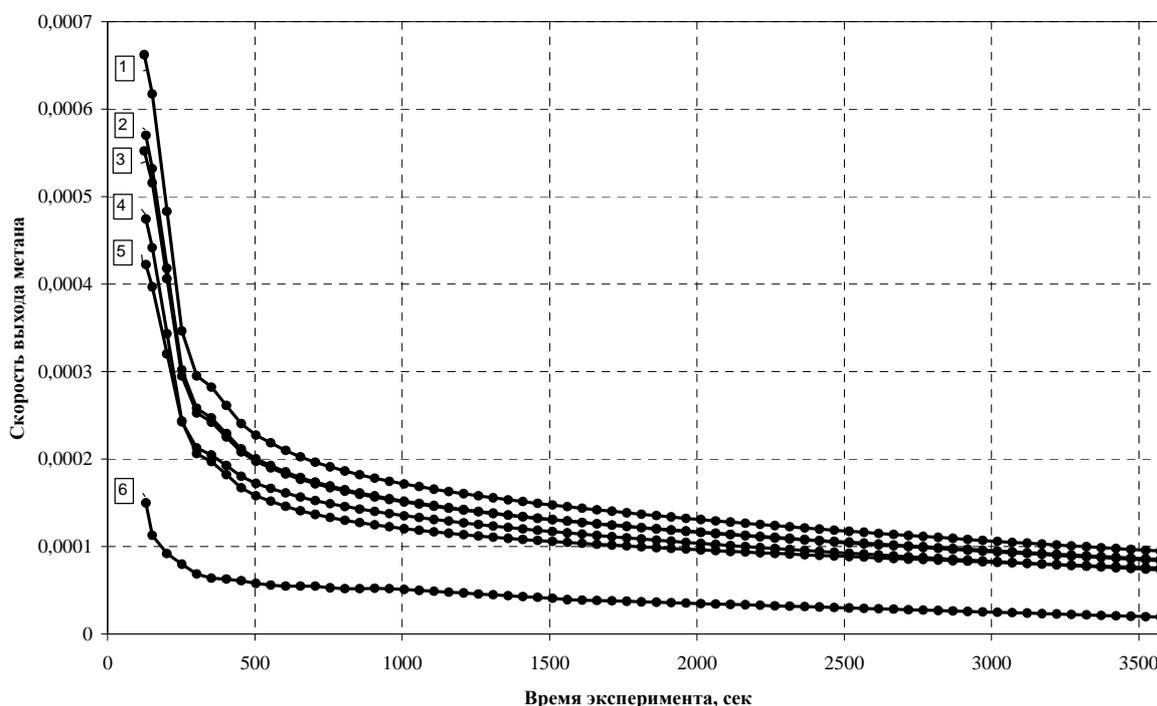


Рис. 5 – Зависимость скорости выхода метана из разрушенных образцов от времени при $T = 50^\circ\text{C}$: 1 - $\mu_\sigma = -0,5$; 2 - $\mu_\sigma = +1$; 3 - $\mu_\sigma = -1$; 4 - $\mu_\sigma = 0$; 5 - $\mu_\sigma = +0,5$; 6 – исходный образец.

Согласно данному графика также наблюдается наибольшая скорость выхода метана из разрушенного образца при $\mu_\sigma = -0,5$.

В таблице 1 приведены данные вида напряженного состояния и соответствующие им значения максимальной потенциальной метаноемкости при $T = 100^\circ\text{C}$.

Таблица 1

Вид напряженного состояния μ_σ	-1	-0,5	0	0,5	1	Исходный образец
Максимальная потенциальная метаноемкость $Q_{\max}, \%$	1,88	1,73	2,46	2,46	2,82	1,03

Из таблицы 1 видно, что минимальная потенциальная метаноемкость для разрушенных углей также соответствует $\mu_\sigma = -0,5$.

С использованием результатов представленных на (рис.3) получена зависимость (рис.6) количества выделившегося метана от различных видов напряженного состояния, подтверждающие один из следующих выводов.

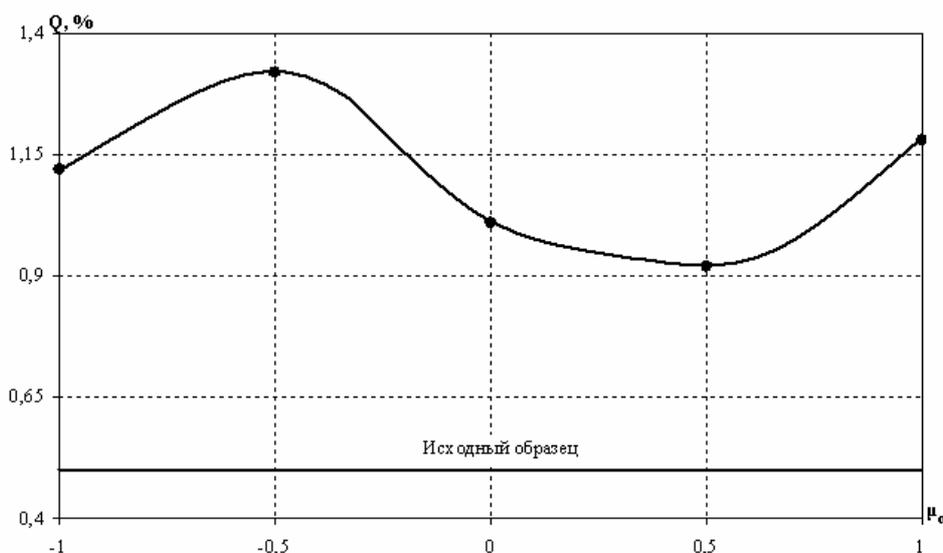


Рис. 6 – Зависимость количества выделившегося метана от различных видов напряженного состояния.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено существенное влияние вида напряженного состояния и температуры горного массива на кинетику газовыделения угля, разрушенного в условиях объемного наравнокомпонентного сжатия. Наибольшее количество и скорость выхода метана из исследуемого угля и наименьшая его метаноемкость наблюдается при $\mu_{\sigma} = -0,5$ (между обобщенным сжатием и обобщенным сдвигом). При этом из зависимости μ_{ϵ} от μ_{σ} (рис.1) деформационное состояние $\mu_{\epsilon} = 0$ (обобщенный сдвиг), т.е. реализуется сдвиговый механизм разрушения, вызывающий структурные изменения не только на макро, но и на микроуровне – уменьшается количество сорбционных центров.

Для всех видов напряженного состояния при повышении температуры массива от 25°C до 50°C количество метана, выходящего из угля, увеличивается, а максимальное увеличение (в среднем в 2 – 2,5 раза) наблюдается при $\mu_{\sigma} = -0,5$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.Д., Ревва В.Н., Ульянова Е.В. Влияние давления на сорбционные свойства углей// Физика и техника высоких давлений.-2001.-т.11-№1.-С. 9-11.
2. Ревва В.Н., Бачурин Л.Л., Кравченко А.В., Василенко Н.И. Влияние вида напряженного состояния на механические свойства углей при разрушении их в условиях объемного сжатия// Физические процессы горного производства.-2006.-Вып.9-С. 17-22.
3. Ревва В.Н., Ульянова Е.В., Васильковский В.А. Влияние вида напряженного состояния на сорбционные свойства углей при их разрушении в условиях объемного неравнокомпонентного сжатия// Геотехническая механика.-2007.-Вып.69-С. 97-104.
4. Прогнозный каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений/Институт горного дела им. А.А. Скочинского/Москва/1983г.
5. Алексеев А.Д., Ревва В.Н., Рязанцев Н.А. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений/ – Киев: Наукова думка, 1989. – 168 с.
6. Ревва В.Н., Бачурин Л.Л., Кравченко А.В., Василенко Н.И. Влияние вида напряженного состояния на механические свойства углей при разрушении их в условиях объемного сжатия // Физико-технические проблемы горного производства.- Донецк.- 2006.- Вып.9.- С. 97-101.