

УДК 622.822.22

В.В. Завражин<sup>1</sup>, Д.В. Мельников<sup>1</sup>, Л.В. Шевченко<sup>1</sup>, И.И. Ключко<sup>2</sup>

## ВЛИЯНИЕ ОКИСЛЕНИЯ УГЛЯ НА КИНЕТИКУ ДЕСОРБЦИИ МЕТАНА

<sup>1</sup>Институт физики горных процессов НАН Украины

<sup>2</sup>Донецкий национальный технический университет

*Проведено исследование десорбции метана из угля марки К пласта тз шахты «Северная» с учетом окисления при температурах до 150°C. Установлены зависимости скорости десорбции метана при разных температурах окисления.*

**Ключевые слова:** уголь, десорбция метана, температура, окисление, коэффициент массопереноса, энергия активации

Одной из проблем, значительно осложняющих ведение очистных и подготовительных работ, являются процессы самовозгорания угля, разрушенного внезапными выбросами. Это связано в первую очередь с тем фактором, что повышение температуры интенсифицирует газовыделение, приводящее к пожарам и взрывам.

Цель данной работы – определение кинетики выхода метана из угля при повышенных температурах, а также влияния температуры на процессы окисления.

При нагревании угля происходят несколько процессов:

- десорбция метана из угля в результате его нагрева до 100–300°C;
- образование газообразных летучих продуктов, в том числе и метана, при нагревании угля до 300–1000°C;
- газификация угля (и образующегося кокса), особенно в условиях неполного сгорания (при ограниченном доступе воздуха).

Ход газовыделения обычно регистрируют при определенных температурах в изотермических условиях или при нагревании с подходящей постоянной скоростью. Полученные кривые позволяют интерпретировать термическую деструкцию с точки зрения кинетических процессов, происходящих во время нагревания.

Для исследования влияния температуры на кинетику выхода метана использовали уголь марки Т, отобранный в конвейерном штреке восточной коренной лавы пласта тз шахты «Северная» ГП «Макеевуголь». Мощность пласта 1,09–1,2 м, угол падения 13°,  $V^{\text{daf}} = 19,2–20,4$  %, природная газоносность 27,3 м<sup>3</sup>/т.с.б.м.

Были подготовлены образцы размером 2–2,5 и 0,4–0,5 мм. Уголь высушивали в печи при  $T = 100^\circ\text{C}$  в течение 1 ч. Затем засыпали в контейнеры и проводили насыщение метаном при давлении 100 атм в течение 10 сут.

После вскрытия контейнеров определяли зависимости десорбции метана из угля от времени при разных температурах  $T$  (рис. 1), используя методику, разработанную в ИФГП НАНУ [2].

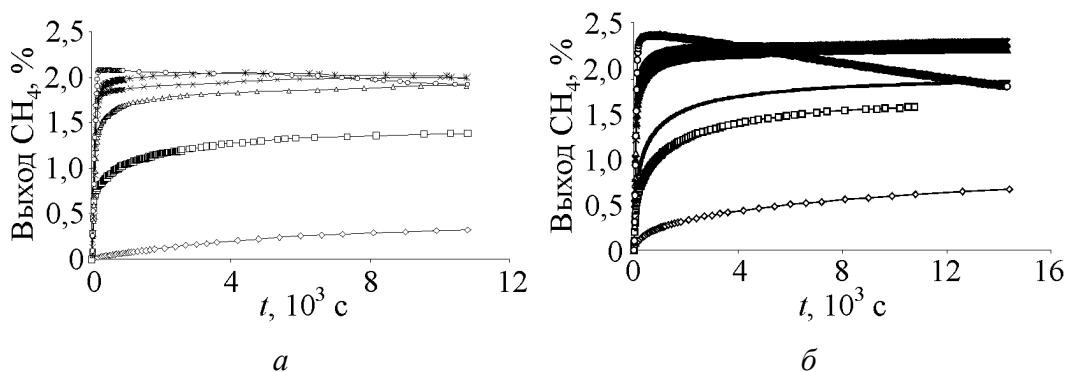


Рис. 1. Кривые десорбции метана из угля фракции 2,0–2,5 мм (а) и 0,4–0,5 мм (б) при разных температурах  $T$ ,  $^\circ\text{C}$ :  $\diamond$  – 20,  $\square$  – 50,  $\Delta$  – 90,  $\times$  – 110,  $*$  – 130,  $\circ$  – 150

Из анализа графиков можно сделать вывод, что процесс окисления, начиная с температуры  $90^\circ\text{C}$ , заметно изменяет ход кривой десорбции метана из угля.

Как видно из представленных зависимостей, необходимо учитывать процесс окисления угля при высоких температурах, особенно с уменьшением фракции угля. Для этого проведены исследования кинетики процессов окисления при разных температурах для составов двух фракций (рис. 2).

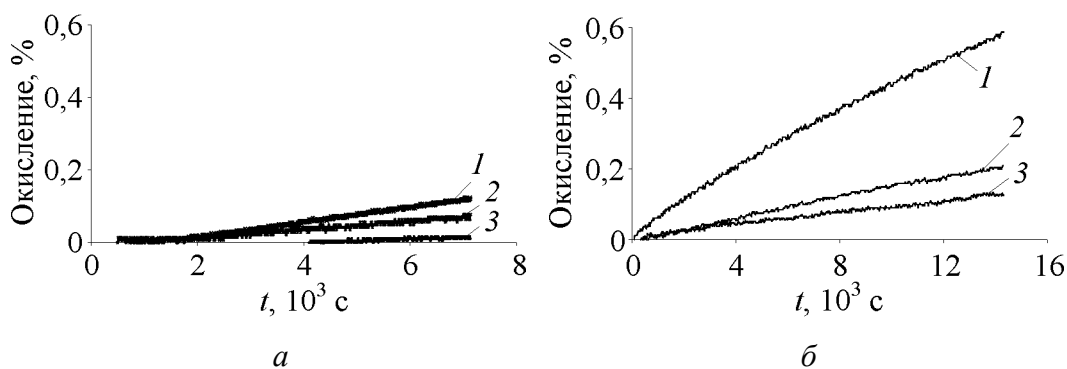


Рис. 2. Зависимости окисления угля фракций 2,0–2,5 мм (а) и 0,4–0,5 мм (б) от времени при различных температурах  $T$ ,  $^\circ\text{C}$ : 1 – 150, 2 – 130, 3 – 110

Используя уравнение Аррениуса [3], для химических реакций определяли энергию активации процесса окисления для угля марки Т в зависимости от фракционного состава, которая составила 70–75 кДж/моль, что соизмеримо с величиной энергии необратимой хемсорбции [4].

На основе полученных результатов был произведен пересчет значений количества метана при десорбции в зависимости от времени с учетом про-

песа окисления. На рис. 3 показана кинетика выхода метана из угля фракции 0,4–0,5 мм с учетом окисления при разных температурах.

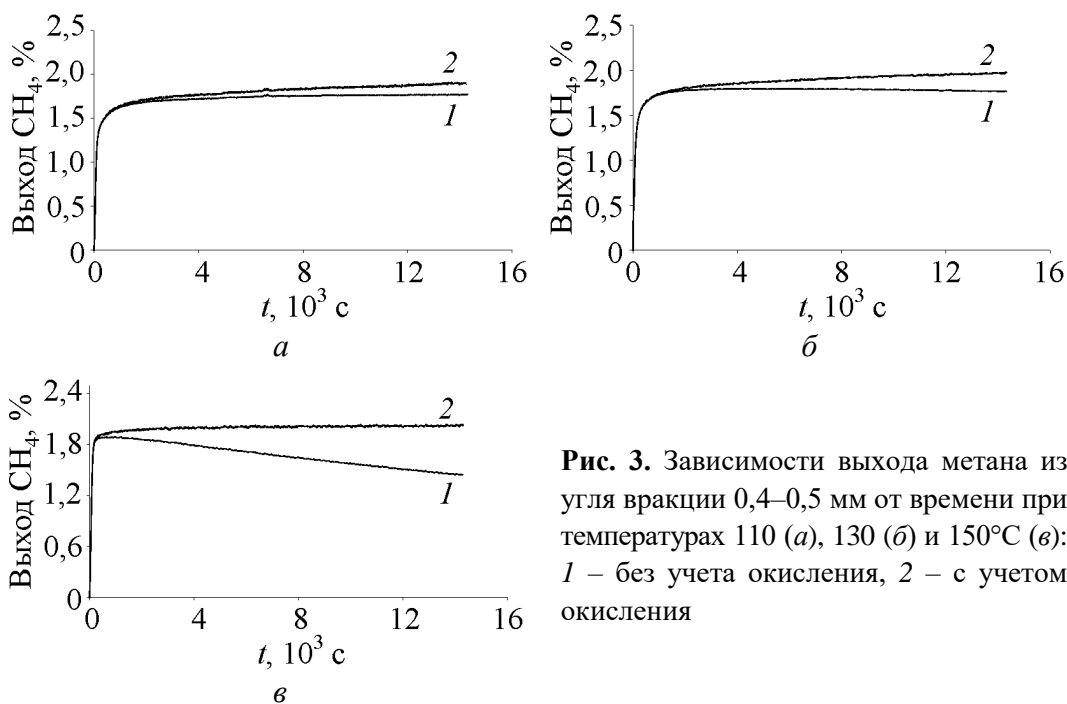


Рис. 3. Зависимости выхода метана из угля фракции 0,4–0,5 мм от времени при температурах 110 (а), 130 (б) и 150°C (в): 1 – без учета окисления, 2 – с учетом окисления

Используя полученные результаты, рассчитали значения скорости выхода метана от времени при разных температурах (рис. 4).

В основу метода расчета эффективных параметров массопереноса положен принцип определения количества метана в процессе его десорбции из газонасыщенных образцов угля двух фракций.

Расчетная формула для коэффициента массопереноса  $D$  имеет вид

$$D = \frac{r_2^2 \ln Q_1 - r_1^2 \ln Q_2}{6t \ln \frac{Q_1}{Q_2}}, \quad (1)$$

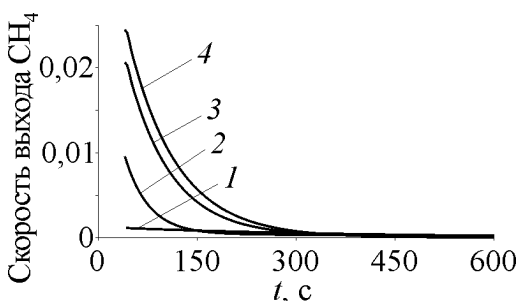


Рис. 4. Зависимости скорости выхода метана из угля при разных температурах  $T$ , °C: 1 – 20, 2 – 50, 3 – 90, 4 – 130

где  $r_1, r_2$  – размер фракций угля, м;  $t$  – время десорбции, с;  $Q_1, Q_2$  – относительное изменение количества метана за время десорбции, соответствующее каждой фракции.

Энергию активации выхода метана из угля  $E$  определяют путем измерения скорости процесса при различных температурах.

Расчет величины  $E$  производится по формуле

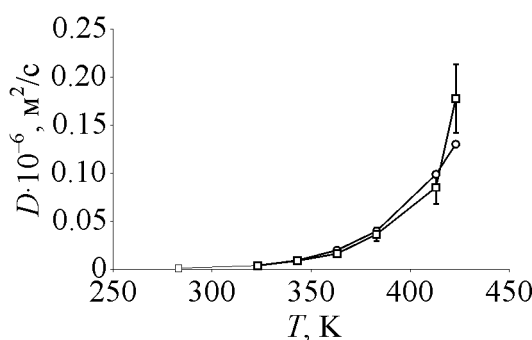
$$E = R \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \ln \frac{D_1}{D_2}, \quad (2)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/моль·град;  $T_1, T_2$  – температуры, при которых определяются соответственно  $D_1$  и  $D_2$ :  $T_1 = 291–298$  К,  $T_2 = 313–318$  К.

Зная экспериментальные значения энергии активации выхода метана из угля и значения коэффициента массопереноса, рассчитывали предэкспоненциальный множитель  $D_0$ :

$$D_0 = \frac{D_{\text{эксп}}}{\exp(-E_{\text{эксп}} / kT_{\text{эксп}})}. \quad (3)$$

Определив значение  $D_0$ , можно рассчитать значения коэффициента массопереноса при любой температуре (рис. 5).



**Рис. 5.** Расчетные (○) и экспериментальные (□) значения коэффициента массопереноса метана из угля при разных температурах

### Выводы

1. Разработана методика определения кинетических параметров десорбции метана из угля с учетом параллельно протекающего процесса окисления.
2. Показано, что с уменьшением фракции угля увеличивается скорость его окисления в 3 – 5 раз.
3. Разработана методика определения коэффициента массопереноса метана из угля в зависимости от температуры, которая позволяет определить скорость и количество метана, выделяющегося из угольного массива и выброшенной горной массы при пожарах.

Работа выполнена в рамках проекта УНТЦ № 4202.

1. *Веселовский В.С.* Начальная стадия окисления каменных и бурых углей / В.С. Веселовский // ХГТ.– 1971.– №5.– С. 51–54.
2. *Стариков Г.П.* Способ определения коэффициента диффузии метана в ископаемом угле / Г.П. Стариков, В.В. Завражин, Д.В. Мельников, Т.А. Василенко, И.Н. Смоланов // Физико-технические проблемы горного производства. – ИФГП НАНУ. – Донецк: 2003. – № 6. – С.151–156.

3. Эмануэль Н.М. Курс химической кинетики / Н.М Эмануэль, Д.Г. Кнорре. – М.: Высшая школа, 1969. – 432 с.
4. Смитина В.А. Фізико-хімічні явища на поверхні твердих тіл / В.А. Смитина. – Одеса: Астропринт, 2009. – 192 с.

В.В. Завражин, Д.В. Мельников, Л.В. Шевченко, І.І. Клочко

#### **ВПЛИВ ОКИСНЕННЯ ВУГІЛЛЯ НА КІНЕТИКУ ДЕСОРБЦІЇ МЕТАНУ**

*Проведено дослідження десорбції метану з вугілля марки К пласта т<sub>3</sub> шахти «Північна» з урахуванням окиснення при температурах до 150°C. Встановлено залежності швидкості десорбції метану при різних температурах окиснення.*

**Ключові слова:** вугілля, десорбція метану, температура, окиснення, коефіцієнт масопереносу, енергія активації

V.V. Zavrazhin, D.V. Melnikov, L.V. Shevchenko, I.I. Klochko

#### **THE EFFECT OF COAL OXIDATION ON METHANE DESORPTION KINETICS**

*The effect of coking coal oxidation at temperatures up to 150°C on methane desorption rate was studied using the coal samples collected from seam m<sub>3</sub> of mine «Severnaya». Parameters of methane desorption kinetics were established for various oxidation temperatures.*

**Keywords:** coal, methane desorption, temperature, coal oxidation, mass transfer coefficient, activation energy

*Статья поступила в редакцию 7 июня 2010 года*