



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1689644 A1

(51)5 E 21 F 5/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГКНТ СССР

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4729075/03

(22) 09.08 89

(46) 07.11 91 Бюл. № 41

(71) Всесоюзный научно-исследовательский институт горноспасательного дела

(72) А.Е. Калюсский, И.Н. Коваль, Б.И. Кошовский, П.С. Пашковский Е.П. Лысенко и Э.С. Федорчук

(53) 622.817 (088.8)

(56) Веселовский В.С. и др. Самовозгорание промышленных материалов. М.: Наука, 1964, с. 246

Авторское свидетельство СССР  
№ 730972, кл. E 21 F 5/00, 1979.

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКЛОННОСТИ УГЛЕЙ К САМОВОЗГОРАНИЮ

(57) Изобретение относится к угольной промышленности, а именно к обеспечению безопасных условий труда при разработке угольных месторождений. Цель изобретения - повышение до-

2

стоверности способа. Для этого определяют константу скорости окисления угля, теплоту реакции воздействия кислорода с углем, критическую температуру самовозгорания угля, энергию активации процесса окисления и реагирующую поверхность частиц угля, а показатель склонности угля к самовозгоранию определяют из математического выражения. По величине показателя склонности угля к самовозгоранию судят о степени склонности угля к самовозгоранию. При значении показателя склонности угля к самовозгоранию менее  $3 \cdot 10^6$  с уголь считают склонным к самовозгоранию. Для определения критической температуры самовозгорания угля используют график зависимости константы скорости окисления угля от температуры в аррениусовских координатах. 2 табл.

Изобретение относится к угольной промышленности, а именно к обеспечению безопасных условий труда при разработке угольных месторождений.

Цель изобретения - повышение достоверности способа.

Способ заключается в следующем.

Определяют константу скорости окисления угля таким образом. В поток газа-носителя импульсно вводят кислород, который по мере продвижения вдоль хроматографической колонки, содержащей исследуемый уголь определенной фракции, вступает во взаимодействие с последним. Опыт повторяют при различных температурах от 20 до 150° С. Из полученных данных по количеству поглощенного кислорода и времени контакта его с исследуемым углем рассчитывают констан-

ту скорости хемосорбции кислорода по формуле

$$K_d = \frac{1}{t} \ln \frac{Q_{вх}}{Q_{вых}} \quad (1)$$

где  $t$  - время контакта кислорода с углем, с;  
 $Q_{вх}$  - объем введенного кислорода, см<sup>3</sup>,  
 $Q_{вых}$  - объем проявленного кислорода см<sup>3</sup>.

В опытах можно использовать например, хроматограф ЛХМ-8МД.

Для определения теплоты реакции взаимодействия кислорода с углем используют проточную систему с импульсным дозированием кислорода. Установку можно компоновать, например, на базе серийного хроматографа ЛХМ-8МД и дифференциального микрокалориметра ДАК-1-1. Условия определения дифференциальных теплот следующие: расход газа-носителя по обеим ячейкам микро-

(19) SU (11) 1689644 A1

калориметра 2 см<sup>3</sup>/мин, навеска угля 2,5-4,5 г, температура опыта 80°C, объем дозы кислорода 0,125 м<sup>3</sup>, фракционный состав угля 0,35-0,5 мм. Микрокалориметром измеряют тепло, выделяющееся в результате взаимодействия кислорода с углем.

Критическую температуру самовозгорания угля  $T_{кр}$ , определяют методом, сущность которого заключается в том, что в хроматографическом режиме определяют константу скорости окисления угля при различных температурах. По полученным данным строят график температурной зависимости константы скорости в аррениусовских координатах, из которого определяют критическую температуру самовозгорания угля. Используя результаты определения температурной зависимости константы скорости окисления кислородом угля, определяют значения энергии  $E$  активации и предэкспоненциального множителя  $R_0$  в интервале температур от начальной  $T_0$  до критической  $T_{кр}$  по формулам

$$E = \frac{R (\ln K_{кр} - \ln K_0)}{\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{кр}}}; \quad (2) \quad R_0 = \frac{K_0 e^{\frac{E}{RT_0}}}{\gamma S_p^n} \quad (3)$$

где  $K_{кр}$  — константа скорости окисления угля при критической температуре, с<sup>-1</sup>;

$K_0$  — константа скорости реакции окисления угля при начальной температуре лабораторного опыта, с<sup>-1</sup>;

$\gamma$  — плотность угля, кг/м<sup>3</sup>;

$S_p^n$  — удельная реакционная поверхность в лабораторном опыте, м<sup>2</sup>/кг;

$R$  — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

Реагирующую поверхность  $S_p$  как функцию внешней поверхности определяют, исходя из дробимости угля, по формуле, полученной в результате обработки экспериментальных данных

$$S_p = \alpha S_{вн}^1 D, \quad (4)$$

где  $\alpha$  — коэффициент пропорциональности, найденный методом наименьших квадратов из зависимости  $S_p$  от  $S_{вн}$ ;

$S_p$  — реагирующая поверхность частиц угля, м<sup>2</sup>/кг;

$S_{вн}$  — внешняя поверхность частиц угля, определенная в режиме хроматографического опыта, м<sup>2</sup>/кг;

$D$  — дробимость угля.

Дробимость угля определяют, например, при помощи шаровой мельницы МШЛК-8, в барабан которой загружают 300 г угля крупностью 10-20 мм и 16 фарфоровых шаров диаметром 35 мм. После закрытия крышки барабана мельницу приводят в действие на 6 мин. По окончании измельчения с помощью гранулометрического анализа определяют

средний размер зерен. При этом уголь разделяют на следующие фракции: 20-10; 10-5; 5-3; 3-2,5; 2,5-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,2; 0,2-0 мм. При этом средний размер зерен в каждой фракции составил соответственно 15,0; 7,5; 4,0; 2,75; 2,25; 1,50; 0,75; 0,35; 0,10 мм. Величина поверхности частиц, образовавшихся после измельчения угля, отнесенная к поверхности частиц исходного угля, является мерой дробимости, которую рассчитывают по формуле

$$D = \frac{d}{a} \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{d_i}, \quad (5)$$

где  $d$  — средний диаметр частиц исходного угля, м;

$a$  — масса исходного угля, кг;

$a_i$  — масса данного класса угля при ситовом анализе, кг;

$d_i$  — средний диаметр частиц данного класса, м;

$n$  — количество фракций.

Поскольку масса исходного угля составляет 0,3 кг, а средний диаметр частиц 0,015 мм, то формула для расчета дробимости имеет вид

$$D = 5 \cdot 10^{-2} \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{d_i}, \quad (6)$$

Формулу для определения показателя склонности угля к самовозгоранию получают из уравнения теплового баланса для скопления самонагревающегося угля

$$S_p Q R_0 e^{-E/RT} C_{O_2} dt = C_m dT, \quad (7)$$

где  $S_p$  — реагирующая поверхность угля, м<sup>2</sup>/кг;

$Q$  — теплота реакции взаимодействия кислорода с углем, Дж/м<sup>3</sup>;

$R_0$  — предэкспоненциальный множитель, м/с;

$T$  — температура угля, К;

$E$  — энергия активации процесса окисления, Дж/моль;

$R$  — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

$C_{O_2}$  — объемная доля кислорода, %;

$C_m$  — средняя удельная теплоемкость угля в интервале температур  $T_0$  —  $T_{кр}$ , Дж/(кг·К);

$t$  — время достижения критической температуры, с.

После необходимых математических преобразований получают формулу для определения показателя склонности угля к самовозгоранию

$$T = \frac{C_m}{S_p Q R_0 C_{O_2}} \left[ -RT_0 e^{\frac{E}{RT_0}} + RT_{кр} e^{\frac{E}{RT_{кр}}} + E \left\{ E_1 \left( \frac{E}{RT_0} \right) - E_1 \left( \frac{E}{RT_{кр}} \right) \right\} \right], \quad (8)$$

где  $E_1$  — интегральная функция.

Подставив в формулу численные значения постоянных величин:  $C_{O_2} = 0,21$ ;  $R = 8,31$

Дж/(моль·К),  $C = 1400$  Дж/(кг·К) и обозначив

$$K = \left\{ E_i \left( \frac{E}{RT_0} \right) - E_i \left( \frac{E}{RT_{кр}} \right) \right\}, \quad (9)$$

получают формулу

$$\tau = \frac{6700}{S_p Q R_0} \left[ T_{кр} e^{\frac{0,12E}{T_{кр}}} - T_0 e^{\frac{0,12E}{T_0}} + 0,12EK \right] \quad (10)$$

По значению показателя  $\tau$  судят о склонности угля к самовозгоранию.

**П р и м е р** Рассчитаем показатель склонности угля к самовозгоранию для пласта Із. Марка угля "К"; плотность  $\gamma = 1440$  кг/м<sup>3</sup>.

В табл. 1 приведены результаты вычислений по формуле (1) константы скорости окисления угля кислородом при различных температурах, а также данные для графика зависимости константы скорости в аррениусовских координатах.

Теплота реакции взаимодействия кислорода с углем для пласта Із составила  $Q = 27,2 \cdot 10^4$  Дж/м<sup>3</sup>.

Для нахождения критической температуры самовозгорания угля пласта Із по данным табл. 1 строим график температурной зависимости константы скорости в аррениусовских координатах. Из него  $T_{кр} = 360$  К.

Используя результаты исследования температурной зависимости константы скорости окисления угля, определили по формуле (2) значение энергии активации  $E = 360$  кДж/моль и предэкспоненциального множителя  $R_0 = 0,217$  м/с по формуле (3).

Для нахождения реагирующей поверхности  $S_p$  описанным выше способом производим дробление навески угля пласта Із в шаровой мельнице и затем с помощью гранулометрического анализа определяем вес каждой фракции.

Результаты гранулометрического анализа пробы угля пласта Із приведены в табл. 2.

По формуле (6) находим, что дробимость  $D = 72,5$ .  $S_{вн} = 0,018$  м<sup>2</sup>/кг — определяем в режиме хроматографического опыта,  $S_p = 6,27$  м<sup>2</sup>/кг.

Коэффициент  $\alpha$  находим из таблицы 3

Подставляя найденные величины в формулу (10), получим

$$\tau = 30 \cdot 10^4 \text{ с},$$

что говорит о том, что уголь пласта Із склонен к самовозгоранию. Данные практики подтверждают этот вывод, так как при отработке этого пласта были случаи самовозгорания угля.

**Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я**

Способ определения склонности углей к самовозгоранию, включающий измерение константы скорости окисления кислородом угля, отличающийся тем, что, с целью повышения достоверности способа, дополнительно определяют теплоту реакции взаимодействия кислорода с углем, критическую температуру самовозгорания угля, энергию активации процесса окисления и реагирующую поверхность частиц угля, а показатель склонности угля к самовозгоранию определяют из выражения

$$\tau = \frac{6700}{S_p Q R_0} \left[ T_{кр} e^{\frac{0,12E}{T_{кр}}} - T_0 e^{\frac{0,12E}{T_0}} + 0,12EK \right]$$

где  $\tau$  — показатель склонности угля к самовозгоранию, с;

$S_p$  — реагирующая поверхность частиц угля, м<sup>2</sup>/кг;

$Q$  — теплота реакции взаимодействия кислорода с углем, Дж/м<sup>3</sup>;

$R_0$  — предэкспоненциальный множитель, м/с;

$E$  — энергия активации процесса окисления, Дж/моль;

$T_0$  — начальная температура окисления угля, К;

$T_{кр}$  — критическая температура самовозгорания угля, К;

$K$  — коэффициент, учитывающий разность интегральных показательных функций  $E_i(x)$ .

при этом при значении показателя склонности угля к самовозгоранию менее  $3 \cdot 10^6$  с уголь считают склонным к самовозгоранию.

Таблица 1

Температура опыта, °C	$\frac{1}{t + 273}$	Константа скорости окисления, с <sup>-1</sup>	$\lg K_L$
20	0,0034	0,1171	-2,1447
50	0,0031	0,1163	-2,1516
77	0,0029	0,1377	-1,9827
87	0,0028	0,1361	-1,9944
103	0,0027	0,1607	-1,8282
115	0,0026	0,2093	-1,5640
125	0,0025	0,2323	-1,4597
141	0,0024	0,3357	-1,0915

Таблица 2

Вес пробы, г	Фракции, мм/Вес фракции, г								
	20-10	10-5	5-3	3-2,5	2,5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0
300	3	5	2	2	3	27	18	137	103

Таблица 3

Значение реагирующей и внешней поверхности угля пласта I<sub>3</sub> различного фракционного состава

Удельная и внешняя поверхность угля, м <sup>2</sup> /кг для фракций							Коэффициент пропорциональности
0,0-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-5,0	$\alpha$
510/75,8	250/27,8	180/11,9	130/5,6	130/2,8	150/1,9	200/1,5	4,84

Редактор Е Савина      Составитель И. Федяева  
Техред М.Моргентал      Корректор Т.Палий

Заказ 3799      Тираж      Подписное  
ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул.Гагарина, 101