

УДК 622.822.225

Греков Святослав Павлович, главный науч. сотр., д.т.н.;
Орликова Виктория Петровна, науч. сотр.
(НИИГД «Респиратор», Донецк)

Svyatoslav Pavlovich Grekov, Dr. Sci. (Tech.), senior research scientist
Viktoria Petrovna Orlikova, scientific associate
NIIGD «Respirator»

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ УГЛЕЙ ДОНБАССА И ИХ ПОЖАРООПАСНОСТЬ

THE OXIDATION CAPACITY OF THE DONBASS COAL AND THEIR FIRE HAZARD

Предложено аналитическое выражение для расчета комплексного критерия пожароопасности угольного скопления в шахте и показана его связь с физико-химическими свойствами угля. Исследована динамика температуры скопления угля с различной пожароопасностью, что позволит контролировать развитие окислительного процесса.

An analytical expression for calculating the complex fire hazard criterion of coal accumulation in a mine is proposed and its relationship with the physical and chemical properties of coal is shown. The dynamics of the temperature of coal accumulation with different fire hazards is studied, which will allow controlling the development of the oxidative process.

Окисление угля – гетерогенный процесс, протекающий на границе раздела твердой и газовой фазы, который состоит из внешнего переноса кислорода к сорбирующим объемам скопления, внутридиффузионного переноса окислителя к реагирующей поверхности угольных пор, физико-химического взаимодействия и теплопередачи [1]. Исследования, проведенные В.С. Веселовским, А.С. Скочинским, В.М. Маевской и др., позволили установить связь изменения температуры угля с его пористой структурой. В работе L. Lenart и O. Abel, а впоследствии авторами А.У. Кам и А.У. Karsner развиты две модели окислительного процесса на основе предположений, что скорость поглощения кислорода определена его транспортировкой в системе пор и находится под кинетическим контролем.

В НИИГД «Респиратор» накоплен большой объем теоретических и экспериментальных исследований низкотемпературного окисления угля различной стадии метаморфизма с помощью хроматографии. Это позволило разработать метод установления склонности угля к самовозгоранию,

основанный на исследовании механических и физико-химических его свойств [2]. Хроматографическое определение константы скорости окисления исследуемой пробы угля при различных температурах и установление зависимости этих параметров позволяет определить критическую температуру самовозгорания, выше которой может произойти быстрое окисление с последующим самовозгоранием. Однако в реальных шахтных условиях немаловажное значение имеет контроль текущей температуры угольного скопления для предотвращения пожароопасной ситуации. Поэтому для описания начальной стадии самонагрева угля в работе [3] предложено квазистационарное решение, учитывающее теплообменные процессы и физико-химические свойства угля, в виде

$$T = T_0 + \frac{QS/\Pi}{\alpha}, \quad (1)$$

где T_0 – начальная температура угля, К;

Q – удельное количество генерируемой теплоты, Дж/(м³·с);

S и Π – площадь поперечного сечения, м², и периметр скопления угля, м;

α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К).

Выражение (1) преобразуем и представим в виде

$$T = T_0 \left(1 + \frac{QS/\Pi}{\alpha T_0} \right) = T_0 (1 + P), \quad (2)$$

обозначив второе слагаемое в скобках комплексным критерием пожароопасности скопления угля, который равен

$$P = \frac{\xi C_{O_2} v_q S/\Pi}{\alpha T_0}, \quad (3)$$

где ξ – часть реакционной поверхности угля;

C_{O_2} – концентрация адсорбированного углем кислорода, моль/м³;

v_q – скорость выделения теплоты, Дж/(с·моль).

Для расчета комплексного критерия пожароопасности угольного скопления и его температуры считаем, что активный процесс окисления угля в шахте начинается после отделения его от массива и выделения значительной части метана, что в среднем составляет трое суток [4].

При гетерогенных процессах окисления угля в результате адсорбции кислорода происходит образование поверхностных соединений, внутреннее реагирование при проникновении окислителя вглубь частиц угля и испарение влаги, что приводит к непрерывному изменению реакционной поверхности. Поэтому в результате исследования углей Донбасса различной стадии метаморфизма установлена зависимость поверхности угля, участ-

вующей в процессе его окисления и характеризуемой ξ , от констант скоростей образования поверхностного комплекса ν , с^{-1} , и выделения метана μ , с^{-1} , в виде [5]

$$\xi = 1 - \exp(-\nu\tau_{\text{н}}) + \frac{\nu(1-\eta_0)}{\mu-\nu} [\exp(-\mu\tau_{\text{н}}) - \exp(-\nu\tau_{\text{н}})], \quad (4)$$

Где $\tau_{\text{н}}$ – время напорного выделения метана из угля, с.

Коэффициент теплообмена определим из выражения [8]

$$\alpha = 0,041/d + 0,148\nu^{0,48}(6/d)^{0,52}\tau_{\text{н}}^{0,144}, \quad (5)$$

где d – диаметр пожароопасного скопления угля, принимаемый равным 0,35 м;

ν – пожароопасная скорость воздуха, м/с, принята равной $4 \cdot 10^{-4}$ м/с.

Воспользуемся данными некоторых шахт Донбасса с известными значениями газоносности и лабораторно установленными значениями константы скорости окисления угля и его критической температуры самовозгорания для расчета комплексного критерия пожароопасности угольного скопления в начальный период окисления (табл.1).

Таблица 1

Параметры угля и рассчитанные значения комплексного критерия
пожароопасности

Шахта, пласт	Выход летучих веществ V^{daf} , %	Газоносность J_0 , $\text{м}^3/\text{т}$	Константа скорости окисления $k \cdot 10^3$, с^{-1}	Температура $T_0/T_{\text{кр}}$, К	Константа скорости истечения метана $\mu \cdot 10^5$, с^{-1}	Константа скорости образования поверхностного комплекса $\nu \cdot 10^8$, с^{-1}	Комплексный критерий пожароопасности $P \cdot 10^2$
Им. Г.Г. Капустина, $k_8^{\text{н}}$	42,8	7,5	0,65	301/350	1,172	1,630	1,012
Северная, l_6	33,1	10,0	0,91	305/371	1,000	2,465	1,176
Им. А.Г. Стаханова, l_3	37,6	23,7	1,08	300/383	1,052	4,310	0,999
Им. А.Г. Стаханова, l_1	33,4	22,5	0,65	301/361	1,002	2,765	0,602
Добропольская, m_4	34,6	16,0	1,06	296/393	1,013	3,410	1,137
Полтавская, k_8	4,9	20,0	0,97	303/398	0,931	3,730	0,937
Енакиевская, l_6	10,5	15,0	1,04	301/403	1,100	3,120	1,119

Им. Ф.Э. Дзержинского, l_3	28,2	10,0	1,44	303/388	0,984	3,640	1,879
Щегловская-Глубокая, l_8	30,7	18,5	1,19	302/383	0,987	4,120	1,188
Ореховская, k_2^{B+H}	22,5	10,0	1,14	300/383	1,010	3,115	1,579
Северная, m_3	21,3	32,5	1,89	297/388	1,020	8,460	1,599
Полтавская, l_1	8	15,0	2,40	300/382	1,069	1,575	0,501

По представленным данным установлена связь комплексного критерия P с такими основными параметрами угля, как выход летучих веществ (рис. 1) и константа скорости его окисления (рис. 2).

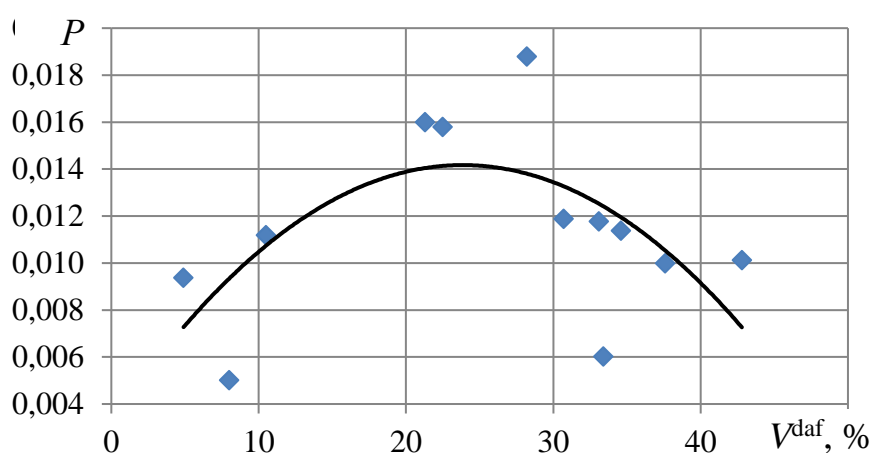


Рис. 1. Зависимость комплексного критерия пожароопасности от выхода летучих веществ угля

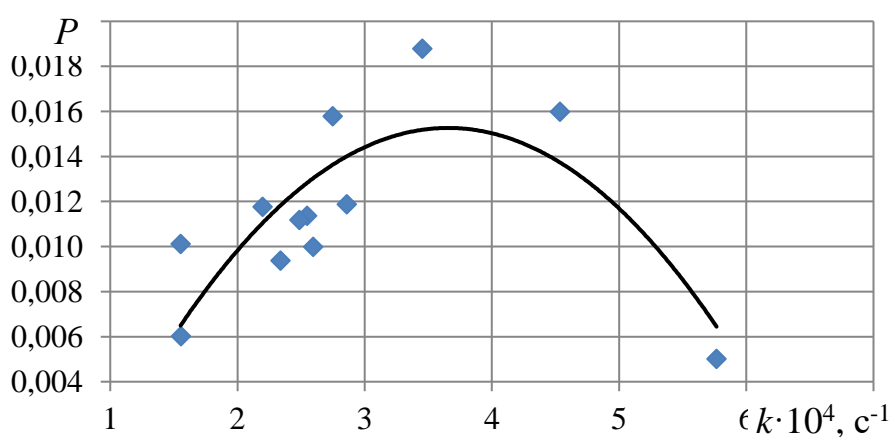


Рис. 2. Зависимость комплексного критерия пожароопасности от константы скорости окисления угля

Анализ полученных зависимостей показывает увеличение окислительной способности и, следовательно, пожароопасности углей средней

стадии метаморфизма с выходом летучих веществ от 20 до 30 %.

Используя выражения (1) – (5) и данные табл. 1 можно проследить изменение температуры скопления угля для промежутка времени от завершения напорного выделения метана до достижения углем критической температуры самовозгорания. Установленные зависимости для четырех углей различной стадии метаморфизма представлены на рис. 3, которые иллюстрируют возрастание динамики температуры с увеличением значения комплексного критерия пожароопасности и аппроксимированы степенной кривой с коэффициентом корреляции от 0,988 до 0,999.

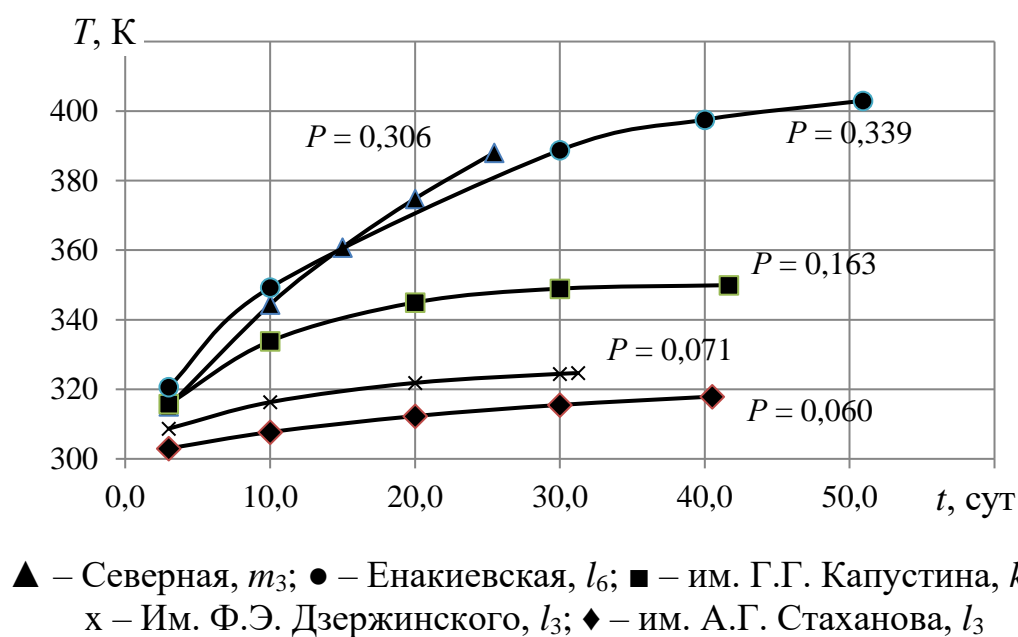


Рис. 3. Динамика температуры угля

Динамика температуры угля шахты «Северная», пласт m_3 , отличается от других зависимостей, представленных на рис. 3, быстрым достижением критической температуры самовозгорания, что с учетом горно-геологических условий классифицирует этот пласт как склонный к самовозгоранию. Для остальных зависимостей характерно постепенное увеличение температуры угля в процессе его окисления, которое тем выше, чем больше значение комплексного критерия пожароопасности.

Процесс повышения температуры угля до критического значения связан с условиями накопления теплоты в объеме скопления и рассеивания ее через поверхность этого скопления. Следовательно, изменение S и Π в выражении (3) должно отразиться на значении комплексного критерия пожароопасности. Анализ данных по определению критической мощности угольного скопления, который представлен в работе [2] и базируется на исследовании 46 шахтопластов и сопоставлении с количеством произошедших эндогенных пожаров, показывает, что расчетное значение этой мощности изменяется от 0,14 до 0,69 м.

Поэтому в заданном диапазоне рассмотрено влияние мощности скопления угля на коэффициент теплообмена с окружающей средой и значение комплексного критерия пожароопасности (рис. 4).

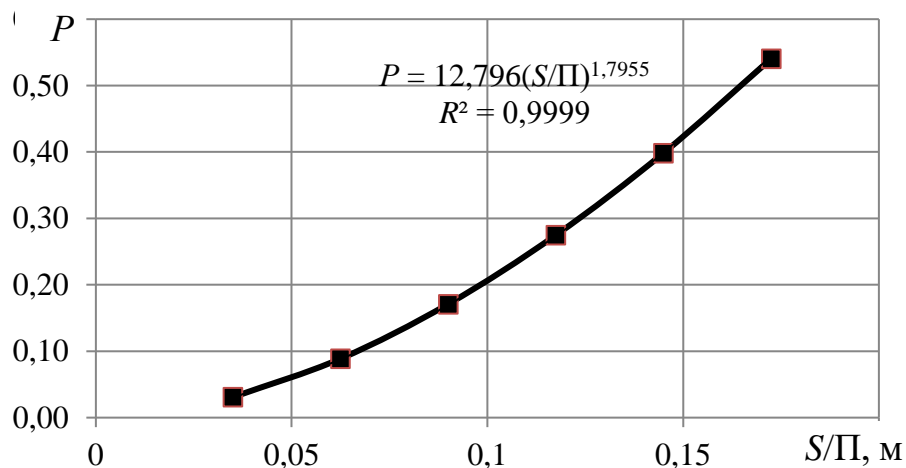


Рис. 4. Зависимость комплексного критерия пожароопасности от размера скопления угля

Таким образом, на основании квазистационарного решения модели самонагрева скопления угля в шахте предложен комплексный критерий его пожароопасности, характеризующий химическую активность угля и зависящий от размера скопления и условий теплоотдачи в окружающую среду. Данное решение позволило установить динамику температуры угольного скопления с различными значениями комплексного критерия пожароопасности, что позволит контролировать развитие процесса окисления угля в шахте.

Список литературы

1. Захаров Е.И. Оценка опасности самовозгорания угля на ранней стадии процесса низкотемпературного окисления / Е.И. Захаров, Д.Д. Малахова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – Тула: ТулГУ, 2015. – С. 22-30 [Электронный ресурс]. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_23050511_24924600.pdf (дата обращения: 03.08.2020).
2. Пашковский П.С. Эндогенные пожары в угольных шахтах / П.С. Пашковский. – Донецк: Ноулидж (донецкое отделение), 2013. – 792 с.
2. Пашковский П.С. Актуальные вопросы борьбы с самовозгоранием угля / П.С. Пашковский, С.П. Греков, И.Н. Зинченко. – Донецк: Арпи, 2012. – 656 с.
3. Греков С.П. Расчет температуры самонагрева угля / С.П. Греков, В.П. Орликова // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2020. – Вып. 3 (59).

4. Греков С.П. Влияние истечения метана из угля на снижение его температуры / С.П. Греков, П.С. Пашковский, А.А. Всякий, И.Г. Старикова // Научный вестник НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2019. – Вып. 3 (56). – С. 28-36.

5. Греков С.П. Реакционная активность углей / С.П. Греков, В.П. Орликова // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2015. – Вып. 52. – С. 78-90.