

**УДК 622.822**

Портола В.А., профессор  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.  
Горбачева  
Храмцов В.И., генеральный директор  
ООО Научно-исследовательский институт горноспасательного дела  
Харитонов И. Л., начальник технического управления  
АО «СУЭК-КУЗБАСС»  
г. Кемерово

### **УВЕЛИЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИНКУБАЦИОННОГО ПЕРИОДА САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ**

Ликвидация наиболее аварийных шахт, техническое перевооружение горных предприятий резко снизила количество аварий на угольных предприятиях. В настоящее время основным видом аварий в угольных шахтах являются подземные пожары, большая часть которых имеет эндогенное происхождение [1]. Особенности возникновения и развития эндогенных пожаров в угольных шахтах рассмотрены в литературе [2-6]. Возникающие в шахтах очаги самовозгорания угля представляют большую опасность из-за выделения в рудничную атмосферу токсичных газов. Кроме того, очаги пожаров могут быть источниками воспламенения взрывоопасных скоплений горючих газов. Для предупреждения и ликвидации эндогенных пожаров в шахтах широкое применение нашли подача антипирогенов, пены, инертного газа [7-10]. Большая часть очагов самовозгорания в угольных шахтах Кузбасса возникает в выработанном пространстве, что существенно осложняет борьбу с эндогенными пожарами.

Отнесение угольных пластов к склонным по самовозгоранию осложняет ведение очистных работ. Основным фактором, влияющим на работу по добычи угля, является длительность инкубационного периода самовозгорания угля. Отработка опасных по самовозгоранию пластов регламентируется действующей инструкции по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля [11]. Инструкция накладывает определенные требования на вскрытие и подготовку шахтных и выемочных полей, ведение очистных работ, а также на режимы проветривания горных работ.

Основным фактором, влияющим на работу по добычи угля, является длительность инкубационного периода самовозгорания угля. Так, согласно «Инструкции...», уголь не должен находиться в зоне притока свежего воздуха в течении времени, превышающем длительность инкубационного периода самовозгорания. В шахтах Кузбасса длительность инкубационного периода самовозгорания наиболее опасных угольных пластов составляет 40-50 суток. На менее опасных пластах длительность этого параметра может достигать 60-80 суток.

Практика работы на склонных к самовозгоранию пластах угля показала, что сложности возникают при отработке нарушенных пластов, когда может резко замедлиться скорость подвигания очистного забоя. К остановке добычных работ может приводить поломки угледобывающей техники. В последнее время наблюдается тенденция увеличения размеров выемочных столбов для повышения производительности труда. С увеличением длины лавы происходит возрастание длительности демонтажа угледобывающего оборудования. Нередки случаи, когда сроки демонтажа оборудования и последующие работы по возведению изолирующих перемычек превышают длительность инкубационного периода самовозгорания угля.

Проведенные в ООО НИИГД работы показали, что можно изменять длительность инкубационного периода самовозгорания угля путем подбора состава и количества антипирогена для обработки угольных скоплений. Длительность инкубационного периода самовозгорания угля (в сутках), согласно «Инструкции по определению инкубационного периода самовозгорания угля» [11], определяется по формуле

$$\tau_{инк} = \frac{C(T_k - T_0) + 0.6jW + q_d X}{24\alpha U^{0,45} C_o q_o}, \quad (1)$$

где  $C$  – теплоемкость угля, кал/(г·К);  $T_k$  – критическая температура самовозгорания угля, °С;  $T_0$  – начальная температура угля °С;  $j$  – теплота испарения воды, кал/г;  $W$  – начальная влажность угля, доли ед.;  $q_d$  – удельная теплота десорбции метана, кал/мл;  $X$  – природная газоносность угля, мл/г;  $U$  – константа скорости сорбции кислорода углем, мл/(г·ч);  $C_o$  – концентрация кислорода на входе в угольное скопление, доли ед.;  $q_o$  – удельная теплота сорбции кислорода воздуха углем, кал/мл.

Определение константы скорости сорбции кислорода углем производилась с пробами угля, отобранными на пласте 50 в условиях шахты им В.Д. Ялевского. Полученные пробы угля размельчались в лаборатории до фракции 1-3 мм, затем помещались в герметично закрываемые сорбционные сосуды. Отобранные пробы выдерживались при температуре 23 °С. Через 24, 72 и 120 ч пробы газа из сорбционных сосудов отбирались для определения концентрации кислорода.

Вычисление константы скорости сорбции кислорода производилось по формуле

$$U = -\frac{V}{M\tau} \ln \frac{C_A(1 - C_0)}{C_0(1 - C_A)}, \quad (2)$$

где  $V$  – объем воздуха, находящийся в соприкосновении с углем, см<sup>3</sup>;  $M$  – масса пробы угля, г;  $\tau$  – время контакта воздуха с углем, ч.  $C_0$  – начальная концентрация кислорода в сосуде, доли ед.;  $C_A$  – концентрация кислорода через время  $\tau$ , доли ед.

Через 24, 72 и 120 часов результаты расчета константы скорости сорбции кислорода углем суммируются, и определяется средняя константа скорости сорбции.

Анализ формулы (1) показывает, что длительность инкубационного периода самовозгорания угля можно существенно увеличить за счет повышения влажности угля и снижения его химической активности. Поэтому были проведены исследования влияния применяемой обработки угля антипирогеном на длительность инкубационного периода самовозгорания. Масса пробы угля равнялась 80 г.

Проведенные исследования показали, что одним из наиболее эффективных средств увеличения инкубационного периода самовозгорания угля является обработка угольных скоплений водными растворами антипирогенов. Учитывая наличие в шахте антипирогена «Эльфор-М», были проведены исследования влияния различного количества этого водного состава на химическую активность угля по отношению к кислороду и длительность инкубационного периода самовозгорания. Получение зависимости между длительностью инкубационного периода самовозгорания и количеством поданного водного раствора антипирогена позволит подбирать режимы обработки теряемого в выработанном пространстве угля для предотвращения самовозгорания в период демонтажа оборудования и возведения изоляционных перемычек.

В процессе исследования использовались следующие пробы угля, отобранные в лаве 5002.

1. Необработанный уголь
2. Обработанный дистиллированной водой в количестве 9 г.
3. Обработанный 0,1% раствором воды с составом «Эльфор-М» в количестве 4 г.
4. Обработанный 0,1% раствором воды с составом «Эльфор-М» в количестве 9 г.
5. Обработанный 0,1% раствором воды с составом «Эльфор-М» в количестве 15 г.

Для расчета константы скорости сорбции кислорода пробами угля использовалась формула (2). Длительность инкубационного периода самовозгорания определяли по формуле (1). Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1. Константа скорости сорбции кислорода пробами угля и длительность инкубационного периода самовозгорания

Вид обработки угля	Константа скорости сорбции кислорода пробами угля, см <sup>3</sup> /г·ч				Инкубационн ого периода самовозгоран ия угля, сутки
	Время от начала сорбции, час			Среднее значени е	
	24	72	12 0		
Не обработан	0,0841	0,0526	0,0367	0,0578	59,6

Обработанный дистиллированной водой в количестве 9 г	0,0694	0,0402	0,0234	0,0443	125
0,1% раствором воды с составом «Эльфор М» в количестве 4 г	0,0755	0,0439	0,0265	0,0486	93
0,1% раствором воды с составом «Эльфор М» в количестве 9 г	0,0488	0,0263	0,0193	0,0315	142
0,1% раствором воды с составом «Эльфор М» в количестве 15 г	0,0558	0,0329	0,0202	0,0363	168

Полученные результаты показывают, что обработка угля водой раствором, содержащим 0,1% добавку состава «Эльфор М» существенно снижает химическую активность угля. Соответственно увеличивается влажность обработанного угля. Расчет показал, что после обработки угля 0,1% раствором воды с составом «Эльфор М» в количестве 4 г длительность инкубационного периода самовозгорания угля возрастает до 93 суток. Поэтому применение профилактической обработки данного выемочного участка подачей аэрозолей водного раствора смачивателя «Эльфор М» в поток воздуха, поступающего в выработанное пространство, позволяет предотвратить возникновение очагов самовозгорания.

Для снижения химической активности и повышения влажности угля и угольной пыли в выработанном пространстве лавы 5002 на период работ по демонтажу оборудования и изоляции выемочного участка, необходимо осуществлять подачу водного раствора смачивателя «Эльфор-М» в выработанное пространство лавы. Для увеличения длительности инкубационного периода самовозгорания угля до 80 суток достаточно подавать 32 кг водного раствора, содержащего 0,1% добавку «Эльфор М», на 1 т угля.

На основании исследований, проведенных в ООО НИИГД, можно сделать следующие выводы.

1. Длительность инкубационного периода самовозгорания угля можно увеличивать за счет использования антипирогенов для обработки угля.

2. Наиболее эффективно увеличивают длительность инкубационного периода самовозгорания угля водные растворы антипирогенов, снижающие химическую активность угля по отношению к кислороду и повышающие влажность обрабатываемых скоплений угля.

3. Для увеличения инкубационного периода самовозгорания угля до требуемого значения необходимы лабораторные исследования каждого отрабатываемого угольного пласта, позволяющие выбрать оптимальный антипироген и удельный расход состава для обработки скоплений угля.

### Список литературы

1. Портола В.А., Галсанов Н.Л., Шевченко М.В., Луговцова Н.Ю. Эндогенная пожароопасность шахт Кузбасса. Вестник КузГТУ. – 2012. – № 2. – С. 44–47.
2. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 375 с. (Библиотека горного инженера. Т. 16: Классики горной мысли, кн. 1).
3. Скочинский А.А., Макаров С.З. Исследования о применении антипирогенов при борьбе с рудничными пожарами. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – 237 с.
4. Линденау Н.И., Маевская В.М., Крылов В.Ф. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров. – М.: Недра, 1977. – 319 с.
5. Игишев В.Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах. – М.: Недра, 1987. – 176 с.
6. Portola V.A. Assessment of the effect of some factors on spontaneous coal combustion. Journal of Mining Science. 1996. 32(6). P. 536-541.
7. Игишев В.Г., Портола В.А. Оценка параметров пены, необходимых для тушения очагов самовозгорания // ФТПРПИ. – 1993. – № 4. – С. 74-78.
8. Портола В.А. Перспектива применения азота для борьбы с пожарами и взрывами в шахтах // Вестник КузГТУ, 2006. № 3, – С. 57–59.
9. Портола В.А., Храмцов В.И. Влияние применяемых в шахтах составов на склонность угля к самовозгоранию. Безопасность труда в промышленности. – 2017. – № 2. – С. 56–59.
10. Шестакова И.И. Применение ингибирующих веществ для профилактики самовозгорания бурых углей Восточной Сибири и Забайкальского края / И.И. Шестакова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 2(85). – С. 103-108.
11. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля».
12. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по определению инкубационного периода самовозгорания угля». Серия 05. Выпуск 38. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 24 с.