

УДК 622.822.222.622

Син Сергей Александрович, аспирант
(КузГТУ, г. Кемерово)
Sin Sergey Alexandrovich, graduate student
(KuzSTU, Kemerovo)

ВЛИЯНИЕ АЗОТА НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ
INFLUENCE OF NITROGEN ON THE DURATION
OF SELF-IGNITION OF COAL

Добыча угля в шахтах сопровождается возникновением опасных факторов, угрожающих существованию горных предприятий, а также здоровью и жизни людей. Давление горных пород, выделение из угля и вмещающих пород опасных газов, процессы окисления горючего ископаемого может привести к таким авариям, как обрушение пород, взрывы горючих газов и угольной пыли, эндогенные и экзогенные пожары, выбросы угля и газа, горные удары. В шахтах сохраняется опасность прорыва воды, глинистой пульпы. Опасность получения травм шахтерами повышается с увеличением количества машин и механизмов в ограниченном объеме горных выработок.

Ликвидация наиболее аварийных угольных шахт привела к снижению количества аварий на угледобывающих предприятиях [1,2]. Продолжает снижаться и количество самого распространенного вида аварий – подземных пожаров. Наибольший ущерб угольным шахтам наносят эндогенные пожары, возникающие от самовозгорания угля. Способны самовозгораться не только скопления угля в шахтах, но и содержащие серу полезные ископаемые [3].

Уголь способен самовозгораться не только в шахтах, но и на земной поверхности. Так, горят склады угля [4-6], породные отвалы, содержащие в своем составе уголь [7,8]. Вероятность самовозгорания существенно возрастает при образовании скоплений угольной пыли [9]. Учитывая применение все более мощной и высокопроизводительной угледобывающей техники, увеличивающих количество образующейся пыли, можно ожидать увеличения количества таких пожаров.

Для разработки способов предотвращения эндогенных пожаров исследуются различные факторы, влияющие на процесс самовозгорания угля [10]. Разрабатываются методы обнаружения, локации и тушения очагов подземных пожаров [11-13]. Одним из наиболее перспективных направлений борьбы с самовозгоранием угля является применение азота, позволяющего инерттизировать рудничную атмосферу, и прекратить выделение тепла в угле [14-16].

Важнейшей характеристикой процесса самовозгорания угля является длительность инкубационного периода, в течение которого угольное скопление нагревается до критической температуры. Длительность инкубационного периода самовозгорания угля (в сутках), согласно «Инструкции по определению инкубационного периода самовозгорания угля», определяем по формуле

$$\tau_{инк} = \frac{C(T_k - T_0) + 0.6jW + q_d X}{24\alpha U^{0,45} C_0 q_0}, \quad (1)$$

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_0 – концентрация кислорода на входе в угольное скопление, доли ед.; q_0 – удельная теплота сорбции кислорода воздуха углем, кал/мл.

Анализируя приведенное выражение (1) можно сделать вывод, что увеличению длительности процесса самовозгорания угля способствуют увеличение влажности угля, снижение его начальной температуры, а также уменьшение константы скорости сорбции кислорода углем и концентрации кислорода в газовой среде, контактирующей с угольным скоплением. Наиболее простым путем предотвращения эндогенного пожара в шахте является подача азота в выработанное пространство, где в основном и формируются очаги самовозгорания.

Для повышения эффективности профилактических работ по предотвращению самовозгорания и снижения стоимости работ необходимо оценить, как увеличивается длительность инкубационного периода самовозгорания в зависимости от концентрации кислорода в рудничной атмосфере. С целью решения этой задачи отбирались пробы угля на различных шахтах. В лабораторных условиях определялась сорбционная активность угля по убыли кислорода в воздухе сорбционного сосуда, в котором исследовались пробы угля. Уголь предварительно дробился до фракций 1-3 мм и проба герметично закрывалась в сосуде на 120 часов.

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, см³; M – масса пробы угля, г; τ – время контакта воздуха с углем, ч. C_0 –

начальная концентрация кислорода в сосуде, доли ед.; C_t – концентрация кислорода через время t , доли ед.

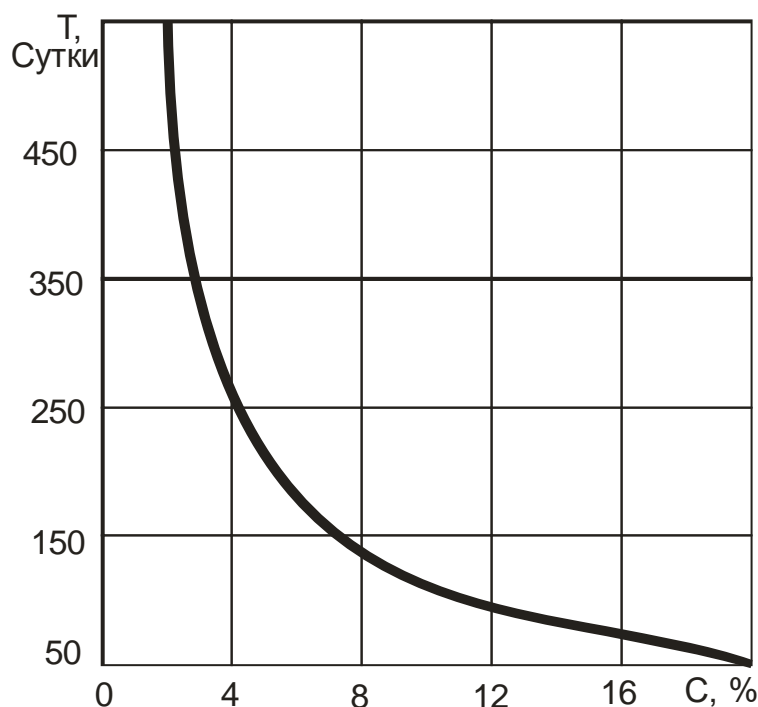
Затем по выражению (1) определялась длительность инкубационного периода самовозгорания угля при нахождении в газовой среде с различной концентрацией кислорода. В расчетах использовались следующие концентрации кислорода: 2%, 5%, 10%, 15% и 20%. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

Изменение длительности инкубационного периода самовозгорания угля при различной концентрации кислорода в воздухе

Константа скорости сорбции кислорода, мл/(г · ч)	Концентрация кислорода в воздухе, %				
	20	15	10	5	2
0,0337 при $W = 2,0\%$	58	78	117	234	585
0,0455 при $W = 6,7\%$	79	105	158	317	795
0,0131 при $W = 4,6\%$	116	156	234	469	1170

На рис. 1. показано изменение длительности инкубационного периода самовозгорания угля в зависимости от концентрации кислорода в рудничной атмосфере. Константа скорости сорбции кислорода угля равна 0,0337 мл/(г · ч).



Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что подача азота в выработанное пространство, приводящая к инертизации атмосферы, позволяет в несколько раз увеличить продолжительность

процесса самовозгорания. Учитывая большие скорости подвигания очистного забоя, подача азота может полностью предотвратить развитие эндогенных пожаров и изолировать отработанный участок. Для получения азота целесообразно использовать криогенные установки, позволяющие подать азот в сжиженном состоянии с температурой -196°C , а также мембранные воздухоразделительные установки. В Кузбассе такие установки с производительностью $1000\text{ м}^3/\text{ч}$ азота используются для борьбы с пожарами в шахтах с 2006 г. Применение мембранных разделительных установок позволяет снизить стоимость инертного газа и повысить эффективность профилактики и тушения подземных пожаров.

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. Портола В. А., Овчинников А. Е., Жданов А. Н. Оценка мер по предупреждению эндогенных пожаров в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 12. – С. 205–214.
3. Портола В.А., Бобровникова А.А., Палеев Д.Ю., Еременко А.А., Шапошник Ю.Н. Исследование скорости сорбции кислорода самовозгорающимися сульфидными рудами. Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 1. – С. 57–62. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-57-62
4. Портола В.А., Жданов А.Н., Бобровникова А.А. Перспектива применения антипирогенов для предотвращения самовозгорания складов угля. Уголь. – 2019. – № 4. – С. 14-19.
5. Ютяев Е.П., Портола В.А., Мешков А.А., Харитонов И.Л., Жданов А.Н. Развитие процесса самонагревания в скоплениях угля под действием молекулярной диффузии кислорода. Уголь. – 2018. – № 10 (1111). – С. 42–46.
6. Портола В. А., Жданов А. Н., Бобровникова А. А. Исследование процесса самовозгорания в штабеле угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 10. – С. 155–162.
7. Портола В.А., Скударнов Д.Е., Протасов С.И., Подображин С.Н. Оценка параметров очагов самовозгорания породных отвалов угольных карьеров и способов их тушения. Безопасность труда в промышленности. – 2017. – № 11. – С. 42–47.
8. Проблемы и пути снижения пожароопасности при добыче угля открытым способом / В.А. Портола, С.И. Протасов, С.Н. Подображин //Безопасность труда в промышленности. – 2004, № 11. – С.41-43.

9. Портола В.А. Опасность самовозгорания угольной пыли. Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 6. – С. 36–39.
10. Portola V.A. Assessment of the effect of some factors on spontaneous coal combustion. Journal of Mining Science. 1996. 32(6). P. 536-541.
11. Portola V.A. Gas anomalies above underground gas sources. Journal of Mining Science. 1996. 32(3). P. 212-218.
12. Portola, V. Detection and location of places of spontaneous combustion of coal in mines due to gas anomalies on the earth's surface // V. Portola, A. Bobrovnikova, G. Shirokolobov, D. Paleev // E3S Web Conf., Vth International Innovative Mining Symposium, 174, 01061 (2020), P. 1-7.
13. Игишев В.Г., Портола В.А. Оценка параметров пены, необходимых для тушения очагов самовозгорания // ФТПРПИ. – 1993. - № 4. - С. 74-78.
14. Син С.А., Портола В.А., Игишев В.Г. Повышение эффективности применения азота для борьбы с самовозгоранием угля в шахтах. Уголь. – 2018. – № 5. – С. 51–57.
15. Син С.А., Портола В.А., Игишев В.Г. Повышение безопасности и эффективности использования азота для борьбы с самовозгоранием угля в выработанном пространстве шахт. Уголь. – 2019. – № 2. – С. 11–14.
16. Портола В.А., Галсанов Н.Л. Повышение эффективности применения азота для подавления самовозгорания угля. Вестник КузГТУ. – 2011 г. № 5. – С. 59-63.

Заявка на участие в работе конференции СИБРЕСУРС-2020	
Фамилия, имя, отчество: Син Сергей Александрович	
1. Место работы, должность: аспирант кафедры АОТП КузГТУ	
2. Ученая степень -	
3. Почтовый адрес: г. Кемерово, ул. Весенняя, 28	
4. Телефон 396370	Факс 396370
E-mail aotp2012@yandex.ru	
5. Я намерен принять участие в работе конференции (нужное отметить): а) с выступлением и публикацией доклада в Сборнике материалов конференции;	

б) в качестве слушателя без выступления, но с публикацией в Сборнике материалов конференции;

в) в качестве слушателя без выступления и публикации в Сборнике материалов конференции;

г) в качестве заочного участника, только с публикацией в Сборнике материалов конференции (без посещения конференции).

**6. Название доклада ВЛИЯНИЕ АЗОТА НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ
САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ**

6. Направление: 1. Добыча угля: технологические и экологические проблемы

7. Требуется ли гостиница? НЕТ