

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОХЛАЖДЕННОГО УГЛЯ НА РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССА САМОВОЗГОРАНИЯ

Луговцова Н.Ю.¹, Портола В.А.¹

¹Юргинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Юрга, Россия (652050, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26), e-mail: lnyu-70583@bk.ru

На основании анализа существующих современных способов профилактики и борьбы с эндогенными пожарами угольных отвалов и выработанных угольных пространств определены основные направления предотвращения развития процессов самовозгорания угля. В работе предложен и описан способ существенного и эффективного замедления процесса самовозгорания окисляющегося кислородом воздуха угля за счет снижения начальной температуры взаимодействующих компонентов. Для снижения начальной температуры горных выработок предлагается использование процесса испарения жидкости, предварительно поданной в выработанное пространство шахты. Реализация нового подхода в профилактике самовозгорания угля осуществляется за счет периодической подачи распыленной в потоке воздуха жидкости в шахтное пространство с целью увлажнения горных пород в выработках. Понижение температуры угля осуществляется за счет отбора энергии с поверхности предварительно увлажненной горной породы при интенсивном испарении с нее жидкости за счет последующей принудительной подачи сухого газа (азота) в шахту. Приведены данные о влиянии охлаждения угля на его химическую активность. Оценено влияние процесса самовозгорания при скоплении угля.

Ключевые слова: шахта, выработанное пространство, угольное скопление, охлаждение, процесс самовозгорания.

EFFECT OF PRE-COOLING COAL ON THE DEVELOPMENT OF AUTO-IGNITION

Lugovtcova N.Y.¹, Portola V.A.¹

¹Yurga Institute of Technology (branch) of National Research Tomsk Polytechnic University, Yurga, Russia (652050, Yurga, street Leningradskaya, 26), e-mail: lnyu-70583@bk.ru

Based on the analysis of existing modern methods of prevention and control of endogenous fires and depleted coal stockpiles of coal spaces defines the main directions of development of processes to prevent spontaneous combustion of coal. In this paper we propose a method and a substantial and effective slowing down the process of spontaneous combustion of coal oxidized by atmospheric oxygen by reducing the initial temperature of the interacting components. To reduce the initial temperature of the mines proposed use of the evaporation of liquid, previously filed with the worked-out area of the mine. The implementation of the new approach in the prevention of spontaneous combustion of coal is carried out by periodic supply of spray in the air flow of liquid in the mining area to humidify the rocks in the mines. Lowering the temperature of coal is carried out by taking energy from the surface of the pre-moistened rock with intense evaporation of liquid from it at the expense of subsequent forced feeding of dry gas (nitrogen) into the mine. The data on the effect of cooling on its coal chemical activity. The effect of the process of spontaneous combustion of coal in the cluster.

Keywords: mine, mined-out space, carbon accumulation, cooling, the process of spontaneous combustion.

Действующие подземные пожары значительно осложняют ведение горных работ, приводят к потере подготовленных к выемке запасов угля, дорогостоящей угледобывающей техники. Подземные пожары наносят и огромный экономический ущерб, связанный с проведением работ по тушению пожаров. Особенно сложно тушение эндогенных пожаров, возникающих в результате процесса самовозгорания угля. Основная часть эндогенных пожаров возникает в выработанном пространстве, что затрудняет их обнаружение на ранней стадии развития и определение координат очагов. Из-за отсутствия точных данных о состоянии и местонахождении пожара резко снижается эффективность подачи хладагента, а

для тушения используется метод изоляции. Поэтому, в условиях повышения значимости промышленной безопасности и охраны труда, возникает необходимость повысить эффективность мер по предупреждению развития процессов самовозгорания угля и способов ликвидации развившихся пожаров.

Проблема предотвращения эндогенных пожаров в шахтах осложняется зависимостью процесса самовозгорания от большого количества факторов, обусловленных свойствами угля и внешними воздействиями окружающей среды. Причем влияние многих факторов неоднозначно и зависит от целого комплекса других факторов, а их значение может варьироваться в широких пределах. Например, в литературе имеются противоречивые данные о роли влияния влаги на химическую активность угля, на динамику изменения температуры угольного скопления при окислении. Так, в работах [7; 17] утверждается, что вода, воздействуя на уголь, играет роль катализатора в процессе окисления, ускоряя развитие самовозгорания угля. Однако в ряде других исследований установлено, что скорость поглощения кислорода углем снижается при увеличении его влажности [15; 18–20]. Неоднозначны результаты исследований о влиянии скорости воздуха, фильтрующегося через скопление угля, на процесс самовозгорания [2; 3; 6; 8; 9; 12].

Необходимыми условиями развития процесса самовозгорания угля являются образование достаточных по массе скоплений разрыхленного угля, приток к нему необходимого количества воздуха и поглощение углем кислорода из окружающего воздуха.

В процессе сорбции кислорода угольным скоплением и последующих химических реакций выделяется тепло, часть которого теряется в окружающую среду, а часть расходуется на нагревание угля. Поэтому предотвращение развития процессов самовозгорания угля в шахтах осуществляется по следующим направлениям:

- снижение количества теряемого в выработанном пространстве угля, способного окисляться кислородом воздуха;
- снижение количества воздуха, поступающего к скоплениям угля, до безопасного уровня;
- уменьшение количества тепла, генерируемого углем при окислении кислородом;
- увеличение потерь тепла из окисляющегося угля в окружающее пространство.

Существующие на данный момент технологии угледобычи, применяемое оборудование, схемы проветривания шахт не позволяют полностью предотвратить потери угля в выработанном пространстве, а также приток воздуха к теряемым скоплениям. Особенно сложно обрабатывать геологические нарушения, в которых теряется уголь, ранее разрыхленный в результате сдвижения горных пород, с высокой химической активностью. Поэтому наиболее распространенным способом профилактики эндогенных пожаров в шахтах, разрабатывающих пласты угля, склонные к самовозгоранию, является обработка

теряемого угля антипирогенами, снижающими химическую активность угля по отношению к кислороду. Уменьшение генерации тепла в угольном скоплении приводит к замедлению процесса самовозгорания или его предотвращению.

Снижение химической активности угля в основном достигается путем обработки теряемых скоплений твердыми и жидкими антипирогенами. Обычное увлажнение угля приводит к снижению его химической активности по отношению к кислороду из-за образования на его поверхности слоя жидкости, препятствующей проникновению кислорода к активным центрам [10; 19; 20]. Добавка в жидкость поверхностно-активных веществ усиливает антипирогенное действие воды благодаря лучшей смачиваемости поверхности угля, приводящей к образованию пленок с большей поверхностью [5; 16].

Применение глинистой пульпы позволяет дополнительно заполнить трещины и поры осевшей глиной. Объем глины в целике, подаваемой в выработанное пространство для профилактических целей, должен составлять 3-5% от объема вынимаемого угля. Также для профилактики самовозгорания угля используются и другие антипирогены в твердом и жидком состоянии [4; 16].

При отработке мощных пластов в зонах геологических нарушений рекомендуется пропитывать водными растворами антипирогенов краевые части целиков. В последнее время широкое распространение получил способ обработки разрыхленных потерь угля водными растворами антипирогенов в виде тонкодисперсных аэрозольных частиц, подаваемых в выработанное пространство в потоке утечек воздуха [16].

Данная технология профилактики эндогенных пожаров позволяет проводить обработку выработанного пространства без остановки угледобычи в лаве, что очень важно с экономической точки зрения. Недостатком этого способа является малая дальность транспортирования антипирогена в выработанном пространстве, поэтому скопления угля, образующиеся за пределами этой зоны распространения аэрозоля, оказываются необработанными.

Антипирогены для профилактики самовозгорания угля могут применяться не только в виде водных растворов, но и в виде порошков [1; 4]. В качестве антипирогена используется состав из карбомида и диаммония фосфата. Предложено использовать для обработки выработанного пространства и летучую золу, подаваемую в потоке сжатого инертного газа [14].

Несмотря на многообразие предложенных и применяемых способов профилактики самовозгорания угля, эндогенные пожары продолжают возникать на угольных шахтах. Причиной таких ситуаций является невозможность обработки большинства поверхностей угольного скопления. Антипироген обычно наносится на поверхность угольного целика или

нагнетается по скважинам в ограниченном количестве. Поэтому после разрушения целика в выработанном пространстве основная часть поверхности скопления не подвергается обработке и имеет высокую химическую активность.

Достичь существенного замедления процесса самовозгорания окисляющегося материала можно также путем снижения начальной температуры взаимодействующих компонентов [13]. В этом случае увеличится длительность низкотемпературного окисления. Одновременно, согласно уравнению Аррениуса, при снижении температуры уменьшается скорость реакции окисления.

$$K=Ae^{-E/RT}, \quad (1)$$

где A – фактор эффективности соударений;

E – энергия активации, кДж/кмоль;

R – универсальная газовая постоянная, кДж/(кмольК);

T – температура, К.

Согласно уравнению (1), скорость взаимодействия между углем и кислородом существенно снижается при охлаждении угля. Таким образом, охлаждение угля также приводит к сокращению количества выделяемого тепла, что позволит повысить вероятность возникновения очагов самовозгорания.

Снизить температуру угля в выработанном пространстве возможно путем подачи низкотемпературного хладагента, например охлажденного газа. Однако газовые составы имеют незначительную плотность и удельную теплоемкость, поэтому для охлаждения угля потребуются большие объемы газа. Если добавить в газ частицы замороженной жидкости, то это позволит значительно сократить расход хладагента [11].

Достичь снижения температуры угля в выработанном пространстве возможно и за счет использования процесса испарения ранее поданной жидкости. Реализовать этот процесс можно путем периодической подачи распыленной воды в потоке воздуха, поступающего в отработанное пространство. В результате уголь и горные породы увлажняются. После нагнетания жидкости в выработанное пространство необходимо подать сухой газ, например азот. Во время подачи сухого газа резко интенсифицируется испарение ранее поданных частиц жидкости, что сопровождается снижением температуры угля.

Особенно эффективен этот способ для снижения температуры угольной пыли, уносимой в выработанное пространство и оседающей в местах увеличения диаметра каналов, по которым фильтруется воздух. Частицы пыли будут увлажняться жидкостью еще во время движения и интенсивно охлаждаться в период испарения.

Для оценки влияния охлаждения угля на его химическую активность была проведена серия экспериментов. Уголь размельчали и помещали в герметично закрываемые емкости,

которые хранились в течение 24 часов при различной температуре. Затем в емкостях отбирались пробы газа, в которых измерялась концентрация оставшегося кислорода и рассчитывалась химическая активность угля. Результаты влияния температуры на химическую активность угля приведены в табл. 1.

Таблица 1. Изменение химической активности угля в зависимости от температуры

| Температура угля, °С | Удельная скорость сорбции, см ³ /(г·ч) через каждые 24 часа | | |
|----------------------|--|--------|--------|
| 20 | 0,009 | 0,006 | 0,007 |
| 10 | 0,005 | 0,004 | 0,002 |
| 5 | 0,003 | 0,002 | 0,002 |
| -10 | 0,0009 | 0,0007 | 0,0007 |

С учетом экспоненциальной зависимости скорости сорбции кислорода углем от температуры использовались следующие уравнения, описывающие изменение температуры и концентрации кислорода в угольном скоплении:

$$U_1 = 0,0024e^{0,0663T},$$

$$U_2 = 0,0019e^{0,0665T},$$

$$U_3 = 0,0015e^{0,0574T}.$$

Анализ полученных результатов показал, что снижение температуры пробы на десять градусов уменьшает химическую активность раздробленного угля практически в два раза. Соответственно и скорость выделения тепла при окислении охлажденного угля значительно уменьшится, что замедлит развитие процесса самонагревания или может полностью его предотвратить.

Зависимость изменения химической активности угля от температуры через каждые 24 часа приведена на рис. 1.

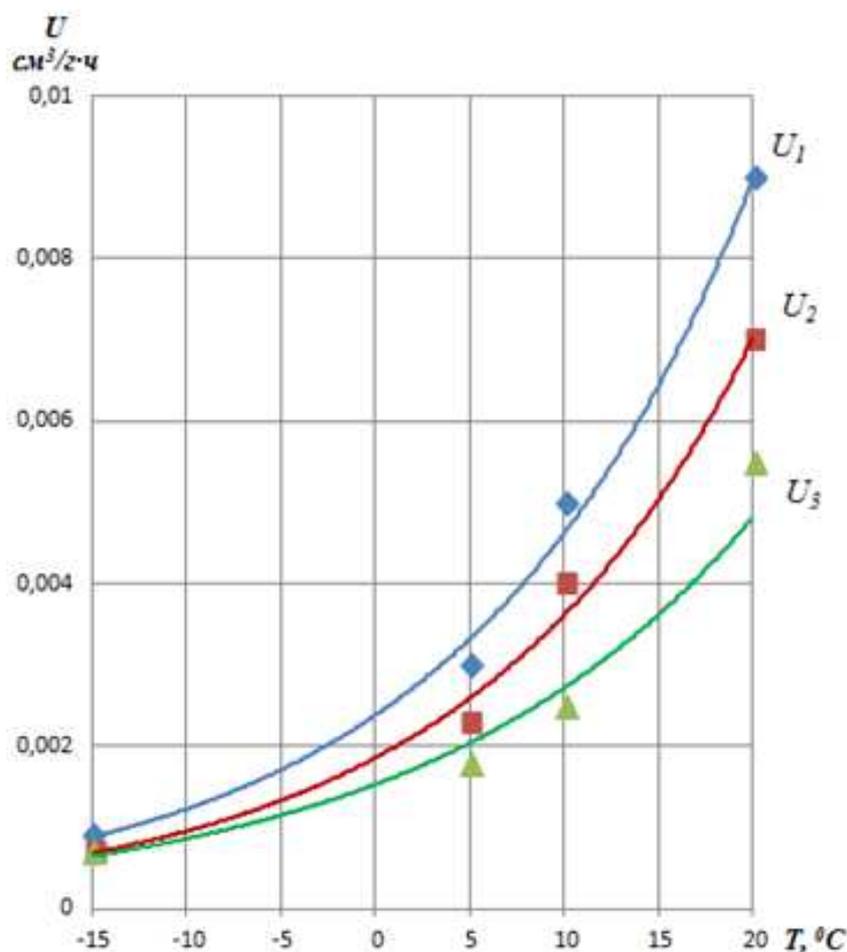


Рис. 1. График изменения химической активности угля U в зависимости от температуры, T , где: U_1 , U_2 , U_3 – изменение химической активности угля через каждые 24 часа.

При анализе полученных результатов необходимо учитывать, что за счет одномерности модели потери тепла существенно сокращаются и время развития процесса самовозгорания также уменьшается.

Результаты расчета показывают, что снижение начальной температуры угля резко замедляет начальную стадию низкотемпературного окисления. Незначительное количество тепла, выделяемое при окислении охлажденного угля, быстро рассеивается в окружающей среде, что резко увеличивает инкубационный период процесса самовозгорания угля.

В результате появляется возможность отработки подготовленных запасов угля без возникновения эндогенного пожара.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Охлаждение угольных скоплений резко замедляет процесс самонагрева и может остановить рост температуры угля. Поэтому для предупреждения эндогенных пожаров в шахтах можно снижать температуру теряемых скоплений угля.
2. Для охлаждения теряемого угля целесообразно подавать в выработанное пространство частицы замороженной жидкости. Носителями частиц льда может быть газообразный азот.

3. Снижения температуры угля и осевшей угольной пыли можно достичь путем чередования подачи в выработанное пространство распыленной воды и сухого газа, например азота.

Список литературы

1. Болдин В.А. Профилактика эндогенных пожаров порошкообразными антипирогенами // Предупреждение эндогенных пожаров в шахтах : сб. трудов / Вост. науч.-исслед. ин-т по безопасности работ в горной пром-ти. – Кемерово, 1986. – С. 22-25.
2. Влияние режима проветривания щитовых выемочных участков на их пожароопасность / В.М. Маевская, А.П. Рапоцевич, Л.П. Белавенцев, П.А. Парахин // Вопросы безопасности в угольных шахтах. – М. : Недра, 1969. - Т II. – С. 147–162.
3. Глузберг Е.И. Теоретические основы прогноза и профилактики шахтных эндогенных пожаров. – М. : Недра, 1986. – 161 с.
4. Горбатов В.А., Игишев В.Г., Попов В.Б., Портола В.А., Син А.Ф. Защита угольных шахт от самовозгорания угля. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2001. – 132 с.
5. Игишев В.Г., Портола В.А. Оценка параметров пены, необходимых для тушения очагов самовозгорания // ФТПРПИ. – 1993. – № 4. – С. 74–78.
6. Игишев В.Г. Роль молекулярной диффузии кислорода в возникновении эндогенных пожаров / В.Г. Игишев, В.А. Портола // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело : реф. сб. / ЦНИЭИуголь. – 1981. – № 3. – С. 24–25.
7. Линденау Н.И. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров / Н.И. Линденау, В.М. Маевская, В.Ф. Крылов. – М. : Недра, 1977. – 319 с.
8. Маевская В.М. О допустимой депрессии щитовых выемочных участков / В.М. Маевская, Л.П. Белавенцев, А.П. Рапоцевич // Уголь. – 1968. – № 10. – С. 57–59.
9. Маевская В.М. Определение влияния оптимальных утечек воздуха на процесс самовозгорания угля при щитовой системе разработки // Научные сообщения ВостНИИ по безопасности работ в промышленности. – Кемерово, 1961. – № 2. – С. 54–62.
10. Портола В.А. Влияние профилактического увлажнения на процесс самовозгорания угля // ФТПРПИ. – 1984. – № 3. – С. 108–110.
11. Портола В.А., Галсанов Н.Л. Повышение эффективности применения азота для подавления самовозгорания угля // Вестник КузГТУ. – 2011. – № 5. – С. 59–63.
12. Портола В.А. Оценка влияния некоторых факторов на процесс самовозгорания угля // ФТПРПИ. – 1996. – № 3. – С. 61–68.
13. Портола В.А. Предупреждение самовозгорания угля снижением его начальной температуры // Безопасность труда в промышленности. – 1995. – № 6. – С. 29–30.

14. Разработка и внедрение новых способов профилактики, локации и локализации очагов самовозгорания угля в действующих выемочных полях шахт Кузбасса / В.Г. Игишев, Л.П. Белавенцев, В.А. Портола и др. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2006. – 98 с.
15. Саранчук В.И. Окисление и самовозгорание угля. – Киев : Наукова думка, 1982. – 166 с.
16. Технологические схемы профилактики, локализации и тушения эндогенных пожаров в угольных шахтах / В.А. Горбатов, В.Г. Игишев, В.Б. Попов и др. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2002. – 177 с.
17. Физические основы самовозгорания угля и руд / Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского. – М. : Наука, 1972. – 148 с.
18. Чернов О.И. Влияние увлажнения угля при заиливании на процессы, приводящие к эндогенным пожарам // Вопросы безопасности в угольных шахтах. – М., 1970. – С. 39–46. – (Труды / Вост. науч.-исслед. ин-т по безопасности работ в горной пром-сти ; т. 2).
19. Чернов О.И. Скорость поглощения кислорода сухим и увлажненным углем // Уголь. – 1968. – № 5. – С. 66–67.
10. Ярцев В.А. Роль влагообмена в тепловом балансе самовозгорающегося угля // Изв. вузов. Горный журнал. – 1970. – № 7. – С. 75–78.

Рецензенты:

Иванов Г.В., д.т.н., профессор, директор «Экспертной организации центр экспертизы промышленной безопасности переработки полезных ископаемых», г. Кемерово.

Козлов В.И., д.т.н., профессор ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово.