УДК 622.822

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ УВЛАЖНЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ НА ХИМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ УГЛЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОЦЕССОВ САМОВОЗГОРАНИЯ

[1]Тимофеева С.С., [2]Луговцова Н.Ю.

[1]ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск;
[2]Юргинский технологический институт ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Юрга, e-mail: lnyu-70583@bk.ru

Увеличение объемов добычи угля в стране приводит к дополнительным негативным последствиям для окружающей среды. Совершенствование способов предотвращения эндогенных пожаров не может полностью исключить возникновение аварийных ситуаций на горнодобывающих предприятиях. Поэтому целесообразно использовать методы профилактики и раннего обнаружения процессов самовозгорания, а также применять новые способы быстрой ликвидации очагов самовозгорания. Из всех имеющихся методов определения склонности углей к самовозгоранию для проведения исследований был обоснован и выбран метод определения химической активности углей по скорости сорбции кислородом воздуха. В работе проводилось исследование влияния одновременного увлажнения и охлаждения на химическую активность угля. Исследования показали, что снижение температуры угля способно уменьшить скорость сорбции кислорода углем в 3-10 раз, тем самым можно рекомендовать предварительное охлаждение и увлажнение разрыхленных скоплений угля с целью предотвращения развития процессов самовозгорания.

Ключевые слова: процесс самовозгорания, эндогенные пожары, скорость сорбции, теплофизические параметры, химическая активность угля

THE STUDY OF COMPLEX INFLUENCE HUMIDIFICATION AND COOLING ON THE CHEMICAL ACTIVITY OF THE COAL TO PREVENT SPONTANEOUS COMBUSTION PROCESSES

[1]Timofeeva S.S., [2]Lugovtsova N.Yu.

[1]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk;
[2]Yurga Institute of Technology (branch) of National Research Tomsk Polytechnic University, Yurga, e-mail: lnyu-70583@bk.ru

The increase in coal production in the country leads to additional negative consequences for the environment. Improving ways to prevent endogenous fires can not completely eliminate the occurrence of accidents at mining enterprises. Therefore, it is advisable to use the methods of prevention and early detection of spontaneous combustion processes as well as new ways of rapid elimination of places of self-ignition. Of all the methods for determining the propensity of coal to spontaneous combustion, for research has been justified and chosen method of determining the chemical reactivity of coal sorption speed atmospheric oxygen. In the work was carried out investigation of the effect of simultaneous humidification and cooling on the chemical activity coal. Research has shown that reduction of temperature coal can reduce the rate of sorption of oxygen is 3-10 times, thereby, it is possible to recommend pre-cooling and moistening of coal to prevent the accumulation of spontaneous combustion processes.

Keywords: the process of spontaneous combustion, endogenous fires, the rate of sorption, thermal parameters, chemical activity coal

Добыча угля в России, как шахтным способом, так и в угольных разрезах, постоянно увеличивается. Кузбасс является одним из самых крупных по запасам угля и объемов его добычи бассейнов России и главным поставщиком технологического сырья для российской промышленности. На сегодняшний день запасы коксующихся углей Кузбасса составляют 73 % от общего объема запаса этих углей освоенных угольных бассейнов России, и более 80 % коксующихся углей России добывается именно в Кузбассе. В 2014 году предприятиями угольной отрасли добыто 208 млн т каменного угля, что на 4,4 млн т больше, чем в 2013 году [2].

Несмотря на применяемые способы профилактики, в угольных шахтах страны до настоящего времени продолжают происходить аварии, обусловленные возникновением эндогенных пожаров и взрывами метана. В свою очередь, пожары в шахтах и разрезах наносят огромный вред окружающей среде. При горении углесодержащей породы образуются в большом количестве оксиды углерода, газообразные соединения серы и легковоспламеняющиеся углеводороды. Опасны также выбросы метана, причем этот газ, кроме того, что он является парниковым газом, способен возгораться даже во влажном состоянии.

Анализ литературы показал, что процесс самовозгорания возникает по поверхностям угольных скоплений и, частично, по труднодоступным существующим и вновь образующимся пустотам и разломам, имеющим выход на поверхность.

Среди регистрируемых на угольных шахтах Кузбасса подземных пожаров основную долю составляют эндогенные пожары. Большая часть экономического ущерба, причиняемого угольным шахтам всеми видами аварий, также приходится на эндогенные пожары (табл. 1). Для снижения экономических потерь, обусловленных эндогенными пожарами, необходимо использовать методы профилактики и раннего обнаружения процесса самовозгорания, а также применять новые способы быстрой ликвидации очагов самовозгорания.

3. Методы, основанные на поглощении реагентов, адсорбирующихся углем физически, не вступая в химическое взаимодействие.

При методах первой группы берется тот же окислитель, который действует на угли в естественных условиях. Кислород проходит через измельченный уголь при постепенно возрастающей температуре. Недостатком этого метода является применение более высоких температур, чем температура начала окисления угля в шахтах.

В методах второй группы изучается действие на угли более энергичных искусственно подобранных окислителей. Активность угля по отношению к ним может не совпадать с активностью к кислороду, но с такими окислителями можно работать при более подходящей к природным условиям температуре.

Таблица 1

Динамика пожаров и их последствий в горных выработках и пластах угля в РФ с 2011 по 2015 гг.

	2011	2012	2013	2014	2015
Уничтожено (единиц)	1	0	0	0	1
Повреждено (единиц)	4	4	5	4	2
Прямой материальный ущерб от пожаров, тыс. руб.	96957	259130	10914	41	13081

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.

Для определения способности углей к окислению и склонности к самовозгоранию предложен целый ряд методов. К основным из них относятся:

1. Методы, основанные на изучении действия на угли чистого кислорода или воздуха. В данном случае определяется скорость поглощения кислорода, температура начала быстрого окисления угля, температура его воспламенения, скорость самонагревания угля в адиабатических условиях, количество легко уловимых продуктов окисления, образовавшихся при окислении угля в определенных условиях.

2. Методы, основанные на действии на угли других окисляющих реагентов.

Что касается методов третьей группы, при которых определяется способность угля к адсорбции того или иного реагента, то от них трудно ожидать хороших результатов. Способность к адсорбции может не совпадать с окисляемостью. Кроме того, далеко не все испытанные в этом отношении реагенты химически безразлично относятся к углям. При этом если поглощаемый углем реагент вступает во взаимодействие не с теми атомными группами, которые легче всего окисляются, то опыты с таким реагентом не могут дать правильной характеристики окисляемости угля.

Химическая активность углей при их окислении на воздухе оценивается по скорости поглощения кислорода. Для определения химической активности углей по скорости сорбции используется методика, разработанная ИГД им. А.А. Скочинского [1, 4–6]. Предпочтение данному методу отдается из-за того, что исследования проводятся при низких температурах, приближенных к естественным условиям.

Сущность метода состоит в том, что скорость сорбции кислорода углем характеризуется уменьшением концентрации

кислорода в сорбционном сосуде. Испытуемую пробу помещают в сосуд, заполненный воздухом, закрывают его герметически и по истечении определенного времени с помощью газового анализа определяют убыль кислорода в нем (рис. 1).

Так как скорость сорбции кислорода зависит от его концентрации, которая может иметь разные количественные значения и не остается постоянной во время опыта, показателем химической активности угля служит не сама скорость сорбции, а кинетическая константа скорости, не зависящая от концентрации кислорода в газовой среде.

Снижение температуры и увеличение влажности угольного скопления приводит к изменению удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности и плотности угля. Повышение влажности угольного скопления существенно скажется на процессе поглощения углем кислорода. Влага, покрывающая поверхность угольных частиц, будет препятствовать проникновению кислорода к активным центрам, что снизит скорость окисления и уменьшит количество генерируемого в скоплении тепла.

Увеличение влажности угольного скопления приведет к изменению таких теплофизических параметров, как коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и плотность. Причиной этого является замещение части воздуха, находящегося в порах и трещинах, на жидкость.

Для определения влияния увлажнения и охлаждения на химическую активность угля был проведен эксперимент. Брались 6 проб измельченного угля с температурами +25; +10; 0 °С. Одна часть проб с сухим углем, другая с увлажненным на 10 %. Масса каждой пробы 200 г на объем сосуда 720 мл. Замеры производились с интервалом в 48 ч. Результаты исследований приведены в табл. 2.

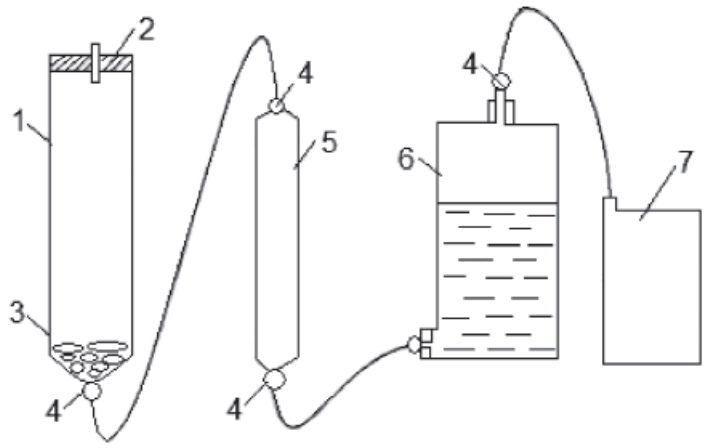

Рис. 1. Установка для определения химической активности углей:
1 – сорбционный сосуд; 2 – пробка; 3 – стеклянные палочки; 4 – кран;
5 – пробоотборная пипетка; 6 – емкость с раствором; 7 – вакуумный насос

Таблица 2

Результаты исследования увлажнения и охлаждения на химическую активность угля

	Пр. 1 (+25 °С) сухой	Пр. 2 (+ 25 °С) увлажн.	Пр. 3 (+10 °С) сухой	Пр. 4 (+10 °С) увлажн.	Пр. 5 (0 °С) сухой	Пр. 6 (0 °С) увлажн.
1 замер	0,018	0,022	0,004	0,008	0,009	0,008
2 замер	0,014	0,015	0,009	0,005	0,004	0,007
3 замер	0,012	0,011	0,006	0,005	0,004	0,006
4 замер	0,006	0,007	0,003	0,004	0,003	0,005
5 замер	0,009	0,01	0,001	0,003	0,003	0,005
6 замер	0,009	0,009	–	–	0,001	0,004
7 замер	0,009	0,009	–	–	0,001	0,002

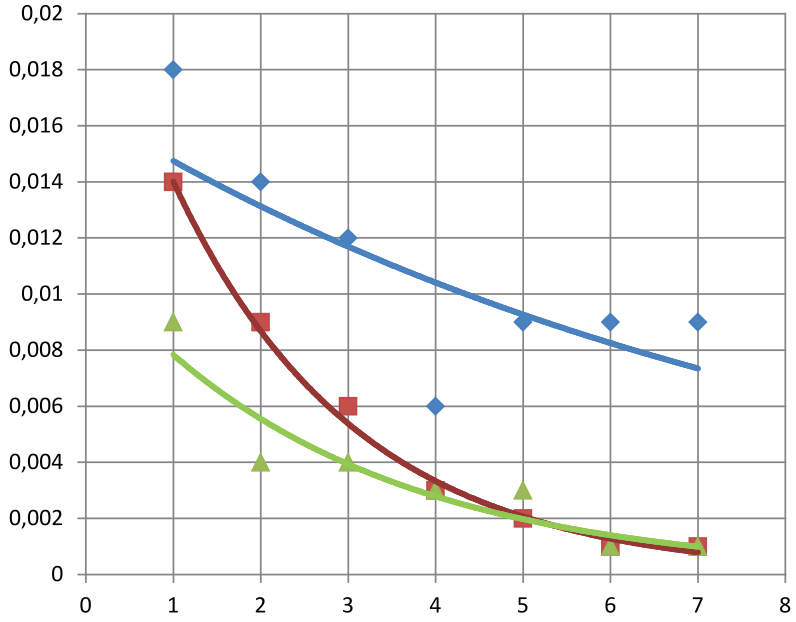

Рис. 2. График снижения химической активности сухого угля при разных температурах: синяя линия – при t = 25 °C; красная линия – при t = 10 °C; зеленая линия – при t = 0 °C

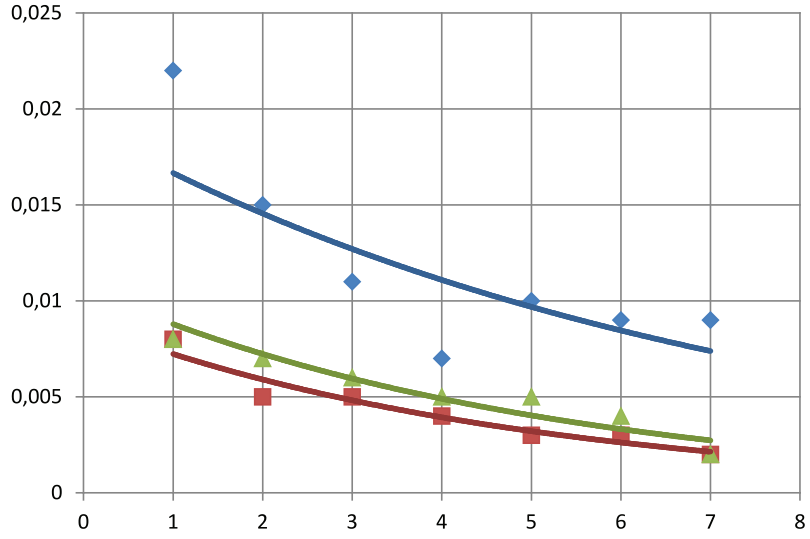

Рис. 3. График снижения химической активности увлажненного угля при разных температурах: синяя линия – при t = 25 °C; красная линия – при t = 10 °C; зеленая линия – при t = 0 °C

Из табл. 2 видно, что у сухого угля химическая активность ниже, чем у увлажненного при разных температурах. Это можно объяснить тем, что теплоемкость угольного скопления возрастает при увеличении влажности. А увеличение теплоемкости замедляет скорость повышения температуры окисляющегося угля.

На графиках представлены результаты исследований влияния увлажнения и охлаждения на химическую активность угля отдельно при разных температурах (рис. 2, 3).

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что снижение температуры угля значительно снижает химическую активность угля по отношению к кислороду. Так, при охлаждении с 25 до 0 °C химическая активность угля падает в 3–4 раза. Причем у сухого угля химическая активность падает более стремительно во времени, чем у влажного. У влажного

угля снижение химической активности происходит более равномерно.

Исходя из полученных результатов, можно рекомендовать производить профилактику процесса самовозгорания угля в выработанном пространстве шахт путем снижения температуры обрушенных угольных скоплений до значения 0 °С, при этом увлажняя их.

Таким образом, проведенные исследования показали, что снижение температуры угля способно уменьшить скорость сорбции кислорода углем в 3–10 раз. Поэтому предварительное охлаждение и увлажнение выработанного пространства со скоплениями разрыхленного угля инертными составами позволит предотвратить развитие процесса самовозгорания.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Охлаждение угольных скоплений резко замедляет процесс самонагревания и может остановить рост температуры угля. Поэтому для предупреждения эндогенных пожаров в шахтах можно снижать температуру теряемых скоплений угля [3].

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. Веселовский В.С. Научные основы борьбы с самовозгоранием углей. – М.: Наука, 1964. – 154 с.

2. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2014 году».

3. Луговцова Н.Ю., Портола В.А. Влияние предварительно охлажденного угля на развитие процесса самовозгорания [электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013 – № 6. – С. 1. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/113-10985.

4. Прогноз и профилактика эндогенных пожаров / В.С. Веселовский, Л.Н. Виноградова, Г.Н. Орлеанская и др. – М.: Наука, 1975. – 159 с.

5. Самовозгорание промышленных материалов / В.С Веселовский, Н.Д. Алексеева, Л.Н. Виноградова и др. – М.: Наука, 1964. – 148 с.

6. Физические основы самовозгорания угля и руд / Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского. – М.: Наука, 1972. – 148 с.