

УДК 622.822.2

## ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ШАХТАХ СОСТАВОВ НА СКЛОННОСТЬ УГЛЯ К САМОВОЗГОРАНИЮ

### A EFFECT OF COMPOUNDS USED IN MINES COAL PROPENSITY TO SPONTANEOUS COMBUSTION

Портола Вячеслав Алексеевич<sup>1</sup>,

докт. техн. наук, проф. E-mail: [portola2@yandex.ru](mailto:portola2@yandex.ru)

Portola Vyacheslav A.<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Engineering), Professor.

Храмцов Виктор Иванович<sup>2</sup>,

канд. техн. наук. E-mail: [hvi1949@mail.ru](mailto:hvi1949@mail.ru)

Khramtsov Viktor I.<sup>2</sup>, C. Sc. (Engineering).

Ярош Алексей Сергеевич<sup>3</sup>,

канд. техн. наук. E-mail: [89235205720@mail.ru](mailto:89235205720@mail.ru)

Yarosh Aleksey S.<sup>3</sup>, C. Sc. (Engineering).

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

<sup>1</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>2</sup>ООО Научно-исследовательский институт горноспасательного дела, 650044, Россия, г. Кемерово, ул. Рудгерса, 34.

<sup>2</sup>ООО Research Institute of Mine-Rescue, 34 street Rudgersa, Kemerovo, 650044, Russian Federation

<sup>3</sup>АО Научно-исследовательский институт горноспасательного дела, 650002, Россия, г. Кемерово, ул. Шахтеров, 14.

<sup>3</sup>АО Research Institute of Mine-Rescue, 14 street Shakhterov, Kemerovo, 650002, Russian Federation

**Аннотация.** Приведены результаты исследования влияния новых составов СПВУ и ПВЖ АПС на сорбционную активность угля к кислороду и длительность инкубационного периода самовозгорания. Установлено, что обработками новыми составами существенно замедляет процесс самовозгорания за счет увеличения влажности угля и снижения скорости сорбции кислорода.

**Abstract.** The results of studies of the effect of new formulations SPVU DRI and the MTA on the sorption of active carbon to oxygen and the duration of the incubation period of spontaneous combustion. It found that treatment with new compositions substantially slows the process of spontaneous combustion due to the increase and decrease coal moisture sorption velocity oxygen.

**Ключевые слова:** уголь, угольная пыль, скорость сорбции кислорода, процесс самовозгорания, шахта, инкубационный период самовозгорания.

**Keywords:** coal, coal dust, the rate of sorption of oxygen, the process of self-ignition of the Shah-one incubation period of spontaneous combustion.

Добыча угля подземным способом сопровождается опасностью возникновения ряда аварий, способных угрожать здоровью и жизни людей, наносить экономический ущерб угледобывающим предприятиям. К наиболее опасным авариям относятся взрывы, происходящие из-за выделения горючего газа из добываемого угля [1,2], а также образования угольной пыли. Существенный экономический ущерб шахтам наносят и пожары от самовозгорания угля. Анализ аварийности показывает, что в последние годы на шахтах наблюдается снижение количества регистрируемых аварий.

Одной из причин наблюдаемого снижения аварийности на угольных предприятиях является применение новых составов для предотвращения

опасных ситуаций. Так, шахтам предлагаются различные составы для смачивания угольной пыли [3], позволяющие предотвратить взрыв угольной пыли при воспламенении метана. Однако образующаяся в шахтах пыль опасна не только как компонент, резко увеличивающий мощность взрыва. Так сорбционная активность угольной пыли по отношению к кислороду может быть существенно больше, чем угля [4], что увеличивает опасность самовозгорания скоплений угольной пыли.

После применения специальных составов, обработанные скопления угольной пыли и угля оказываются в выработанном пространстве, где способны поглощать кислород из рудничной атмосферы. За счет выделяемого в процессе сорбции кислорода тепла возможен рост температуры

скопления и образование очагов самовозгорания. Учитывая повышенную опасность самовозгорания угольной пыли, необходимо оценить, как влияет на склонность угля к самовозгоранию обработка пыли специальными составами.

Проведенными исследованиями установлено, что склонность угля к самовозгоранию зависит от множества факторов [5-7], к наиболее значимым из которых относится скорость сорбции кислорода углем. С практической точки зрения важным параметром при оценке склонности угля к самовозгоранию является инкубационный период самовозгорания, представляющий время, необходимое для достижения скоплением угля критической температуры. Поэтому целью работы является исследование изменения скорости сорбции кислорода углем после его обработки предлагаемыми составами и длительности инкубационного периода самовозгорания.

В экспериментах использовали новые разработанные водные растворы:

- состав против возгорания угля (СПВУ- марки А);

- пылевязущая жидкостью с антипирогенными свойствами ПВЖ АПС (ГУ2480-055-54146467-2015).

Состав против возгорания угля (СПВУ – марки А (далее СПВУ)) предназначен для предотвращения самовозгорания полезных ископаемых. СПВУ состоит из магния хлористого, кальция хлористого, натрия хлористого, калия хлористого, калия углекислого, а также поверхностно-активных веществ и загустителя, растворенных в воде, прошедшей магнитную обработку.

Пылевязущая жидкость с антипирогенными свойствами (ПВЖ АПС) предназначена для связывания породной и угольной пыли с целью предотвращения повторного пыления. ПВЖ АПС представляет из себя комплекс кремнийорганических соединений, содержит неионогенные, анионоактивные ПАВ и ряд антикоррозионных добавок. Составом ПВЖ АПС можно обрабатывать уголь в шахтах, в местах добычи открытым способом, на складах под открытым небом, обочины дорог, по которым транспортируют уголь и другие места хранения и обработки угля, где требуется предотвратить повторное пыление.

Исследования скорости сорбции кислорода углем выполнены согласно методике, приведенной в [8]. Отобранные в шахте пробы угля измельчили до угольной мелочи с размером частиц 1-3 мм. Масса одной пробы угля составляла 80 г. Замеры показали, что начальная влажность угля равнялась 3,82 %. Для установления влияния исследуемых составов на скорость сорбции кислорода углем использовались следующие варианты обработки угля:

вариант № 1 - необработанный уголь;

вариант № 2 - уголь, обработанный дистиллированной водой;

вариант № 3 - уголь, обработанный водными растворами составов концентрацией 0,5 % масс.;

п вариант № 4 - уголь, обработанный водными растворами составов концентрацией 1,0 % масс.

Масса дистиллированной воды и приготовленных соответствующих водных растворов равнялась 15 г. В пробы угля вариантов №№ 2, 3, 4 добавлялись соответственно дистиллированная вода или водные растворы, после чего их тщательно перемешивали. Затем пробы помещали в герметично закрываемые сорбционные сосуды. Отобранные пробы выдерживались при температуре 25 °С. Через 24 часа из сорбционных сосудов отбирались пробы газа для определения в них содержания кислорода, углекислого газа и метана. Вычисление константы скорости сорбции кислорода углем производилось по формуле

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

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.

Полученные результаты исследования скорости сорбции кислорода углем через 24 часа (табл.1) показывают, что снижение скорости сорбции проб раздробленного угля происходит после обработки дистиллированной водой и растворами СПВУ и ПВЖ АПС. Образующийся на поверхности угля слой жидкости препятствует проникновению кислорода к активным центрам.

Следующий отбор проб газа произошел через 48 часов после начала эксперимента (табл. 2).

Анализ результатов, приведенных в табл. 2 показывает, что скорость сорбции проб угля, обработанных растворами СПВУ и ПВЖ АПС, остается существенно ниже, чем у проб угля, не обработанных растворами.

Следующий отбор проб осуществлен через 169 часов. Результаты исследования приведены в табл. 3. Здесь видно, что сорбционная активность по отношению к кислороду является минимальной у проб угля, обработанных растворами СПВУ и ПВЖ АПС.

Средняя скорость сорбции кислорода пробами угля за весь период наблюдений приведена в табл. 4.

Приведенные результаты показывают, что водные растворы СПВУ и ПВЖ АПС существенно снижают сорбционную активность исследованного угля по отношению к кислороду. Наименьшая скорость сорбции кислорода углем зафиксирована после обработки угля водным 0,5 % раствором СПВУ и 1,0 % раствором ПВЖ АПС. Скорость сорбции кислорода уменьшилась после обработки составом СПВУ в 1,31 раз, а составом ПВЖ АПС 1,39 раза.

Таблица 1. Скорость сорбции углем через 24 часа

Вид обработки	Концентрация O <sub>2</sub> , % об.	Концентрация CO <sub>2</sub> , % об.	Концентрация метана, % об.	Удельная скорость сорбции (U), см <sup>3</sup> /г.ч
необработан	14,20	0,20	14,95	0,0710
водой	14,50	0,2	14,50	0,0545
0,5% СПВУ	14,70	0,2	13,00	0,0557
1,0% СПВУ	14,50	0,2	13,50	0,0578
0,5% ПВЖ АПС	16,20	0,2	9,00	0,0491
1,0% ПВЖ АПС	16,30	0,2	8,30	0,0423

Таблица 2. Скорость сорбции углем через 48 часов

Вид обработки	Концентрация O <sub>2</sub> , % об.	Концентрация CO <sub>2</sub> , % об.	Концентрация метана, %об.	Удельная скорость сорбции (U), см <sup>3</sup> /г.ч
необработан	16,90	0,20	6,25	0,0473
водой	17,00	0,10	6,00	0,0382
0,5% СПВУ	17,10	0,2	5,70	0,0376
1,0% СПВУ	17,00	0,2	6,00	0,0383
0,5% ПВЖ АПС	17,30	0,2	5,10	0,0368
1,0% ПВЖ АПС	17,40	0,2	5,00	0,0347

Таблица № 3. Скорость сорбции углем через 169 часов

Вид обработки	Концентрация O <sub>2</sub> , % об.	Концентрация CO <sub>2</sub> , % об.	Концентрация метана, %об.	Удельная скорость сорбции (U), см <sup>3</sup> /г.ч
необработан	11,90	0,20	9,00	0,0365
водой	12,10	0,2	8,10	0,0294
0,5% СПВУ	12,60	0,3	8,00	0,0273
1,0% СПВУ	12,30	0,3	8,30	0,0286
0,5% ПВЖ АПС	12,70	0,3	7,70	0,0274
1,0% ПВЖ АПС	12,80	0,3	7,90	0,0262

Таблица 4. Средняя скорость сорбции проб угля

Вид обработки	Удельная скорость сорбции (U), см <sup>3</sup> /г.ч				U <sub>ср</sub>
	Время от начала сорбции, час				
	50	100	200	250	
необработан	0,0474	0,0415	0,0340	0,0300	0,0381
водой	0,0380	0,0355	0,0273	0,0239	0,0307
0,5% СПВУ	0,0374	0,0321	0,0254	0,0223	0,0291
1,0% СПВУ	0,0381	0,0331	0,0261	0,0222	0,0299
0,5% ПВЖ АПС	0,0363	0,0315	0,0256	0,0229	0,0289
1,0% ПВЖ АПС	0,0343	0,0299	0,0242	0,0213	0,0274

Более существенное значение для оценки опасности самовозгорания имеет длительность инкубационного периода самовозгорания. Поэтому были проведены расчеты длительности инкубационного периода для скоплений обычного угля и угля, обработанного водными растворами СПВУ и ПВЖ АПС.

Длительность инкубационного периода самовозгорания угля (в сутках), согласно «Инструкции по определению инкубационного периода самовозгорания угля» [9], определяли по формуле

$$\tau_{инк} = \frac{C(T_k - T_0) + 0.6jW + q_d X}{24\alpha K^{0.45} C_o q_o} \quad (2)$$

где  $C$  – теплоемкость угля, кал/(г·К);  $T_k$  – критическая температура самовозгорания угля, принимается равной 90 °С;  $T_0$  – начальная температура угля, принимается равной 20 °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;  $\alpha$  – коэффициент усвоения кислорода возду-

ха;  $K$  – 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.

Эксперименты показали, что влажность проб угля, обработанных водными растворами СПВУ и ПВЖ АПС, возросла до 19,1 %. В расчетах принято, что природная газоносность угля для всех проб одинаковая и равна 10 мл/г.

Расчеты по формуле (2) показали, что длительность инкубационного периода самовозгорания исследуемого угля составляет 73 суток. После обработки угля 0,5 % водным раствором СПВУ-марки А длительность инкубационного периода возросла до 196 суток, что в 2,68 раза превышает

начальное значение. Обработка угля 1,0 % водным раствором ПВЖ АПС увеличила длительность инкубационного периода самовозгорания до 201 суток, что в 2,75 раза превышает начальное значение.

Таким образом, проведенные исследования показали, что водные растворы СПВУ- марки А и ПВЖ АПС могут использоваться в качестве антипирогенов, замедляющих процесс самовозгорания обработанных скоплений угля. Основными факторами, способствующими увеличению длительности инкубационного периода самовозгорания угля, является снижение скорости сорбции кислорода и увеличение влажности угля после обработки исследуемыми составами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко Л.А. Анализ газовых балансов выемочных полей шахт // Л.А. Шевченко, В.А. Ковалев / Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 4. – С. 61-63.
2. Шинкевич, М.В. Научно-техническая основа прогноза и управления метанообильностью подземных горных работ / М.В. Шинкевич, М.С. Плаксин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2014 – № 2. – С. 22 – 26.
3. Эффективность применения поверхностно-активных веществ для борьбы с угольной пылью. Коршунов Г.И., Мазаник Е.В., Ерзин А.Х., Корнев А.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 53. – С. 55-61.
4. Портола В.А. Опасность самовозгорания угольной пыли // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 6. – С. 36–39.
5. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары. – М.: Углетехиздат, 1954. – 387 с.
6. Линденау Н.И., Маевская В.М., Крылов В.Ф. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров. – М.: Недра, 1977. – 319 с.
7. Портола В.А. Оценка влияния некоторых факторов на процесс самовозгорания угля. // ФТПРПИ. – 1996. – № 3. – С. 61-68.
8. Физические основы самовозгорания угля и руд/ В.С. Веселовский, Л.Н. Виноградова, Г.Н. Орлеанская и др. — М.: Наука, 1972. — 148 с.
9. 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.

### REFERENCES

1. Shevchenko L.A. Analiz gazovyx balansov vyemochnykh poley shakht / L.A. Shevchenko, V.A. Kovalev // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. – Kemerovo, 2012 – № 4 – S. 61 – 63.
2. Shinkevich, M.V. Nauchno-tehnicheskaja osnova prognoza i upravlenija metanoobil'nost'ju podzemnyh gornyh rabot / M.V. Shinkevich, M.S. Plaksin // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. – Kemerovo, 2014 – № 2 – S. 22 – 26.
3. Effektivnost primeneniya poverkhnostno-aktivnykh veshestv dlya borby s ugolnoy pyl'iu / Korshunov G.I., Mazanik E.V., Erzin A.KH., Kornev A.V. // Gornyy informazionno-analicheskij diulleten. – 2014. – № 53. – S. 55-61.
4. Portola V.A. Opasnost samovozgoraniya ugolnoy pyli // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 2015. – № 6. – S. 36-39.
5. Skochinskij A.A., Ogievskij V.M. Rudnichnye pozhary. – M.: Ugletehizdat, 1954. – 387 s.
6. Lindenau N.I., Maevskaja V.M., Krylov V.F. Proishozhdenie, profilaktika i tushenie jendogennyh pozharov. – M.: Nedra, 1977. – 319 s.
7. Portola V.A. Ozenka vliyaniya nekotorykh faktorov na prozess samovozgoraniya uglja // FTPI. – 1996. – № 3. – S. 61-68.
8. Fizicheskie osnovy samovozgoraniya uglja i rud/ V.S. Veselovskij, L.N. Vinogradova, G.N. Orleanskaja i dr. — M.: Nauka, 1972. — 148 s.
9. Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti “Instrukziya po opredeleniiu inkubazionnogo perioda samovozgoraniya uglja”. Seriya 05. Vypusk 38. – M., 2013. – 24 s.

Поступило в редакцию 4.02.2016  
Received 4 February 2016

УДК 622.831.325.3

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНОГО МАССИВА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ СКВАЖИНЫ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

### MATHEMATICAL MODELING GASDYNAMICALLY STATE COAL SOLID IN ZONE BOREHOLE IN THE DRILLING PROCESS

**Шевченко Леонид Андреевич<sup>1</sup>**

д.т.н., профессор, e-mail [aotp2012@yandex.ru](mailto:aotp2012@yandex.ru)

**Shevchenko Leonid A.<sup>1</sup>**, D.Sc. (Engineering), Professor

**Ткаченко Дмитрий Александрович<sup>1</sup>**

аспирант, e-mail [aotp2012@yandex.ru](mailto:aotp2012@yandex.ru)

**Tkachenko Dmitry A.<sup>1</sup>**, graduate student

**Астраков Сергей Николаевич,**

ведущий научный сотрудник КТИ ВТ СО РАН, e-mail [astrakov90@gmail.com](mailto:astrakov90@gmail.com)/

**Astrakov Sergey N.**, Leading Researcher KTI VT SO RAN

<sup>1</sup>Сибирский институт геотехнических исследований, 653000, Россия, Кемеровская область, г. Прокопьевск, ул. К.Либкнехта, 4

<sup>1</sup> Siberian Institute of Geotechnical Investigations, 4 street Karl Liebknecht, Prokopyevsk, 653000, Russian Federation

**Аннотация.** Рассматривается решение задачи формирования поля газового давления вокруг скважины по мере ее внедрения в массив. Предлагается математическая модель газовыделения в скважину через поверхности обнажения как функция времени и длины.

**Abstract.** We consider the problem of formation of the gas field pressure around the well as its introduction to the array. A mathematical model of gas into the well through the surface as a function of exposure time and length.

**Ключевые слова:** угольный пласт, скважина, метан, газовыделение, дегазация, бурение.

**Keywords:** coal seam, well, the methane gas emission, degassing of drilling.

Угольные месторождения, как известно, представляют собой двухфазную субстанцию в виде угля и газа, которые связаны прочной химической связью под большим давлением, сохраняющейся длительное время. Разрыв этой связи является необходимым условием выхода газа из пласта, для чего требуется создать дополнительные поверхности обнажения угольного массива или снизить в нем газовое давление в целом. Одним из способов создания искусственных поверхностей внутри угольных пластов является бурение дегазационных скважин, в результате чего создается перепад давления между скважиной и массивом, способствующий десорбции метана из угля.

Несмотря на достаточно большое количество исследований в области фильтрации газа через трещинато-пористые среды как в классической, так и в прикладной постановке [1, 2, 3], детально картина газоотдачи угольного массива в зоне бурения скважины до сих пор остается исследованной не до конца. Особую актуальность это приобрело в последнее время, когда дегазация угольных пластов до начала их разработки стала обязательной процедурой в соответствии с Федеральным законом № 186 ФЗ от 07.06.2010 «О внесении изменений в статьи 1 и 14 Федерального закона «О государственном регулировании в области добычи и использования угля, об особенностях социальной защиты работников организаций угольной промышленности» и отдельные законодательные акты РФ.

Одним из основных положений данного федерального решения является выполнение нормативного значения остаточной газоносности пласта к моменту начала его разработки, для чего требуется обеспечить удаление избыточного газосодержания массива, замеренное на стадии геологической разведки. Решение этой задачи невозможно без разработки методики расчета дебита скважин, в основе которой лежит моделирование процессов газоотдачи прискважинного массива, обусловленной перепадом давлений на контурах питания и стока.

Ввиду невозможности обеспечить экспериментальные исследования изменения газодинамического состояния массива вокруг скважины в зоне ее влияния в природных условиях воспользуемся возможностями математического моделирования этих процессов, при котором в качестве контрольных точек будут использоваться некоторые экспериментальные данные, обеспечивающие привязку к реальным параметрам конкретного объекта (скважины).

В Кузбассе с 2012 года применяется бурение скважин длиной до 1000 м станками направленного бурения VLD-1000А по так называемой австралийской технологии (шахта им. С.М. Кирова ОАО СУЭК Кузбасс). При бурении таких скважин происходит неравномерное газовое дренирование массива по длине скважины, а также во времени. Анализ экспериментальных кривых газовыделения из восьми скважин, по которым прово-