шается рентабельность (рис. 2 б).

При глубинах 40-50 м рентабельность высокая 70-110%, а при глубине 60-70 м рентабельность снижается до 40-50%, но при этом уровень её остается достаточный для разработки залежи.

Рекомендуемая глубина отработки при применении одного комплекса оборудования до 70-80 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Е.В.Курехин*. К вопросу комплектации выемочно-погрузоного оборудования для разработки наклонных месторождений малыми разрезами. Образование, наука, инновации. Материалы I Региональной научно-практ. конф. г. Междуреченск, 28 апреля 2010 г.: изд-во филиала ГУ КузГТУ, 2010 . – 513 с.

2. Угольная база России. Том II. Угольные бассейны месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский, бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). – М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. – 604 с.

3. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. Челябинск. 1994 г. 350 с.

4. *К.Н.Трубецкой, Г.Л.Краснянский, В.В.Хронин.* Проектирование карьеров:Учеб. для вузов: В 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Академии горных наук, 2001. – Т. I. – 519 с.: ил.

5. *П.И.Томаков, И.К.Наумов.* Технология, механизация и организация открытых горных работ: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Изд-во Моск. Горного ин-та, 1992. - 464 с.

6. *Л.В. Донцова.* Анализ финансовой отчетности: учебник/Л.В.Донцова, Н.А. Никифорова. – 6-е изд., перераб. и доп. – М: Издательство «Дело и Сервис», 2008. – 368 с.

Автор статьи:
Курехин
Евгений Владимирович
– канд. техн. наук, доц. каф. «Открытые горные работы» КузГТУ.
e-mail: kev.ormpi@kuzstu.ru

УДК 622. 822

С.А. Син

КОМПЕНСАЦИЯ АКТИВИРУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ НА ЭНДОГЕННУЮ ПОЖАРООПАСНОСТЬ ВЫЕМОЧНЫХ ПОЛЕЙ

Пожары возникают и развиваются при совместной реализации трёх обязательных условий: наличии горючего материала, возникновении теплового импульса и способности окружающей среды поддерживать горение. По тепловому импульсу подземные пожары подразделяются на экзогенные и эндогенные. Последние обусловлены самовозгоранием угля.

Современная научная теория рассматривает самовозгорание угля как сложный химический процесс, протекающий в определённых физических условиях [1]. В основу создания теплового импульса при этом положена химическая реакция соединения кислорода с углеродом на поверхности угольных пор, которая протекает с выделением тепла.

Согласно данной теории основным соотношением, которое управляет самовозгоранием, служит тепловой баланс скопления угля. Его приходная статья определяется объёмом, удельной теплотой, константой скорости сорбции и концентрацией кислорода. Соответственно этому научные исследования и практические работы в области профилактики эндогенных пожаров развиваются по трём основным направлениям:

- совершенствование систем разработки и технологии выемки угля с целью минимизации его потерь;
- изыскание антипирогенов, уменьшающих сорбционную активность угля;
- уменьшение воздухопроницаемости изолирующих сооружений и выработанных пространств до величин, обеспечивающих создание и поддержание в отработанной части пласта пожаробезопасной концентрации кислорода.

Специфика разработки мощных пластов и фактическая эндогенная пожароопасность шахт Кузбасса (80 % самовозгораний угля в выработанном пространстве действующих и отработанных выемочных полей) привели к концентрации исследований, а также средств и объёмов профилактических работ на третьем направлении. Эффективность профилактики в этом случае достигалась за счёт сокращения утечек воздуха, накопления метана и нагнетания инертного газа и инертных пен [2].

Таблица 1.Влияние фракционного состава угля на его химическую активность

Фракция угля и пыли, мм	Удельная скорость сорбции, $см^3/г·ч$			
	Время от начала сорбции, ч			
	23	68	159	261
3,0 – 1,0	0,1198	0,0558	0,0225	0,0169
0,6 – 0,4	0,2199/	0,0877	0,0534	0,0367
0,4 – 0,2	0,2372	0,0882	0,0555	0/0412
0,2 – 0,05	0,2086	0,0963	0,0574	0,0469

Таблица 2. К оценке влияния фракции угля на параметры K_{25} и $K_{t_{КР}}$

Фракция угля, мм	Константа скорости сорбции,$см^3/г·ч$		
	t_0 =25^{0}C	$t_{КР}$ =101-103^{0}C	$t_{25-t_{КР}}$
3,0 – 1,0	0,0175	1,9	0,4
0,4 – 0,2	0.0431	2,5	0,6

Переход на рыночные отношения потребовал концентрации горных работ с обеспечением высокой производительности и роста добычи в Кузбассе. Преодоление газового барьера в этих условиях обеспечивалось внедрением схем проветривания выемочных участков с отводом метана по выработанному пространству с помощью газоотсасывающих установок производительностью до 1000 $м^3$/мин и более. В 2002г. по этим схемам работали 25 лав.

Реализация новых схем привела к увеличению эндогенной пожароопасности за счёт проветривания выработанного пространства и складирования угольной пыли на пути движения метановоздушной смеси (МВС). Иллюстрацией этому служит эндогенный пожар, возникший в выработанном пространстве лавы 18-21 пласта Толмачёвского на шахте «Полысаевская».

Пласт имеет среднюю мощность 2,14 м при угле падения в контуре лавы 8-15 град. Случаев самовозгорания на данном пласте не было. Проектная нагрузка на лаву 2400 т/сут. Общая добыча комплексом КМ-138/2 с 25 августа 2000 г. по 27 августа 2001 г. составила 900 тыс. тонн. Скорость отработки лавы достигла 190 м/мес при нулевых потерях по мощности пласта.

Эндогенный пожар был обнаружен 19 сентября 2001 г. по наличию оксида углерода и водорода в газоотсасывающих скважинах, пробуренных непосредственно в выработанное пространство лавы. Очистная выемка к этому времени была завершена, и комплекс подготовлен для демонтажа.

Пласт Толмачёвский не относится к категории склонных к самовозгоранию. Комиссия, расследовавшая пожар, установила, что причиной возникновения эндогенного пожара явилось наличие угольной пыли в отработанной части пласта. Утечки воздуха в выработанное пространство при работе газоотсасывающего вентилятора ВМЦГ-7М составляли 200 м3/мин. Фактическая запылённость воздуха в 15 м выше комбайна при его работе находилась на уровне 325 мг/$м^3$. При трёхсменной работе по выемке угля, продолжительности смены 6 ч и коэффициенте работы комбайна 0,45 масса угольной пыли, выносимая утечками воздуха в выработанное пространство, достигала в течение суток 31,6 кг. Общая масса пыли, отложившейся на пути утечек воздуха в течение года, превысила 11 т. Для отдельных лав в Кузбассе она достигает 30 т в год.

Негативное влияние пыли на эндогенную пожароопасность обусловлено несколькими факторами. Очевидным из них является повышение сорбционной активности за счёт увеличения поверхности частиц угля при его измельчении до пылевидного состояния.

Влияние этого фактора на приходную статью теплового баланса при самонагревании угля оценивалась путём сравнения удельной скорости сорбции ($см^3$/г·ч) угольной мелочи фракции (-3+1) мм и угольной пыли фракции от 600 до 50 мкм. Исследования выполнены по методике ИГД им. А.А. Скочинского [1] с углём марки ДГ пласта 67 шахты «Талдинская-Западная-1». Условия провидения опытов: навеска угля и пыли – 80 г; объём сорбционного сосуда – 630 $см^3$; продувка атмосферным воздухом в течение 5 мин со скоростью 1,3 $дм^3$/мин после каждого набора газовых проб. Результаты исследований приведены в табл. 1.

По данным табл. 1 очевидно, что при низкотемпературном окислении удельная скорость сорбции кислорода угольной пылью фракции 50 – 600 мкм более чем в 2 раза превышает таковую для угольных частиц фракции 1–3 мм. Поэтому в условиях комбинированного проветривания пыль, отлагаясь в зонах отжима угля вдоль оконтуривающих лаву целиков, активирует процесс его самонагревания.

Согласно п. 6.2 «Инструкции…» [3] допускается проветривание выемочных столбов по комбинированной схеме на отстающую сбоку (скважину), если время движения МВС не превышает инкубационный период самовозгорания. Для определения инкубационного периода в наиболее опасных условиях адиабатического процесса в работе [4] предложена зависимость:

$$\tau = \frac{C_m (t_{кр} - t_0) + 0{,}01 \cdot W_p \cdot \lambda + \mu \cdot u'}{24 \cdot \alpha \cdot K_{25-t_{КР}} \cdot C_{O_2} u}, \quad (1)$$

где C_m -средняя теплоёмкость угля в интервале температур (t_0 -$t_{кр}$) ; W_p - рабочая влажность угля; λ - скрытая теплота испарения воды; μ - природная газоносность угля; u' - теплота десорбции метана; t_0 - температура угля в массиве; $t_{кр}$ - критическая температура самовозгорания; α - коэффициент пропорциональности; $K_{25-t_{КР}}$ - среднее значение константы скорости сорбции кислорода при температуре от 25^{0}С до $t_{кр}$; C_{ot} - концентрация кислорода; u - теплота сорбции кислорода.

Критическая температура самонагревания угля – это та температура, выше которой резко возрастает скорость его окисления и процесс быстро переходит в стадию возгорания. У углей Кузбасса её значение находится в пределах 80 – 100^{0}С.

Приведённая зависимость позволяет оценить негативное влияние угольной пыли на инкубационный период самовозгорания и определить пределы его регулирования за счёт инертизации. Исследования выполнялись по методике ОАО «НИИГД», изложенной в работе [2], результаты приведены в табл. 2. Среднее значение константы скорости сорбции в интервале температур (25-$t_{кр}$) ^{0}С определялось как:

$$K_{25+t_{КР}} = \frac{K_{t_{КР}} - K_{25}}{2{,}3 \cdot \lg \frac{K_{t_{КР}}}{K_{25}}}. \quad (2)$$

После подстановки средних значений константы скорости сорбции кислорода при температурах от 25^{0}С до $t_{кр}$ в формулу (1) можно сделать вывод о том, что примесь угольной пыли фракции 200 – 400 мкм в скоплении угля сокращает его инкубационный период до 1.5 раза (при полном замещении).

В качестве профилактической меры, компенсирующей негативное влияние угольной пыли на инкубационный период целесообразно применять инертизацию скоплений угля на пути движения МВС путём нагнетания в пожароопасные зоны газообразного азота. При уменьшении концентрации кислорода до 10 и 3 % инкубационный период, согласно (1), увеличивается соответственно в 2 и 7 раз. Поддержание концентрации кислорода на уровне 13.9 % компенсирует увеличение константы скорости сорбции кислорода при измельчении угля до фракции 200 – 400 мкм, отмеченное в табл. 2.

Осевшая в отработанной части лавы угольная пыль находится в состоянии аэрогеля. Образование волн сжатия при обрушении кровли переводит пыль в состояние аэрозоля, который по своим свойствам более пожароопасен, чем аэрогель. Например 500 г угля в кусках сгорает в течение нескольких минут. Та же масса угольной пыли за счёт высокой химической активности сгорает за доли секунды [5].

Из изложенного следует, что для компенсирования негативного влияния угольной пыли на эндогенную пожароопасность на ряду с объектной инертизацией её скоплений на пути движения МВС необходимо применение антипирогенов, позволяющих снижать химическую активность и одновременно исключать переход её в состояние аэрозоля за счёт связывания на поверхности оседания. К числу таких антипирогенов относятся растворы поверхностно-активных веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веселовский В.С., Алексеева Н.Д., Виноградова Л.П., и др.* Самовозгорание промышленных материалов. - М.: Наука, - 1964, - 246 с.

2. *Игишев В.Г.* Борьба с самовозгоранием угля в шахтах.- М.: Недра.1987. - 177 с.

3. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков угольных шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок.- М.- 2009, - 102 с.

4. *Альперович В.Я., Чунту Г.И., Пашковский П.С. и др.* Инкубационный период самовозгорания углей. Безопасность труда в промышленности. – 1973,- № 9.- с. 43–44.

5. *Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П.* Горение и свойства горных веществ.- М.: Химия.- 1981.- 272 с.

Автор статьи:

Син
Сергей Александрович
- генеральный директор
ООО «Азот сервис»
Тел. (3842)-58-15-74.