



С. П. ГРЕКОВ,
доктор техн. наук
(НИИГД «Респиратор»)



А. А. ВСЯКИЙ,
инж.
(НИИГД «Респиратор»)

Согласно общепринятому мнению специалистов, присутствие в угле серы способствует его самовозгоранию. В НИИГД «Респиратор» влияние серы на эндогенную пожароопасность изучали статистическим методом по результатам анализа случившихся за определенный период эндогенных пожаров углей с различной долей в них серы. Результаты исследований изложены в нормативном документе [1] по тушению эндогенных пожаров.

Анализируя выражение для определения вероятности возникновения пожара при некоторых средних параметрах окисления угля [1], можно сделать вывод, что при увеличении содержания в угле от 1 до 6 % серы вероятность пожара возрастает более чем в 3 раза. Таким образом, один и тот же угольный пласт в пределах шахтного поля

Влияние содержания серы в углях на вероятность их самовозгорания

На основании физических предпосылок самонагревания и лабораторных исследований химической активности угля предложен метод учета влияния серы на вероятность его самовозгорания.

Ключевые слова: самовозгорание, пожар, химическая активность, сера, вероятность, интенсивность, теплоотдача.

Контактная информация: obep.niigd@list.ru

можно отнести к разным группам пожароопасности. Не сомневаясь в полученных статистическим методом результатах, попытаемся выяснить влияние серы на эндогенную пожароопасность исходя из физических предпосылок самовозгорания угля [2].

Цель работы – установление зависимости вероятности возникновения самовозгорания угля от содержания в нем серы на основании физической модели самонагревания угля и экспериментальных исследований в лабораторных условиях. Для этого примем [3], что вероятность возникновения пожара определяют из показателя интенсивности его возникновения. Эта обратная величина комплексного критерия пожароопасности выражается зависимостью [1]

$$\lambda_p = \frac{0,3\varphi m(1+1,15\sin\alpha) \left[1+14(S/100) - (1,8 \cdot 10^{-4}/k) \right]}{1+\varphi m \sqrt{v_n} / (1+0,02v_n)}, \quad (1)$$

где φ – признак геологического нарушения,

$$\varphi = \begin{cases} 0,1 - \text{в случае отсутствия геологических нарушений;} \\ a_n - \text{безразмерная величина, численно равная амплитуде} \\ \text{нарушения, } m \text{ (не более мощности пласта);} \end{cases}$$

m – мощность разрабатываемого пласта, м;

α – угол падения пласта, ...°;

S – доля в угле серы, %;

v_n – скорость подвигания очистного забоя, м/мес.

Вероятность возникновения пожара

$$P = 1 - e^{-\lambda_p t}, \quad (2)$$

где t – время отработки выемочного участка, мес.

Для исследований подбирали угли одного и того же пласта, но расположенные на отдельных шахтных полях с разным содержанием в них серы. В экспериментах с различными углями доля серы составляла от 2 до 5,3 %, а константы k скоростей химических реакций – от $3 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ до $20 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Испытывали угли пяти пластов Донбасса шахт «Северная», «Торецкая», «Новодзержинская», им. Ф. Э. Дзержинского и им. В. И. Ленина.

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

Значения основных факторов, определяющих склонность углей к самовозгоранию (их химическая активность и доля серы, а также интенсивность λ_p и вероятность возникновения пожаров P , рассчитанные предлагаемыми зависимостями, и ранее приведенные $\lambda_{ст}$, $P_{ст}$, полученные статистическим методом), представлены в таблице.

Определяли константу скорости химической реакции углей, включающую ее увеличение за счет различного содержания серы. Чтобы выявить влияние присутствия в угле серы, находили разницу в химической активности углей Δk , c^{-1} , образцов одного и того же пласта, но с разным содержанием серы S , %, и изучали зависимость этой величины

от доли в угле серы. Результаты экспериментальных исследований по пяти пластам показаны на рис. 1.

Зависимость Δk от S имеет вид

$$\Delta k = 2 \cdot 10^{-5} S^{2,5}. \quad (3)$$

Анализ данных о характеристиках угля (см. таблицу) показывает, что, судя по содержанию в них горючих V^r , их марка и, вероятно, петрографический состав не сильно отличаются один от другого. Кроме того, мощность пластов m и скорость продвижения линии очистного забоя $v_{п}$ также отличаются незначительно. Это в совокупности с полученной зависимостью (3) химической активности от содер-

Шахта	Символ пласта	V^r , %	m , м	S , %	$k \cdot 10^4$, c^{-1}	α , ... °	$v_{п}$, м/мес	λ_p	$\lambda_{ст}$	P	$P_{ст}$
<i>ГП «Дзержинскуголь»</i>											
«Северная»	l_3	33,7	1,17	5,3	19,0	53	15	0,079	0,090	0,61	0,66
	l_2^1	32,6	0,87	4,0	3,1	53	17	0,037	0,052	0,36	0,47
	l_5	29,3	0,67	5,4	9,7	51	14	0,049	0,073	0,44	0,58
	l_7^B	31,7	1,00	4,5	10,1	51	16	0,061	0,074	0,52	0,59
«Торецкая»	l_3	34,5	1,26	4,3	20,6	43	5,6	0,080	0,086	0,62	0,64
	l_2^1	35,2	1,12	4,6	9,7	22	8,5	0,054	0,063	0,48	0,53
	l_5	35,5	0,65	5,0	11,2	43	6,3	0,046	0,070	0,43	0,57
	l_7^B	35,3	0,82	2,0	6,0	25	11,6	0,029	0,030	0,29	0,30
	m_3	35,9	0,80	4,2	4,8	25	10,5	0,035	0,045	0,34	0,42
«Новодзержинская»	l_3	32,2	1,64	3,5	12,7	28	16,0	0,065	0,069	0,54	0,57
	l_2^1	34,1	1,08	2,8	6,2	27	23,5	0,038	0,036	0,37	0,35
	l_5	35,0	0,69	3,9	5,3	26	16,5	0,030	0,036	0,30	0,35
	l_7^B	33,8	1,00	3,5	10,1	22	27,0	0,040	0,037	0,38	0,36
	m_3	32,1	0,90	1,4	2,8	23	27,5	0,016	0,001	0,17	0,01
Им. Ф. Э. Дзержинского	l_3	30,2	1,00	3,0	17,5	62	18	0,058	0,070	0,50	0,57
	l_2^1	33,3	1,05	5,8	14,2	62	20	0,077	0,092	0,60	0,67
	l_5	31,1	0,60	5,1	3,1	62	14	0,034	0,062	0,34	0,53
	l_7^B	30,3	1,15	2,8	8,0	62	18	0,057	0,069	0,50	0,56
	m_3	30,9	1,90	1,6	2,2	62	30	0,026	0,058	0,26	0,50
<i>ГП «Артемуголь»</i>											
Им. В. И. Ленина	l_3	29,1	1,30	3,8	11,0	45	20	0,065	0,070	0,54	0,57
	l_2^1	27,6	1,05	4,4	9,0	48	15	0,061	0,072	0,52	0,58
	l_5	27,8	0,49	4,8	2,9	43	16	0,028	0,053	0,28	0,47
	l_7^B	28,9	0,79	2,0	7,2	45	20	0,034	0,038	0,34	0,36
	m_3	28,7	1,11	0,8	3,0	44	10	0,023	0,032	0,24	0,32

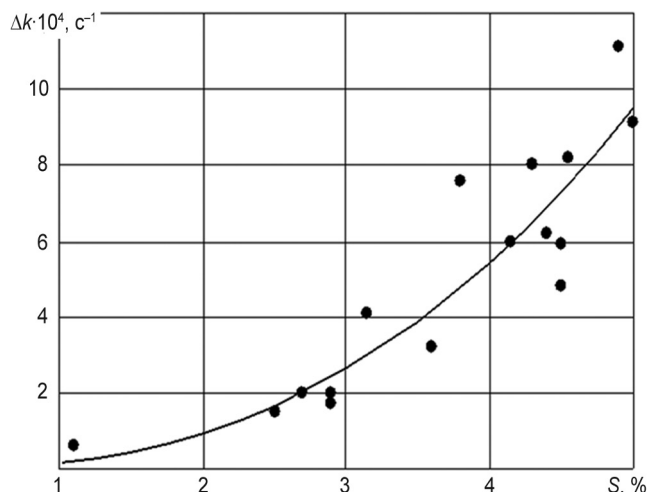


Рис. 1. Влияние содержания в углях серы S на увеличение скорости химических реакций окисления угля Δk .

жания в углях серы позволяет считать, что интенсивность возникновения пожаров определяется главным образом химической активностью угля, зависящей от содержания в нем серы.

В связи с этим формулу (1) можно скорректировать, подставив вместо k выражение

$$\Delta k_y = k|_{S=0} + \Delta k, \quad (4)$$

а для пластов, приведенных в таблице,

$$\Delta k_y = 3 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-5} S^{2,5}, \quad (5)$$

где Δk_y – константа скорости химической реакции с учетом содержания серы, c^{-1} .

На рис. 2 представлены вычисленные по зависимости (1) интенсивности возникновения пожаров λ_p как функции содержания в них серы для каждого из пластов. Результаты вычислений сведены в таблицу. В этой же таблице даны для сравнения значения интенсивностей возникновения пожара $\lambda_{ст}$ [4] для рассматриваемых углей на основании расчетных зависимостей, полученных статистическими методами.

Довольно близкие значения интенсивности возникновения пожаров, найденные по обоим методам, свидетельствует о достоверности приведенного метода. Преимущество предлагаемого метода в том, что он позволяет прогнозировать увеличение пожарной опасности пласта в случае изменения условий разработки либо увеличения содержания в углях серы, что автоматически ведет к повышению химической активности углей.

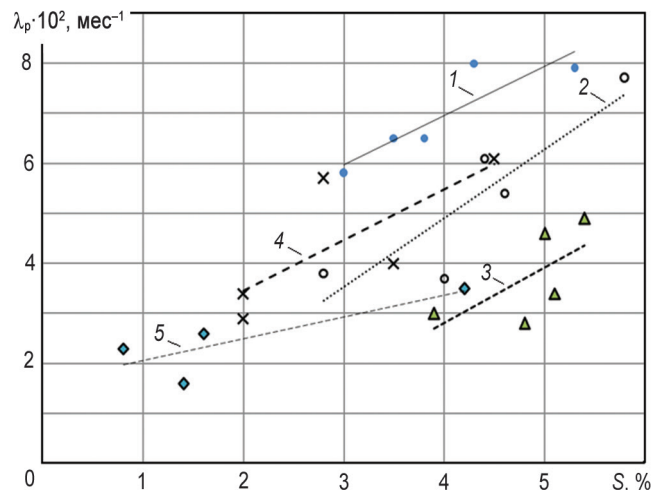


Рис. 2. Интенсивность возникновения пожаров λ_p в зависимости от содержания в углях серы S для разных пластов Донбасса: 1–5 – l_3 ; l_2^1 ; l_5 ; l_6^1 ; m_3 .

Анализируя представленные данные, приходим к выводу, что для каждого пласта четко отмечается связь интенсивности возникновения пожаров от содержания в них серы, причем во всех случаях она возрастает при увеличении серы. Разность в углах наклона кривых $\lambda_p = f(S)$ – из-за некоторого различия скоростей подвигания линии очистного забоя и угла залегания угольных пластов на разных шахтных полях.

Зависимость λ_p , $мес^{-1}$, от S , %, по данным для четырех шахт, имеет вид

$$\lambda_p = 0,01e^{0,35S}. \quad (6)$$

Вероятности возникновения пожаров P в зависимости от содержания в углях серы S , %, для каждого из изучаемых пластов, учитывая небольшой интервал ее изменения, могут быть аппроксимированы прямыми линиями. Все линии имеют примерно одинаковый угол наклона, что свидетельствует о четкой и устойчивой связи P_p с S для разных пластов. Численные вероятности для каждого пласта имеют свои значения, что обусловлено разными химическими активностями углей, углами залегания пластов и скоростей подвигания линии очистного забоя.

Для анализа возможного влияния содержания серы в углях на изменение их группы пожароопасности построена по пяти пластам зависимость вероятности P от S в виде

$$P = 0,78e^{-0,08S}. \quad (7)$$

Анализ данных, представленных на рис. 3 и формулой (7), показывает, что один и тот же пласт по

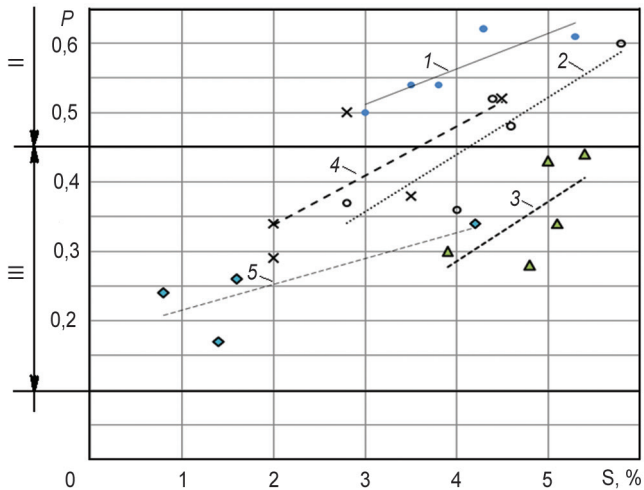


Рис. 3. Вероятность возникновения пожаров P в зависимости от содержания в углях серы S : II и III – группы эндогенной пожароопасности: 1–5 – l_3 ; l_2^1 ; l_5 ; l_7^2 ; m_3 .

мере его отработки в зависимости от содержания серы может менять группу пожароопасности (в приведенных экспериментах с III на II).

Выводы. Проведенные исследования подтверждают необходимость ведения шахтами текущего

прогноза эндогенной пожароопасности, предусмотренного руководящими нормативными документами, но не всегда осуществляемого на практике угледобывающими предприятиями Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Определение группы эндогенной пожароопасности шахтопласта (выемочного участка). Методика расчета.* – Донецк, 2008. – 5 с.
2. Греков С. П. Моделирование теплообменных процессов в самовозгорающихся двухфазных средах методом прямых / С. П. Греков, И. Н. Зинченко, Г. Б. Тында // Вестн. Харьк. нац. ун-та. – 2005. – № 661. Сер. Математическое моделирование... – Вып. 4. – С. 89 – 96.
3. Греков С. П. Группа эндогенной пожароопасности угольных шахтопластов в зонах геологических нарушений / С. П. Греков, И. Н. Зинченко, В. И. Карманов // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2009. – Вып. 46. – С. 77 – 85.
4. Шайтан И. А. Установление склонности угля к самовозгоранию / И. А. Шайтан, Е. Л. Завьялова, В. К. Соколов // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2004. – Вып. 41. – С. 111 – 115.

ПО МАТЕРИАЛАМ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ УКРАИНЫ» ПРОШЛЫХ ЛЕТ

Год 1972

За год в строй действующих введены шахта «Светлопольская» комбината Александрияуголь производственной годовой мощностью 1500 тыс. т угля, первая очередь шахты «Молодогвардейская» комбината Краснодонуголь (600 тыс. т угля в год), первая очередь шахты № 21-бис комбината Макеевуголь (750 тыс. т угля в год), шахта № 29 «Западно-Донбасская» треста Павлоградуголь (1200 тыс. т угля в год), шахта № 2 «Червоноградская» комбината Укрзападуголь (900 тыс. т угля в год). Общий прирост производственных мощностей шахт по угольной промышленности Украины составил 4,95 млн т угля в год.

Год 1973

В журнале № 3 в статье Г. И. Маркова, В. С. Пономарева, Е. В. Кравченко, О. А. Денисенко «Технико-экономическая эффективность и перспективы применения механизированных очистных комплексов на шахтах Червоноградской группы» описано влияние материально-технических условий производства на техническую оснащенность основных процессов угледобычи. Проиллюстрированы корреляционные зависимости между параметрами производства и основными показателями работы. Приведены минимально необходимые нагрузки на очистные забои, оснащенные механизированными комплексами; технико-экономические показатели работы этих забоев.

Широкое внедрение механизированных комплексов в очистных забоях способствует концентрации и интенсификации работ. Проведенный корреляционный анализ показал, что наилучшие показатели работы участков и шахт (повышение производительности труда, снижение себестоимости и трудоемкости) достигаются в том случае, когда вся добыча поступает из комплексно механизированных забоев.