

УДК 622.831.322:635

ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗА ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Киселев Н. Н.

(НТЦ «ОНУС при УкрНИИМИ НАНУ», г. Донецк, Украина)

Радченко А. Г.

(МакНИИ, г. Макеевка, Украина)

Рубинский А. А.

(ЧП «Приоритет», г. Донецк, Украина)

Радченко А. А.

(Донбасская НАСА, г. Макеевка, Украина)

У статті наведені прогресивні способи регіонального прогнозу викиднебезпечності вугільних пластів, які рекомендуються до широкого впровадження на шахтах, що розробляють вугілля низької, середньої і високої стадій метаморфізму.

Advanced methods for regional prediction of coal seam bursting liability are described which are recommended for large-scale implementation in mines working low, middle and high-rank coals.

В начале 30-х годов Л. Н. Быков установил, что хрупкость углей в диапазоне с выходом летучих веществ (V^{daf}) от 15 до 32 % имеет свой максимум [1]. Угли средней стадии метаморфизма имеют пониженную прочность, пористость и повышенную потенциальную выбросоопасность [1], их хрупкость обусловлена пластическими свойствами угольного вещества, количественно измеряемыми толщиной пластического слоя [2]. В дальнейшем в работах [3, 4] была доказана зависимость потенциальной выбросоопасности угольных пластов Донбасса от степени метаморфизма углей. Дальнейшее обобщение данных о внезапных выбросах

угля и газа позволило разработать для условий Донбасса показатели, по которым должен выполняться прогноз выбросоопасности угольных пластов [5]. Позже в работах [6, 7] были уточнены глубины, с которых необходимо вести прогноз выбросоопасности угольных пластов. В настоящее время известен способ определения категории выбросоопасности угольного пласта по комплексному показателю степени метаморфизма углей [7], который рассчитывается по следующим формулам:

а) Для углей с выходом летучих веществ от 9 до 29 %:

$$M = V^{daf} - 0,16y, \quad (1)$$

где M – комплексный показатель степени метаморфизма углей, у.е.;

V^{daf} – весовой выход летучих веществ, %;

y – толщина пластического слоя, мм.

б) Для углей с выходом летучих веществ более 29 %:

$$M = [(4V^{daf} - 91) : (y + 2,9)] + 24. \quad (2)$$

Недостатками данного способа [7] являются:

1) Известно, что с изменением степени метаморфизма углей от длиннопламенных – (Д) к жирным – (Ж) и далее к антрацитам – (А) степень метаморфизма углей растет, а значит и комплексный показатель степени метаморфизма углей – M должен расти по абсолютной величине, но в формулах 1 и 2 показатель M при увеличении степени метаморфизма углей по абсолютным значениям уменьшается, что противоречит природе изменения степени метаморфизма углей;

2) Способ допускает ошибки 1-го рода.

Согласно [7], если фактическое значение показателя M превышает $M_{\text{крит}}$, равное 27,7, то шахтопласт независимо от природной газоносности ($X_{\text{прир.}}$) и глубины разработки (H) относится к невыбросоопасным и текущий прогноз выбросоопасности на нем не проводится. В случаях, если фактическое значение показателя $M < M_{\text{крит}}$, то шахтопласт относится к угрожаемым по выбросам угля и газа и на нем вводится текущий прогноз выбросоопасности по начальной скорости газовыделения из шпуров (g_H). При применении способа [7], фактически выбросоопасные пласты от-

носятся к категории неопасных по выбросам угля и газа, т.е. допускаются ошибки 1-го рода.

Приведем конкретный пример. Внезапный выброс угля и газа произошел 19.01.1994 г. в условиях ГП «Первомайскуголь», на ш. Горская, на южном крыле пласта k_8 , на глубине 970 м. Природная газоносность пласта k_8 составляла $X_{\text{прир}} = 15 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$. В месте выброса мощность пласта k_8 была равна 1,75 м; угол падения пласта (α) составил 6° . Марка угля Г; $V^{daf} = 41 \%$; $y = 14$.

При проведении воздухоподающего ходка южной лавы пласта k_8 19.01.1994 г. был зафиксирован внезапный выброс угля и газа интенсивностью ($Q_{\text{уг}}$) 100 т., при котором выделилось большое количество газа ($Q_{\text{газа}}$), равное 8000 м^3 . Рассчитаем, согласно (2), комплексный показатель степени метаморфизма углей M :

$$M = [(4 \times 41 - 91) : (14 + 2,9)] + 24 = 28,3$$

$M_{\text{факт}} = 28,3$ и согласно [7], если комплексный показатель степени метаморфизма угля $M > 27,7$, то независимо от глубины разработки и природной газоносности пласта исследуемый шахтопласт или участок шахтопласта относят к невыбросоопасным. Так как $M_{\text{факт}} > M_{\text{крит.}}$, то пласт k_8 был отнесен к неопасным по выбросам угля и газа, вследствие этого текущий прогноз выбросоопасности на данном пласте не проводился. В данном случае была допущена ошибка 1-го рода, что привело к аварии.

Известен также временно действующий нормативный документ – способ отнесения угольных пластов к категории выбросоопасности [8]. Согласно [8] комплексный показатель степени метаморфизма углей определяется по каждой из проб угля, отобранных в скважинах или горных выработках, по следующей формуле:

$$M = V^{daf} - (0,023V^{daf} - 0,173)y, \% \quad (3)$$

Следует отметить, что размерность показателя M в способе [8] дана в %, а не в у.е., как в способах [6, 7]. Приведем показатели отнесения пластов к угрожаемым по внезапным выбросам угля и газа согласно [8] (табл. 1).

Таблица 1

Показатели отнесения пластов к угрожаяемым по внезапным выбросам угля и газа [8]

Выход летучих веществ, v^{daf} , %	Комплексный показатель степени метаморфизма угля, M , у.е.	Природная газоносность пласта, X , м ³ /т.с.б.м.	Глубина разработки пласта, H , м
больше 9	от 26,6 до 27,7	8 и больше	410
	от 24,1 до 26,5	8 и больше	400
больше 9	от 22,0 до 24,0	9 и больше	390
	от 17,0 до 21,9	10 и больше	370
	от 12,8 до 16,9	12 и больше	340
	от 9,0 до 12,7	15 и больше	300
меньше 9 (но $lgr > 3,3$)		16 и больше	150

Способ [8] не учитывает особенности изменения физико-механических и структурно-химических свойств углей средней стадии метаморфизма, указанные угли отличаются рядом аномальных свойств и характеризуются повышенной спекаемостью, коксуюмостью, низкой прочностью, высокой дробимостью и разрушаемостью. Следует подчеркнуть, что изменение толщины пластического слоя (y) в ряду метаморфизма углей носит параболический характер. Все выше перечисленные свойства не учитываются в уравнении (3) работы [8]. Поэтому возможны ошибки 1-го рода. Приведем конкретные примеры. Исходные данные были взяты нами из работы [9].

ПО «Донецкуголь», ш. «Ливенка» № 4, пласт h_8 , $V^{daf}=21,3\%$; $y = 9$ мм; $X_{\text{прир}} = 21,3$ м³/т.с.б.м.; глубина выброса $H = 344$ м. Внезапный выброс угля и газа произошел в 1964 г. Рассчитаем значение M согласно [8]:

$$M = 21,3 - (0,023 \times 21,3 - 0,173) \times 9 = 18,4\%.$$

Согласно таблице 1 работы [8], значение показателя M попадает в диапазон $17,0 \div 21,9\%$ и $X_{\text{прир}} > 10,0$ м³/т.с.б.м., таким образом, глубина отнесения пласта к угрожаяемым по внезапным

выбросам угля и газа составляет $H_{кр}$, равное 370 м. Но выброс произошел при $H_{факт}$, равное 344 м. Анализ других данных таблицы работы [9] показал, что при определении $H_{кр}$, согласно [8], допускаются неточности в определении минимальной глубины проявления выбросов – $H_{мин}$. (табл. 2).

Таблица 2

Ошибки 1-го рода, допускаемые при определении $H_{кр}$ по способу [8]

№ по [9]	Пласт	$X_{пр}$, м ³ /т	V^{daf} , %	у, мм	M	$H_{кр}$, м	$H_{факт}$, м
90	h_8	21,3	21,3	9	18,4	370	344
152	k_2^H	–	24,0	23	15,3	340	328
204	k_3	13,8	15,5	0	15,5	340	290
222	i_2^1	–	14,0	0	14,0	340	280
224	i_3	–	18,8	14	15,2	340	320
229	i_3	–	16,1	9	14,3	340	330
249	k_4^1	14,6	9,1	0	14,6	340	256
251	k_3^B	–	11,0	0	11,0	300	256
272	k_6	–	11,4	0	11,4	300	254
274	k_5	–	10,5	0	10,5	300	254
277	k_5	18,6	12,6	0	12,6	300	280
278	k_3^B	16,0	11,8	0	11,8	300	260

Рассмотренные нами способы [7, 8] не позволяют с достаточной точностью определять категорию выбросоопасности угольных пластов. При определении категории выбросоопасности угольных пластов допускаются ошибки 1-го рода, т.е., фактически выбросоопасные пласты относят к категории неопасных по выбросам угля и газа. Это приводит к серьезным производственным авариям и травматизму. Минимальная глубина ($H_{мин}$) с которой пласт относят к угрожаемым по выбросам угля и газа, согласно [7, 8], дается дискретно и не позволяет для конкретных горно-геологических условий определять значения $H_{мин}$ непрерывно. Таким образом, известные способы [7, 8] не обеспечивают необходимый уровень безопасного ведения горных работ.

Целью настоящей работы является разработка более совершенных и надежных способов ведения регионального прогноза выбросоопасности угольных пластов Донбасса.

Предлагаем рассмотреть два новых способа ведения регионального прогноза выбросоопасности угольных пластов.

Рассмотрим 1-й способ регионального прогноза. Предлагаемый способ определения категории выбросоопасности угольных пластов низкой и средней стадий метаморфизма углей подробно изложен в работе [10]. Сущность способа заключается в установлении минимального количества необходимых определений (n) пар значений $\{V^{daf}, y\}$ для конкретного участка пласта, расчете отдельно по каждой паре значений $\{V^{daf}, y\}$ показателя степени метаморфизма углей (S_m) по следующей формуле:

$$S_m = 100 - [28,1 + 1,093V^{daf} - 0,434y], \% \quad (4)$$

Вычисление фактического среднего арифметического значения показателя степени метаморфизма ($S_{m \text{ ср.ар.факт}}$) для анализируемого участка пласта, сравнение полученного $S_{m \text{ ср.ар.факт}}$ значения показателя степени метаморфизма с критическим (граничным) значением показателя степени метаморфизма углей показало, что $S_{m \text{ крит.}} \geq 29,5 \%$.

При $S_{m \text{ уч}} \geq 29,5 \%$ пласт относят к угрожаемым по выбросам угля и газа и на глубинах свыше 360,0 м вводится текущий прогноз выбросоопасности угольного пласта по начальной скорости газовыделения из шпуров (g_n), а при $S_{m \text{ уч}} < 29,5 \%$ – выемочный участок (крыло, блок, шахтопласт) относят к неопасным по выбросам угля и газа независимо от глубины разработки угольного пласта H и его природной газоносности $X_{\text{прир.}}$, а текущий прогноз выбросоопасности по начальной скорости газовыделения из шпуров не проводится. При применении способа [10] обеспечивается надежное и достоверное определение категории выбросоопасности угольного пласта, своевременный ввод текущего прогноза выбросоопасности на данном пласте. Предлагаемый способ [10] обеспечивает повышение уровня безопасного ведения горных работ на шахтопластах Донбасса.

В качестве примера приведем ранее рассматриваемый выброс, происшедший 19.01.1994 г. на ш. Горская. Для отдельного

участка пласта k_8 по десяти парам значений $\{V^{daf}, y\}$ были получены текущие значения S_{min} , затем было рассчитано фактическое среднее арифметическое значение показателя степени метаморфизма $S_{m\text{ ср.ар.}}$ из десяти пар значений $\{V^{daf}, y\}$, которое составило 32,8 у. е. Так как $S_{m\text{ факт.}} > S_{m\text{ крит.}}$, т.е. $32,8 > 29,5$, то данный выемочный участок пласта k_8 был отнесен к угрожаемым по выбросам угля и газа и на данном участке вводится текущий прогноз выбросоопасности угольного пласта.

Рассмотрим 2-й предлагаемый усовершенствованный способ регионального прогноза выбросоопасности угольных пластов низкой, средней и высокой стадий метаморфизма углей. Данный способ определения категории выбросоопасности угольных пластов включает следующие операции:

– отбор проб угля из геологоразведочных скважин для определения пары значений $\{V^{daf}, y\}$ по каждой пробе;

– дополнительный отбор из подготовительных, очистных выработок необходимого количества проб угля с целью определения в дальнейшем в лаборатории показателей: $f, \Delta J, V^{daf}, y$;

– определение в лаборатории показателей: $f, \Delta J, V^{daf}, y$;

– расчет по каждой паре значений $\{V^{daf}, y\}$ показателей степени метаморфизма углей S_{m1}, S_{m2} по формулам, приведенным далее.

а) при $V^{daf} = 43 - 29\%$ S_{m1} рассчитывается по формуле (4);

б) при $V^{daf} = 28,9 - 9,0\%$ S_{m2} рассчитывается по формуле:

$$S_{m1} = 100 - [1,98V^{daf} - 9,03 - 0,11y], \quad (5)$$

– вычисление фактического среднего арифметического значения показателя степени метаморфизма углей $\bar{S}_{m\text{ факт.}}$ по (n) парам значений $\{V^{daf}, y\}$ для отдельного участка пласта, крыла, блока или для шахтопласта в целом;

– сравнение фактического среднего арифметического значения показателя степени метаморфизма углей $\bar{S}_{m\text{ факт.}}$ с критическим значением показателя степени метаморфизма углей $S_{m\text{ крит.}}$ равного 29,5 %. При этом, если $S_{m\text{ крит.}} \geq 29,5\%$, то пласт относят к угрожаемым по выбросам угля и газа, а в случаях, когда $S_{m\text{ факт.}} < 29,5\%$, то анализируемый шахтопласт, крыло, блок или выемочный участок пласта относят к неопасным по выбросам уг-

ля и газа и на данном участке текущий прогноз выбросоопасности угольного пласта не выполняется;

– установление граничных значений для параметров $X_{\text{прп}}$, f , u , ΔJ ;

– введение поправок $\sum \Delta H_i$ с целью учета абсолютных значений параметров f , ΔJ , u , $X_{\text{пр}}$ для последующего вычисления $H_{\text{мин}}$ (минимальной глубины);

– расчет $H_{\text{мин}}$, с которой пласт необходимо отнести к категории угрожаемый по внезапным выбросам угля и газа:

а) для пластов крутого падения $H_{\text{мин}}$ вычисляется по формуле:

$$H_{\text{мин.кр}} = 200,0 + 5,02V^{\text{daf}} - 0,19X_{\text{пр}} - \sum \Delta H_i, \text{ м}, \quad (6)$$

б) для пластов пологого падения $H_{\text{мин}}$ вычисляется по формуле:

$$H_{\text{мин.пол}} = 135,0 + 9,94V^{\text{daf}} - 0,34X_{\text{пр}} - \sum \Delta H_i, \text{ м} \quad (7)$$

– выдача заключения о $H_{\text{мин}}$, с которой необходимо ввести текущий прогноз выбросоопасности.

Предлагаемый способ 2 имеет существенные отличия от известных способов. Он позволяет для различных горно-геологических условий непрерывно определять значения $H_{\text{мин}}$, с которой пласт относят к угрожаемым по выбросам угля и газа. В данном способе определение значений $H_{\text{мин}}$ выполняется дифференцированно для пластов крутого и пологого падений.

Рассмотрим пример осуществления предлагаемого способа 2 для пласта пологого падения, часть исходных данных взята из ранее рассмотренного примера по ш. Горская. По пласту k_8 глубина выброса составила ($H_{\text{в}}$) 970 м; $X_{\text{пр}}$ - 15 м³/т.с.б.м; α - 6°; марка угля - Г; V^{daf} - 41 %; u - 14; f - 0,9; ΔJ - 3,1.

Показатель степени метаморфизма угля $S_{\text{м1}}$ определяем по формуле (4):

$$S_{\text{м1}} = 100 - [28,1 + 1,093 \times 41 - 0,434 \times 14] = 33,2, \text{ \%}$$

Таким образом, $S_{\text{м факт}}$ составит 33,2 % и $S_{\text{м факт}} > S_{\text{м крит.}}$, или 33,2 % > 29,5 %, следовательно пласт относится к угрожаемым по

выбросам угля и газа. Далее определяем для пологого падения по формуле (7) расчетное значение $H_{\text{мин. пол}}$:

$$H_{\text{мин. пол}} = 135,0 + 9,94 \times 41 - 0,34 \times 15 - \sum \Delta H_i = 537,4 - \sum \Delta H_i \quad (8)$$

Определим $\sum \Delta H_i$. Поправки ΔH_i при вычислении $H_{\text{мин. пол}}$ составили:

а) по крепости угля – f , у.е., среднее арифметическое значение по $f = 0,9$ и $\Delta H = 0,0$ м;

б) по йодному показателю степени нарушенности угля (ΔJ , мг/грамм):

$$\Delta J = 3,1 \text{ мг/грамм и } \Delta H = 0,0 \text{ м;}$$

в) по толщине пластического слоя (y , мм):

$$y = 14 \text{ и } \Delta H = 10,0 \text{ м;}$$

г) по природной газоносности пласта ($X_{\text{прир}}$, куб.м/т.с.б.м.):

$$X_{\text{прир}} = 15 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м. и } \Delta H = 10,0 \text{ м;}$$

Итого сумма поправок для вычисления $H_{\text{мин. пол}}$ составила: $\sum \Delta H_i = 20,0$ м.

Подставляя значение $\sum \Delta H_i$ в (8) получим:

$$H_{\text{мин. пол}} = 537,0 - 20,0 = 517, \text{ м.}$$

Именно с этой глубины необходимо вести текущий прогноз выбросоопасности угольного пласта по начальной скорости газовой выделения из шпуров (g_n). Следует отметить, что первый внезапный выброс на этом пласте произошел на глубине 970 м. Таким образом, способ позволяет заблаговременно ввести текущий прогноз выбросоопасности. По способу 2 подана заявка на выдачу патента и получено положительное решение. На основании выше сказанного предлагаемые прогрессивные способы ведения регионального прогноза выбросоопасности угольных пластов Донбасса рекомендуются к широкому внедрению.

Выводы. Разработаны более совершенные и надежные способы ведения регионального прогноза выбросоопасности угольных пластов Донбасса, которые рекомендуются к широкому внедрению на шахтах, разрабатывающих угли низкой, средней и высокой стадий метаморфизма.

В результате применения предлагаемых способов ведения регионального прогноза выбросоопасности угольных пластов Донбасса обеспечивается надежное и достоверное определение категории выбросоопасности угольного пласта без ошибок 1-го рода, своевременный ввод текущего прогноза выбросоопасности на данном пласте с глубины $H_{\text{мин}}$, вычисленной для конкретных горно-геологических условий и тем самым достигается повышение уровня безопасного ведения горных работ на указанном шахтопласте.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Быков Л.Н. Теория внезапных выделений газов в шахтах и основные меры борьбы с ними (Центральный район Донбасса): [в книге: Проблемы борьбы с рудничным газом и каменноугольной пылью] / Л.Н. Быков - [Труды и материалы МакНИИ, ОНТИ, НКТП, СССР]. – М.: Недра, 1931. – С. 7 – 41.
2. Исследование и классификация углей. / сб. науч. тр. ДонУГИ. – М.: Углетехиздат, 1991. – № 18. – 232 с.
3. Региональный прогноз выбросоопасности угольных пластов Донецкого бассейна / О.А. Колесов, В.И. Николин, Г.Я. Степанович, Ткач В.Я. // Уголь Украины, 1971. – № 5. – С. 33 – 34.
4. Ткач В.Я. Методы прогноза выбросоопасности шахтных пластов / В.Я. Ткач – К.: Техніка, 1980. – 190 с.
5. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к внезапным выбросам угля, породы и газа. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1977. – 160 с.
6. Забигайло В.Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность / В.Е. Забигайло, В.И. Николин – К.: Наукова думка, 1990. – 168 с.
7. СОУ 10.1.00174088.011-2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ. – К.: Мінвуглепром України, 2005. СОУ 10.1.00174088.011-2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ. Мінвуглепром України, Київ, 2005. – 225 с.

8. СОУ–П 10.1. 00174088.029:2011. Правила віднесення вугільних пластів до категорій викидонебезпеки. – К.: Міненергоугілля України, 2011. – 22 с.
9. Минеев С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: [монография] / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко. – Донецк: ООО «Східний видавничий дім», 2010. – 603 с.
10. Патент на корисну модель № 68676 Спосіб визначення категорії викидонебезпечності вугільних пластів низької і середньої стадії метаморфізму вугілля. Номер заявки: U 2011 09993, МПК (2012.01), Е 21 F 5/00. Канін В.О., Кисельов М.М., Радченко О.Г., Радченко О.О., Жолоб Н.В. Дата публікації: 10.04.2012, Бюл. № 7.