РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ОЦЕНКИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

gost.e-ecolog.ru

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ОЦЕНКИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Макеевка - Донбасс
1993

Рекомендации по повышению надежности оценки выбросоопасности призабойной части угольного пласта: Макеевка - Донбасс, 1993.-44 с.

Освещаются вопросы о природной неоднородности метаноносных угольных пластов и даются предложения по использованию этого фактора для повышения надежности критериев выбросоопасности.

Приводятся результаты исследований, направленных на совершенствование способа прогноза выбросоопасных зон по амплитудно-частотным характеристикам акустического сигнала, в части повышения его достоверности и автоматизации.

В В Е Д Е Н И Е

Одной из актуальных проблем безопасного ведения работ в угольных шахтах является борьба с внезапными выбросами угля и газа. Для успешного решения этой проблемы необходимы надежные методы прогноза выбросоопасных зон в угольных пластах.

В настоящих работах освещаются вопросы о природной неоднородности угольных пластов, опасных по выбросам угля и газа.

Даются рекомендации по использованию природной неоднородности как фактора, определяющего разработку и надежность критериев выбросоопасности.

Приводятся результаты исследований, направленных на совершенствование способа прогноза выбросоопасных зон по амплитудно-частотным характеристикам акустического сигнала в подготовительных выработках, проводимых буровзрывным способом.

Приведенные материалы являются результатами совместных исследований МакНИИ и ДПИ, выполненных в 1991-1993 годах в условиях шахт Донецкого бассейна.

УДК 622.817.47

НИКОЛИН В.В., ГУРИН Н.И.,
РАДЧЕНКО А.Г.

ПРИРОДНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ МЕТАНОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ РАЗРАБОТКУ И НАДЕЖНОСТЬ КРИТЕРИЕВ ВЫБРОСООПАСНОСТИ

К общепризнанному на современном этапе можно отнести представление о том, что основная особенность выбросоопасных пластов - это ее локальность. Самым бесспорным доказательством локальности выбросоопасности являются выбросы угля и газа, происходящие при проведении одиночных подготовительных выработок сотрясательным взрыванием, когда никакие способы предотвращения выбросов не применяют и когда полости, образованные выбросами, оказываются самой невероятной, а не наиболее устойчивой формы и располагаются по оси выработки только с левой или правой ее стороны (рис.I). Более чем полуторавековой мировой опыт разработки выбросоопасных пластов доказал, что внезапные выбросы угля и газа происходили и происходят при всех применявшихся и применяющихся способах выемки угля и технологиях добычи угля. Такое положение является абсолютным доказательством того, что природа локальности выбросоопасности заключается в природной неоднородности его основных свойств.

Вопросу локальности выбросоопасности справедливо было посвящено много исследований. Их анализ позволяет заключить, что многие неточности выводов и гипотез произошли именно от недооценки авторами природной неоднородности выбросоопасного угольного массива и, следовательно, использования недостаточно надежно экспериментально определяемых показателей различных свойств ввиду их естественной изменчивости. С учетом сказанного был выполнен компленс экспериментальных исследований в шахтных условиях по следующей методической схеме.

В качестве объекта исследования был выбран особо выбросоопасный пласт h_8 "Прасковиевский", разрабатываемый в условиях шахты "Заперевальная-2" ПО "Донецуголь", при ведении горных работ на котором по состоянию на 01.01.1993 г. зарегистрировано 405 выбросов: 36 в лавах при струговой выемке и 369 в подготовительных выработках, проводимых сотрясательным взрыванием.

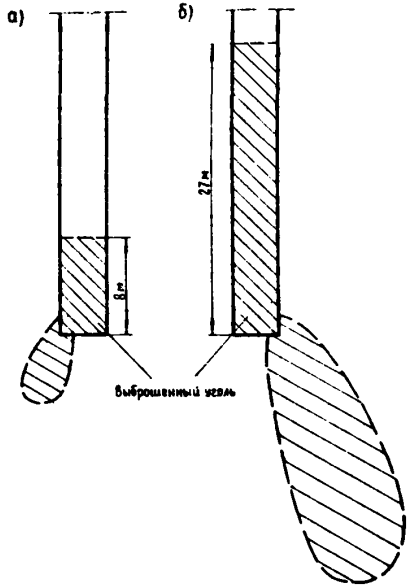

Рис.I. Эскизы мест выбросов, происшедших в бортовой выработке № 5I пласта h_8 шахты им.газеты "Социалистическая Донбасс" ПО "Донецкуголь":

а) - 9 февраля I984 г.

б) - 5 января I984 г.

Мощность пласта h_8 составляет 0,6-0,7 м, природная метаноносность 25-33 м^3/т.с.б.м. Породы непосредственной кровли представлены песчанистым сланцем, основной кровли - песчаником; непосредственной почвы - песчанистым сланцем, основной почвы - глинистым сланцем.

Эксперименты выполнялись при проведении одиночных 5I-й и 46-й бортовых выработок сотрясательным взрыванием. Весь комплекс экспериментальных работ можно условно в методическом плане разделить на два этапа. На первом этапе в 5I-й бортовой выработке по мере ее подвигания в каждом экспериментальном цикле отбирались пробы угля для последующего выполнения по ГОСТ II0I4-8I технических анализов: определения выхода летучих веществ V^{daf}, %, содержания в пробах аналитической влаги W^a, %, зольности A^c, %. Всего было отобрано 99 проб на участке подвигания выработки примерно I60 м, из которых 23 пробы отобраны в полостях и относах угля, образовавшихся в результате происшедших семи выбросов.

По данным экспериментов сформированы две выборки: I - невыбросоопасные участки - 76 проб и 2 - выбросоопасные - 23 пробы.

Средние значения показателей для всей совокупности результатов составили: $\bar{V}^{daf}$ = II,0%; $\bar{W}^a$ = 0,8%; $\bar{A}^c$ = 6,7%. Изменчивость каждого из этих показателей, количественно оценивающая степень природной неоднородности пласта по различным свойствам, определялась величиной коэффициента вариации $K_в$, %. Получили, что минимальна и незначительна она для V^{daf} (8%), максимальна для A^c (84%), несколько меньше, но тоже значительная для W^a (6I%).

Такой результат доказывает, что природная неоднородность выбросоопасного угольного пласта обусловливает различную изменчивость отдельных его свойств и что, следовательно, для получения надежного значения показателя конкретных свойств необходимо различное число измерений.

Наибольшей природная неоднородность оказалась по зольности ($K_в$ = 84%). Но учитывая то, что показатель A^c не используется в качестве нормативного критерия выбросоопасности, ограничились лишь констатацией реальности высокой изменчивости ее значений и необходимости, для надежного определения зольности, значительного числа определений (порядка 50-80 в зависимости от величины зольности).

Незначительная изменчивость показателя V^{daf} доказывает высокую надежность его определений. Расчеты показывают, что отклонение

от среднего по 99 пробам значения $\bar{V}^{daf}$ по любой выборке из трех, распределенной по таблице случайных чисел, не превышает ±10%. Учитывая, что показатель V^{daf} используется в "Инструкции..." /I/ при отнесении шахтопластов Донбасса к невыбросоопасным или угрожаемым и что изменчивость V^{daf} незначительна, можно считать достаточным для крыла шахтного поля (блока, панели), двукратное увеличение числа определений, т.е. отбор шести проб.

При применении текущего прогноза для определения критических значений начальной скорости газовыделения регламентируется /I/ отбор десяти проб - получается, что это количество содержит трехкратный запас.

Для невыбросоопасных (I) и выбросоопасных (2) участков получены следующие средние значения рассматриваемых характеристик угольного пласта и значений коэффициентов вариации.

$\bar{V}_1^{daf}/Кв_I$	$\bar{V}_2^{daf}/Кв_2$	$\bar{W}_1^a/Кв_I$	$\bar{W}_2^a/Кв_2$
II,0% / 8%	II,6% / 9%	0,7% / 29%	I,4% / 56%

Из приведенных данных следует, что $\bar{V}_1^{daf}$ и $\bar{V}_2^{daf}$ практически одинаковы (5% различия находятся в пределах точности измерений).

В два раза большим оказалось содержание аналитической, т.е. физически связанной влаги в пробах угля, отобранных на участках реальной (проявившейся) выбросоопасности. Об увеличении единичных значений W_2^a на выбросоопасных участках свидетельствуют и гистограммы рис.2.

Учитывая неадекватность рассматриваемых выборок (76 и 23 определения), с помощью методов теории вероятности и математической статистики /2/ оценили, не является ли этот неожиданный результат случайным. Выполненные расчеты показали: с вероятностью 99,98% можно утверждать, что в любых 23 пробах, отобранных в неопасных зонах, среднее значение влажности будет не более I,4%, а вероятность того, что в любой выборке из 23 проб по результатам 76 определений в неопасных зонах значение $\bar{W}_1^a$ будет не менее $\bar{W}_2^a$ составляет 0,0002, т.е. в одной выборке из пяти тысяч. Отметим, что

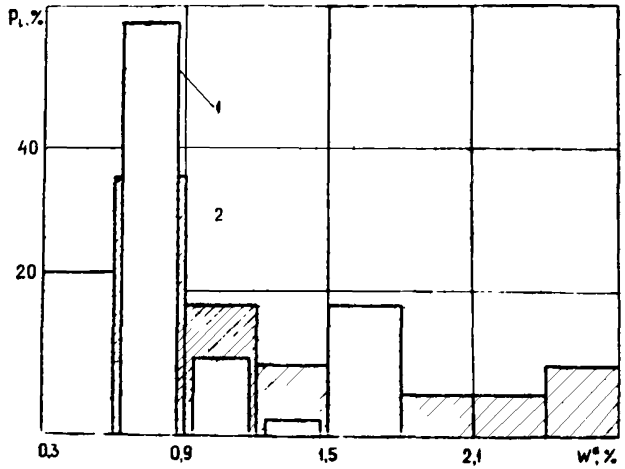

Рис.2. Гистограммы статистической вероятности (P_i , %), распределения аналитической влажности угля (W^a, %) на неопасных (I) и выбросоопасных (2) участках

в 76 пробах, отобранных на невыбросоопасных участках, нет ни одной выборки, по которой $\bar{W}_i^a \geqslant 1{,}4\%$, более того, нет ни одного случая, когда даже единичные значения W_i^a превышали бы 1,4%. Следовательно, рост W^a на выбросоопасных участках является не случайным, а закономерным.

Необходимо обратить внимание на то, что увеличение $\bar{W}_в^a$ сопровождалось резким (почти в 2 раза) ростом ее изменчивости.

Тот факт, что на реально выбросоопасных участках W^a в 2 ра за больше, чем на невыбросоопасных, во-первых, доказывает ошибочность представлений о том, что будто бы увеличение физически связанной влаги может привести к устранению выбросоопасности: увеличение физически связанной влаги, подобно тому как и увеличение газоносности, способствует росту выбросоопасности.

Во-вторых, в соответствии с /I/ контроль эффективности регионального способа предотвращения выбросов - увлажнения угольных пластов, осуществляемого на всю высоту этажа, основан на отборе проб для определения физически связанной влаги. При бурении контрольных скважин между теми скважинами, через которые произведено увлажнение, пробы отбирают через каждые 3 м, т.е. при наклонной длине этажа на шахтах Центрального района Донбасса в среднем примерно 120 м должно отбираться 40 проб.

В среднем по такому количеству проб изменение содержания физически связанной влаги на участке между двумя скважинами, через которые выполнено увлажнение, можно определить достаточно надежно. Ошибка не будет превышать 20%. Но из-за того, что выбросоопасность локальна, необходимо оценивать надежность определения физически связанной влаги в каждом месте отбора пробы, т.е. через 3 м по длине контрольной скважины. Оценка надежности такого подхода выполнена следующим образом.

Отбор проб угля производили 31 раз: однажды было отобрано 7 проб, 2 раза по 4 и 28 раз по 3 пробы. Из 31 раза только в 4-х случаях было получено совпадение W^a по всем трем пробам. В остальных 27 случаях (87%) разность между наибольшим W^a_{max} и наименьшим W^a_{min} значениями составляла 0,1-2,9%. Если учесть, что для устранения выбросоопасности углей при V^{daf} = 11% (марка ОС) необходимо по /I/ достижение содержания физически связанной влаги 2%, то становится очевидной возможность, при отборе одной пробы, ошибок, превосходящих 100%.

Однако необходимо было убедиться в том, что полученный результат не присущ только пласту h_8. Дополнительные измерения были выполнены по пробам, отобранным на выбросоопасном пласте шахты им.Дзержинского ПО "Дзержинскуголь" (3-й восточный штрек гор.1026 м). Особенностью шахтопласта является то, что выбросоопасной у него является только верхняя пачка. По пяти пробам каждой пачки получили: $\bar{V}_н^{daf} = 29,5\%$; $\bar{A}_н^c = 4,4\%$; $\bar{W}_н^a = 1,1\%$; $\bar{V}_в^{daf} = 29,4\%$; $\bar{A}_в^c = 1,4\%$; $\bar{W}_в^a = 2,4\%$. Результаты полностью подтвердили полученные для пласта h_8: $\bar{W}_в^a / \bar{W}_н^a = 2,2$.

На втором этапе экспериментальных работ в 46-й и 51-й бортовых выработках по мере их подвигания выполнялись поинтервальные измерения начальной скорости газовыделения (q), из отдельных шпуров отбирались пробы газов для определения в их составе гелия (H_e, %). Особый интерес представляют результаты, полученные в 46-й бортовой выработке, где удалось выполнить измерения непосредственно перед двумя выбросами. Газовыделение определялось в соответствии /1/, но в дополнение к требованиям /1/ в каждом цикле измерений бурился дополнительно шпур (№ 2) посередине угольного забоя (шпуры № 1 и № 3 располагались соответственно у левой и правой стенок выработки). Во время проведения примерно 170 м выработки произведено 45 циклов измерений газовыделения, 26 определений содержания гелия.

Результаты, полученные в процессе поинтервальных измерений газовыделения, позволяют оценить надежность следующих показателей: максимального газовыделения q_{max}, л/мин в каждом шпуре, замеряемое перед интервалом падения ℓ_p, м; газовыделения в интервале падения q_n и за ним, т.е. за пределами существенного влияния горной выработки - практически в области нетронутого горными работами массива; удельного газовыделения /1/ в области разгружающего влияния выработки q', л/мин как косвенного показателя природной газоносности, ибо оно тем выше, чем выше природная газоносность в пределах зоны разгрузки ℓ_p, м.

Изменение содержания гелия рассматривается в соответствии с /3/ как критерий степени дегазации призабойной части пласта и природной неравномерности распределения газоносности в области отсутствия существенного разгружающего влияния выработки*. Результаты измерений (табл.1) позволяют сделать следующие выводы. Изменчи-

---

*Далее для краткости - нетронутый массив

Таблица I

Номер шпура	q_{max}, л/мин				q_n, л/мин				q', л/мин				ℓ_p, м			
	n*	$\bar{q}_{max}$	$K_в$,%	Δ**	n	$\bar{q}_n$	$K_в$,%	Δ	n	$\bar{q}_1$	$K_в$,%	Δ	n	$\bar{\ell}_p$	$K_в$,%	Δ
I	44	2,4	86	0,8-12,2	44	I,2	II3	0,0-8,4	I03	2,5	62	0,5-8,6	44	I,9	23	I,5-3,0
2	37	3,6	I03	I,0-22,5	37	I,2	97	0,0-5,4	II3	2,8	59	0,7-8,2	37	2,0	I8	I,5-3,0
3	40	2,9	69	0,8-I0,6	40	I,2	82	0,0-4,6	I06	2,7	76	0,4-I2,6	40	2,0	I7	I,5-2,5

* n - число измерений;

** Δ - интервал изменения показателей.

вость газовыделения так велика, что о надежности отдельных значений как критериев выбросоопасности говорить было бы ошибочно. При общей оценке надежности измерений q_{max}, когда $K_в \approx 100\%$ единичное измерение может привести к ошибке по сравнению со средним примерно на $\pm 200\%$. Надежность измерений q_{max}, в том числе критических ее значений (по /I/ для пласта $h_в$ $q_{кр} = 5$ л/мин) была дополнительно оценена следующим образом.

Для каждого цикла измерений была рассчитана разность между наибольшим и наименьшим значениями q_{max} в трех шпурах. Оказалось, что ни в одном из 35 циклов не были измерены во всех трех шпурах одинаковые ее величины: разность изменялась от 0,I до 20,4 л/мин и в среднем составила 2,4 л/мин. В шести циклах была измерена $q_{кр} > 5$ л/мин и только в одном из них во всех трех шпурах. В остальных пяти циклах она обнаружилась в одном шпуре, причем дважды в среднем. Ранее МакНИИ было установлено /3/, что в направлении проведения подготовительной выработки в средней части забоя пласт разгружен на большую глубину, чем у ее стенок. По данным измерений (табл.I) это подтверждает то, что наибольшие значения минимальных, средних и максимальных q_{max} получены в шпуре № 2. Здесь же максимален коэффициент вариации. В рядах шпуров № I и № 3 значения $\bar{q}_{max}$ различаются на 20%, значения $\bar{q}_n$ полностью совпадают, значения $\bar{q}_1$ различаются лишь на 7%.

Результаты измерения газовыделения в интервале падения свидетельствуют о том, что неоднородность пласта за пределами существенного разгружающего влияния выработки не менее значительна. Но отсутствие влияния выработки на напряженно-деформированное состояние обусловило равенство значений $\bar{q}_n$ во всех трех рядах шпуров.

В целом изложенное доказывает, что абсолютные значения одиночных измерений газовыделения как в пределах зоны разгрузки, так и в области нетронутого массива совершенно ненадежны.

Но выполнение значительного числа измерений позволяет получить достаточно надежные значения средних величин. Это особенно хорошо видно на примере расчетов $\bar{q}_1$ (табл.I). Осреднение двух-пяти измерений, которые выполнялись в каждом из шпуров до интервала падения, привело по сравнению с единичными измерениями q_{max} и q_n к снижению разброса данных почти в 2 раза.

Принципиально очевидно, что напряженное состояние впереди движущейся одиночной подготовительной выработки существенно изменяться не может. Изменчивость свойств метаноносного пласта приво-

дит к тому, что величина ℓ_p изменяется не только по мере проведения выработки, но нередко неодинакова в различных частях забоя. В 35 циклах измерений, когда ℓ_p определялась по трем шпурам, падение газовыделения регистрировалось в каждом из них. В 9 (28%) циклах она была одинаковой в трех шпурах, а в 20 (56%) циклах в двух. Разница между максимальными и минимальными значениями ℓ_p в измерительном цикле не превысила I м - 6 циклов (I6%). В целом изменчивость ℓ_p оказалась меньшей из всех рассмотренных показателей, за исключением только V^{daf}, что доказывает надежность этого критерия.

Из 26 определений гелия I8 выполнены по пробам, отобранным в интервале падения или за ним, т.е. в нетронутом массиве и 8 на участках безопасной зоны разгрузки. Полученные средние значения содержания гелия составляют соответственно 0,I06 и 0,069%. Различие более чем в полтора раза доказывает как правильность физической сущности критерия, так и его информативность. В /3/ подчеркивалось, что разброс данных по содержанию гелия в нетронутом массиве не позволяет анализировать неоднородность массива по газовому фактору, если есть лишь единичные его определения. Для каждой анализируемой ситуации необходимо не менее 2-3-х измерений. В трех измерительных (проходческих) циклах было выполнено по одному определению, поэтому они не анализируются. В шести циклах по мере проведения выработки получены следующие результаты:

Расстояние между местом отбора проб, м	-	3,5	3,5	3,5	II	24
Число проб	2	2	2	2	4	3
Содержание гелия, %	0,087	0,08I	0,I26	0,089	0,I28*	0,II8*

* - произошел выброс

Какие-то глубокие выводы по довольно ограниченному числу экспериментов преждевременны. Но можно совершенно определенно утверждать, что содержание гелия в разных частях (участках) пласта незакономерно изменяется и что наиболее высокие его значения характеризуют природную выбросоопасность.

Из полученных результатов нами были выделены две группы случаев: I - характеризуется наиболее низкими значениями содержания ге-

лия (0,08I-0,089%); П - то же, но в I,4 раза более высокими значениями (0,II8-0,I28%). Рассчитанные для этих групп средние значения показателей q_1 и q_{max} доказывают, что в выбросоопасных ситуациях они больше, чем в ситуациях невыбросоопасных.

Показатели	П	I
$\bar{q}_1$, л/мин	5,3	4,0
$\bar{q}_{max}$, л/мин	5,3	3,8

Факт природной локальности выбросоопасности доказывают и данные о содержании гелия в составе газов пласта, определенные непосредственно перед выбросом. В шпурах № I и № 2 в интервалах падения и за ним произведено три определения содержания гелия: 0,I26; 0,I44; 0,I87 (в среднем 0,I52%).

В шпуре № 3 в интервале падения содержание гелия составило 0,056%, т.е. в 2,7 раза меньше, чем в левой части (по ходу проведения) забоя.

К важным выводам методического характера, относящимся к показателю содержания гелия, приводит рассмотрение результатов измерений, выполненных перед выбросом (табл.2).

Таблица 2

Номер шпура	l_p, м	q_n, л/мин	q_{max}, л/мин	Содержание гелия в интервале падения, %
I	2,0	3,4	4,4	0,093
2	2,5	5,I	22,5	0,067
3	I,5	I,9	2,I	0,I95

В шпуре № 2 в интервале, где газовыделение было аномально высоким, - 0,I35%, оно оказалось не только больше среднего, рассчитанного для трех шпуров в интервале падения (0,II8%), но и в 2 раза больше, чем в этом же шпуре в интервале падения, т.е. через 0,5 м. Этот результат подтверждает феномен содержания гелия при разрушении угольного пласта, замеченный МакНИИ ранее /4/. Из этого

следует, что газовыделение из шпура в области нетронутого массива и непосредственно к ней примыкающей - это не результат фильтрации газа, а результат процессов разрушения стенок шпура, приводящего к десорбции метана.

При проведении 5I бортовой выработки для измерения динамики газовыделения бурили 2, иногда I шпур, длина измерительной камеры была не 0,2, а 0,5 м. Выполнен 2I цикл измерений газовыделения, отобрано 37 проб газа для определения содержания гелия. Для контроля надежности определения содержания гелия в шести шпурах разных циклов производили отбор проб-дублеров. Получили результаты, доказывающие высокую надежность определения (после тире значение "дублера"): 0,II2-0,I04; 0,I50-0,I50; 0,2I0-0,I80; 0,I50-0,I50; 0,I70-0,I70; 0,024-0,023. Вновь и еще более убедительно подтвердилась неравномерность распределения гелия в угольном пласте. Из общей протяженности выработки (I60 м) удалось совершенно четко и надежно выделить две разновидности зон, в которых содержание гелия отличалось бесспорно. Одна (I) характеризовалась изменением содержания гелия в пределах 0,I04-0,260%. Протяженность этих зон составила примерно 90 м. Вторая (П) характеризовалась изменением содержания гелия в пределах 0,000-0,0II%. Их протяженность, примерно, 70 м. В I-й произведено 6, а во П-й - 8 циклов определений.

Группа	I	П
$\bar{q}$, л/мин	3,5	3,2
$\bar{q}_{max}$, л/мин	4,0	3,I
He, %	0,I77	0,003

Полученные результаты по существу совпадают с результатами, полученными при проведении экспериментов в 46-й бортовой выработке. Но одновременно следует отметить, что с позиций, предложенных ранее физических моделей некоторые из полученных результатов удовлетворительно не объясняются.

Физическая модель выбросоопасного пласта была разработана МакНИИ в начале семидесятых годов /3/. В соответствии с ней он представлялся как трещиновато-пористое тело, отдельные блоки которого газонепроницаемы и способны к увеличению объема при метанонасыщении. Метан рассматривался как источник дополнительных (внутрен-

них) напряжений или как фактор, обусловливающий изменение деформационных свойств массива.

Во второй половине восьмидесятых годов ИГТМ АН Украины разработал физическую модель призабойной части пласта, как гетерогенной среды, представляющей собой твердое вещество и газ /5/.

Общим недостатком этих физических моделей является то, что в них не учитывалось наличие в поровом объеме наряду с метаном, его гомологами и другими газами* воды.

По данным В.В.Ходота /6/ удельная поверхность углей Донбасса колеблется в пределах I30-260 $м^2/г$ и составляет в среднем 200 $м^2/г$. По И.Л.Эттингеру /7/ общая поверхность ультрапор ($R_п < 10^{-8}$ м) угля составляет I00-200 $м^2/г$. С учетом того, что для покрытия внутренней поверхности I $см^2$ пор, капилляров переменного радиуса мономолекулярным слоем достаточно около 10^{15} молекул воды /7/, для покрытия I00 $м^2$ (значение, принятое для дальнейших расчетов) - около $1 \cdot 10^{21}$ молекул. При влажности I% в 1 г угля содержится $3{,}3 \cdot 10^{20}$ молекул воды.

Исходя из соображений, что при всем многообразии ультрапоры различных размеров количественно распределены примерно равномерно, а также что по геометрическим соображениям совместное "пребывание" воды и метана возможно только в порах-ячейках, капиллярах переменного диаметра размером более $6{,}1 \cdot 10^{-10}$ м, становится с видным, что практически во всем поровом объеме метан находится в совокупности с молекулами воды /8/, основным качеством которой, отличающим ее от всех других жидкостей, является дипольность молекулы.

Свойства воды, находящейся в порах (капиллярах) размером 10^{-7} м кардинально отличаются от свойств обычной воды /7/:

- в ней не растворяются те вещества, которые в обычных условиях легко растворимы;
- удельная теплоемкость значительно меньше единицы;
- имеет температуру замерзания значительно ниже 0^0С, причем в капиллярах размером порядка 10^{-10} м, по данным К.Терцаги, около -200^0С;
- по сравнению с несжимаемой в обычных условиях водой имеет плотность до 2,74 $г/см^3$;
- имеет временное сопротивление срезу в пленке примерно 10^{-8}м до 20 МПа.

---

*Далее для краткости - метан

Изложенное выше позволило физическую модель выбросоопасного угольного пласта представить в виде гетерогенной среды с абсолютно жесткими рассеянными включениями. В них стенки пор-ячеек покрыты дипольными молекулами воды, а метан находится внутри своеобразной шарообразной полости. Такая модель не только удовлетворительно объясняет локальность выбросоопасности, изменчивость ряда свойств пласта, но и позволяет оценить природу изменения деформационных характеристик.

Задача о деформационных свойствах модели выбросоопасного угольного пласта решалась путем предварительного введения модели с частными геометрическими характеристиками и последующим обобщением по всему представительному объему. В ее основу было положено решение плоской задачи о напряженном состоянии пластины с двумя жестко подкрепленными круговыми отверстиями, расстояние между которыми соизмеримо с их размерами, когда перемещения на границе круговых отверстий равны нулю, а значения модулей упругости и коэффициента Пуассона $E = \mu = \infty$

Полагая, что поры размеров $< 10^{-7}$ м количественно распределены примерно поровну (10^{-8}, 10^{-9}, 10^{-10} м), а также исходя из допущения об упорядоченном расположении пор-ячеек и вытекающего отсюда вывода о соизмеримости расстояний между порами с их размерами, сделали вывод о допустимости и корректности обобщения характеристик модели с частными геометрическими характеристиками по всему представительному объему угольного пласта (рис.3), приводящему к изменению деформационных характеристик массива.

Таким образом, изложенное позволяет считать, что природная неоднородность выбросоопасных пластов - объективная реальность, что она обусловливает различную изменчивость показателей отдельных свойств и что использование их при разработке критериев выбросоопасности без оценки надежности недопустимо.

Л И Т Е Р А Т У Р А

I. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа.-М.: ИГД им. А.А.Скочинского.- I989.- I9I с.

2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика.- М.: Высшая школа.- I972.- 368 с.

3. Николин В.И. Разработка выбросоопасных пластов на глубоких шахтах.- Донецк: Донбасс.- I976.- С.I84.

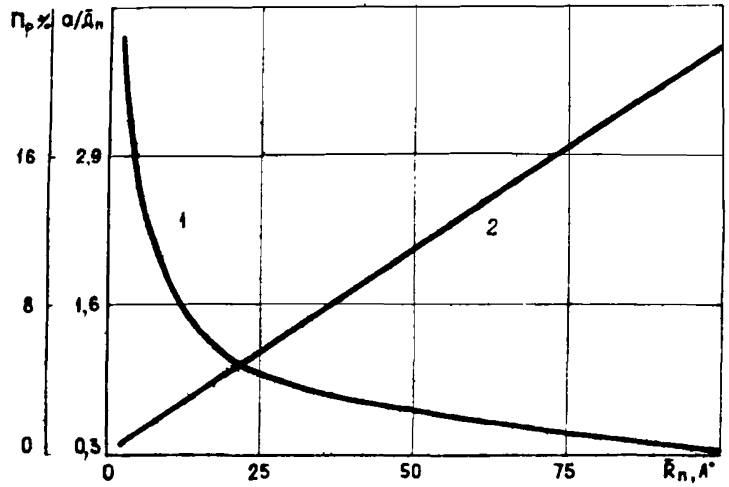

Рис.3. Графики зависимостей от ношения расстояния между порами (а) к среднему диаметру пор ($Д_п$) и расчетной пористости ($П_р$) от среднего радиуса пор для внутренней их поверхности 100 $м^2/г$ (соответственно кривые I и 2)

4. Хорунжий Ю.Т., Фридман И.С., Тимофеев Э.И. Состав газов, как показатель выбросоопасности угольного массива. - Уголь Украины.- I977.- № 4.- С.42-44.
5. Колесников В.Г. Геомеханические основы динамики горного давления и разработка способов ведения горных работ в выбросоопасном массиве/Автореф. докт.дис.- Днепропетровск: ИГТМ АН УССР.- I99I.- 36 с.
6. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа.- М.: Госгортехнадзор.- I96I.- 364 с.
7. Эттингер И.Л. Газоемкость ископаемых углей.- М.: Недра.- I966.- 223 с.
8. Баранов В.А. Микронарушенность кварца песчаников Донбасса в связи с их выбросоопасностью/Автореф. канд.дис.- Днепропетровск: ИГТм АН УССР.- I989.- I7 с.

УДК 622.83I.322:635

БОБРОВ И.А.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

В последние годы в шахтах Донбасса начал применяться новый способ текущего прогнозирования выбросоопасных зон по амплитудно-частотным характеристикам акустического сигнала (далее для краткости - прогноз по АЧХ), разработанный Днепропетровским горным институтом. От других нормативных способов прогноза он выгодно отличается технологичностью, снижением субъективизма со стороны исполнителей при принятии решения о входе забоя в выбросоопасную зону, минимальными затратами времени на прогноз.

В основе способа лежит анализ акустического сигнала, который генерируют в горном массиве машины и механизмы, работающие в выработке. Прогностическим признаком является отношение (К) амплитуды высокочастотной (ВЧ) составляющей спектра сигнала к амплитуде его низкочастотной (НЧ) составляющей. Если величина этого соотношения оказывается равной или превышает 3, то выдается прогноз "опасно". При этом полагается, что величине отношения (К) увеличивается за счет одновременного роста высоких и уменьшения низких частот, что

предшествует выбросу угля и газа.

Указанные прогностические признаки открывают широкие перспективы для автоматизации прогнозирования выбросов угля и газа. Однако, в ряде случаев надежность прогноза может снижаться за счет следующих недостатков способа.

I. Прогнозирование выбросоопасности только на основании величины отношения (К) без учета динамики амплитуд (ВЧ) и (НЧ) - составляющих приводит к снижению достоверности оценки газодинамического состояния забоя. Рост величины отношения (К) до "опасных" значений может происходить вследствие изменения амплитуды одной из составляющих, в то время как об опасности выброса свидетельствует одновременное изменение их амплитуд: для высоких частот - увеличение, для низких частот - уменьшение.

2. Выход забоя из выбросоопасной зоны устанавливается после получения первого прогноза "неопасно" и подвигания забоя в трех проходческих циклах зоны запаса, в каждом из которых должны отсутствовать "опасные" значения коэффициента (К). Вместе с тем, опыт прогнозирования показывает, что непосредственно перед выбросом угля и газа наблюдается снижение величины коэффициента (К) до "неопасных" значений. Следовательно, недостаточная обоснованность величины запаса приводит к неоправданному увеличению вероятности возникновения ошибок как первого, так и второго рода.

3. Действующий способ прогноза не предусматривает контроль качества регистрации акустического сигнала. В настоящее время решение этого вопроса в каждом конкретном случае определяется не объективными критериями, а опытом и квалификацией обслуживающего персонала. Учитывая крайнюю важность обеспечения надлежащего качества регистрации для работоспособности способа, такое положение оказывает негативное влияние на достоверность оценки выбросоопасности.

4. Одним из ключевых вопросов, определяющих работоспособность и информативность метода прогноза по АЧХ, является расположение геофона по отношению к забою выработки. В действующем способе параметры установки геофона основаны только на опыте регистрации акустического сигнала. С учетом этого является весьма актуальной разработка критериев, которые позволили бы в каждом конкретном случае оптимизировать место установки геофона для обеспечения максимальной достоверности прогноза.

С целью совершенствования способа прогноза выбросоопасности по АЧХ акустического сигнала применительно к подготовительным выработкам, проводимым с помощью буровзрывных работ, были выполнены экспериментальные исследования. Их методикой предусматривалась регистрация акустического сигнала на магнитную ленту с помощью электродинамического геофона СВ-20 и аппаратуры связи ЗУА так, как это осуществляется при ведении прогноза выбросоопасности по амплитудно-частотным характеристикам. В связи с этим, геофон забуривался в угольный пласт на расстоянии около 10 м от забоя выработки и переносился через каждые 20-30 м ее подвигания.

Исследования выполнялись в Восточном конвейерном ходке, в 5-м Восточном откаточном штреке и в 57-й бортовой выработке шахты "Заперевальная-2" ПО "Донецкуголь", которые проводились по угольному пласту h_8 "Красновиевский", мощностью - 0,7 м.

Часть экспериментов выполнялась на шахте № 6 шахтоуправления "Красная Звезда" ПО "Донецкуголь" в промежуточном штреке 9-й северной лавы. Эта выработка проводилась на полное сечение по угольному пласту h_7 "Смоляниновский", мощность которого составляла 2,0-2,1 м.

Так как при буровзрывном способе проведения выработки воздействие на забой происходит главным образом при бурении шпуров, то в целях обеспечения максимальной технологичности способа прогноза объектом исследований являлся акустический сигнал процесса бурения.

Его изучение показало, что такой сигнал является непрерывной последовательностью волновых пакетов различной длительности и частоты. На рис.1 и 2 приведены сейсмограммы сигнала бурения, который был зарегистрирован в Восточном конвейерном ходке шахты "Заперевальная-2". Они показывают, что этот сигнал является невоспроизводимым и в каждый отдельный момент времени изменяется случайным образом, то есть, он предствляет собой стохастический недетерминированный процесс.

Вместе с тем, анализ сейсмограмм позволил установить, что форма волновых пакетов зависит от типа применяемого бурового оборудования. На рис.1 изображен сигнал, зарегистрированный при бурении шпуров по углю с помощью пневмосверла СР-3 вращательного действия. Ему свойственен случайный характер следования волновых пакетов и сложная форма огибающей. В то же время, бурение шпуров ударно-вращательным способом с помощью установки БУ-1 приводит к

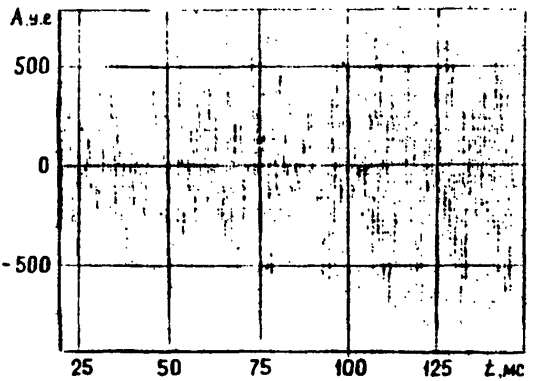

Рис.I. Сейсмограмма бурения шпура по углю в Восточном конвейерном ходке шахты "Заперевальная-2"

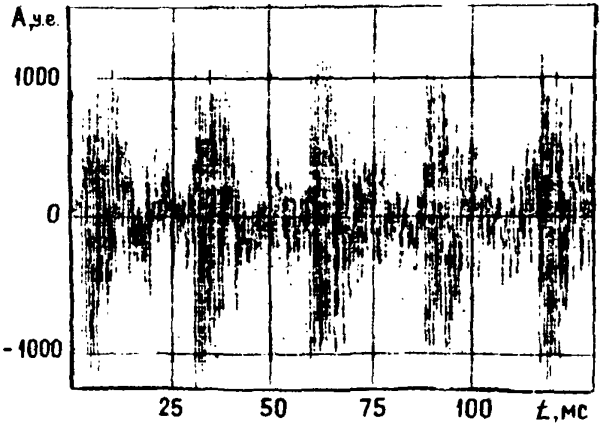

Рис.2. Сейсмограмма ударно-вращательного бурения шпура по породе в Восточном конвейерном ходке шахты "Заперевальная-2"

возникновению акустического сигнала (рис.2), который обладает более упорядоченным характером следования волновых пакетов и выраженной периодичностью поступления максимумов интенсивности сигнала. Изучение осциллограмм показало, что эти максимумы наблюдались в среднем через каждые 30,1 мс. Установлено, что частота ударов буровой штанги в данном случае составляла 2000 ударов в минуту, а период их следования - 30 мс.

Известно, что бурение шпура диаметром 42 мм не приводит к заметному перераспределению поля напряжений вокруг выработки. Вместе с тем это поле не является абсолютно неизменным при бурении. Его динамика приводит к соответствующим изменениям спектра акустического сигнала. Таким образом, бурение шпура представляет собой квазистационарный процесс. Предположение о его эргодичности делает возможным спектральное представление этого сигнала с помощью преобразования Фурье. Однако, стохастический характер сигнала вызывает необходимость осреднения амплитудно-частотных характеристик при оценке напряженно-деформированного состояния по спектру акустического сигнала.

Поскольку при вращательном бурении, например, сверлом СР-3, разрушение породы происходит вследствие ее смятия, раздавливания и скалывания буровым инструментом на поверхности забоя шпура, каждый из указанных процессов носит импульсный характер, аналогичный ударному воздействию. Следовательно, спектр возникающего в массиве акустического сигнала бурения шпуров как по углю, так и по породе определяется расположением и качеством дислокаций и не зависит от способа возбуждения упругих колебаний. Таким образом, бурение как по углю, так и по породе должно приводить к возникновению сигнала, в спектре которого присутствуют одни и те же резонансные частоты. Для проверки этого предположения были проведены следующие исследования.

В Восточном конвейерном ходке производилась регистрация акустического сигнала бурения шпуров по углю и по породе. Бурение по породе осуществлялось - установкой БУ-I, по углю - пневмосверлом - СР-3. Методикой предусматривалось ведение регистрации сигнала без изменения местоположения геофона. Обработка магнитных записей на ЭВМ выполнялась по специально разработанной программе.

В результате проведенных работ установлено, что вне зависимости от места возбуждения сигнала в его спектре присутствуют одни и те же резонансные частоты. Некоторые из полученных средних спек-

тров приведены на рис.3. Резонансные частоты на нем имеют вид спектральных максимумов. Эти данные показывают, что прогнозирование выбросов возможно без внедрения в выбросоопасный угольный массив, что способствует повышению безопасности труда.

Проведенные исследования позволили установить, что бурение по углю приводит к возникновению акустического сигнала, который характеризуется мощностью 2,5-3 раза более низкой, чем бурение по породе (табл.I). Мощность сигнала рассчитывалась как сумма амплитуд всего исследуемого диапазона частот. Полученные результаты объясняются тем, что для бурения по углю и по породе применялось разное технологическое оборудование. Они показывают, что прогноз выбросоопасности может осуществляться на основании анализа изменения спектральных характеристик акустического сигнала, возникающего при воздействии не только на угольный, но и на породный забой. Последнее является более предпочтительным, поскольку позволяет надежней выделять полезный сигнал на фоне помех, что увеличивает информативность прогнозной оценки выбросоопасности. С учетом изложенного, дальнейшие исследования были направлены на изучение спектральных характеристик акустического сигнала бурения шпуров по породе.

Известно, что регистрируемый акустический сигнал подвержен воздействию аддитивных и мультипликативных внешних помех. На его уровень (мощность и энергию), а значит и на абсолютные величины амплитуд спектра, оказывает влияние ряд факторов, например, таких, как местоположение буримого шпура, уровень усиления передающей и регистрирующей аппаратуры, применяемое буровое оборудование, изменения литологического состава пород по длине шпура и т.д. Поэтому, с целью исключения влияния на спектральные характеристики указанных факторов, производилось нормирование по мощности среднего спектра сигнала бурения.

Для оценки влияния на спектральные характеристики акустического сигнала места расположения шпура по площади забоя были проведены следующие исследования. На шахте № 6 шахтоуправления "Красная Звезда" в забое промежуточного штрека 9-й северной лавы производилась регистрация акустического сигнала бурения по углю. Изучение средних спектров бурения шпуров показало, что в пределах проходческого цикла величины амплитуд каждой частотной полосы подчиняются закону нормального распределения. На этом основании изменчивость спектральных характеристик по шпурам в пределах проходческо-

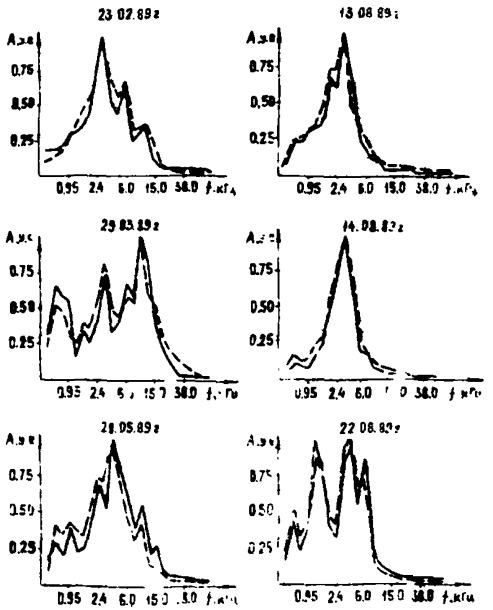

Рис.3. Сопоставление средних спектров акустического сигнала бурения шпуров по углю и по породе в Восточном конвейерном штреке шахты "Заперевальная-2":

——— - бурение по породе;

– – – – - бурение по углю

Таблица I

Данные о мощности акустического сигнала бурения шпуров в зависимости от места их расположения

Название выработки	Дата	Средняя мощность сигнала бурения, у.е.		Отношение мощности сигнала бурения по породе к мощности сигнала бурения по углю
		по углю	по породе	
Восточный конвейерный ходок	23.02.89	212,83	468,23	2,2
То же	29.03.89	137,47	384,92	2,8
-"-	28.05.89	156,57	375,78	2,4
-"-	13.08.89	96,47	299,08	3,1
-"-	14.08.89	212,48	531,22	2,5
-"-	22.08.89	185,15	481,39	2,6
57-я бортовая выработка	6.04.92	151,92	349,43	2,3
То же	7.04.92	190,78	438,81	2,3
-"-	10.04.92	165,01	429,02	2,6
-"-	13.04.92	129,46	375,45	2,9
-"-	19.05.92	118,26	378,57	3,2
-"-	20.05.92	108,07	291,80	2,7
-"-	21.05.92	101,91	305,72	3,0

го цикла оценивалась с помощью коэффициента вариации. Результаты расчетов показали, что в пределах исследуемого диапазона частот величина этого коэффициента не превысила 15%. Наибольшей изменчивостью отличалась область средних частот в диапазоне 240-950 Гц.

Аналогичные результаты получены на шахте "Заперевальная-2" в Восточном конвейерном ходке и в 57-й бортовой выработке. Они позволили установить, что бурение приводит к возникновению акустического сигнала, который, независимо от местоположения шпуров по пло-

щади забоя, обладает практически одними и теми же спектральными характеристиками. Таким образом, каждый цикл проходческих работ может быть охарактеризован средним спектром сигнала всего процесса бурения, что дает возможность исключить влияние случайных факторов и увеличить достоверность прогноза выбросоопасности. Его критерии устанавливались для условий угольного пласта h_8 "Прасковиевский". Это было вызвано следующими обстоятельствами.

Как показывает анализ статистических данных, одной из особенностей этого пласта является большое количество проявлений выбросоопасности, что значительно осложняет ведение горных работ и требует применения надежного и высокотехнологичного способа прогноза. Так, за последние 10 лет на этом пласте произошло более 30% выбросов угля и газа от их общего количества по Донбассу. В отдельные годы (например, 1980, 1987, 1990 гг.) на пласте h_8 имело место до 40% выбросов. Для таких условий данные исследования приобретают особую актуальность и имеют важное практическое значение.

Экспериментально установлено, что спектр акустического сигнала определяется структурой и напряженно-деформированным состоянием горного массива. Для определения количественных зависимостей между амплитудно-частотными характеристиками и размерами зоны разгрузки, которая отражает склонность забоя к выбросу угля и газа, были проведены специальные исследования.

Для прогноза выбросоопасности в качестве значащих переменных были приняты средние амплитуды высоко- и низкочастотной части усредненного спектра (далее для краткости - амплитуды составляющих) акустического сигнала бурения шпуров. С позиций физических представлений о природе формирования спектра эти величины характеризуют среднее качество контактов породных слоев по дислокациям, соответственно находящимся в непосредственной близости от контура выработки и удаленных от него на некоторое расстояние.

В Восточном конвейерном ходке и в 57-й бортовой выработке производились измерения величины зоны разгрузки по динамике газовыделения из шпуров. На основании их результатов, а также данных о среднем спектре акустического сигнала бурения шпуров по породе проводился корреляционный анализ. Он показал, что между величиной зоны разгрузки и средней амплитудой низко- ($A_н$) и высокочастотной ($A_в$) составляющих спектра, имеется корреляционная зависимость. Она оказалась наиболее тесной при расчете средних амплитуд низкочастотной составляющей - в диапазоне до 150 Гц, и высокочастотной -

в диапазоне 600-6000 Гц.

Экспериментальные зависимости, полученные на основании регрессионного анализа, имеют вид:

$$L_p = e^{0,28 + 0,12 A_н}, \quad (1)$$

при корреляционном отношении $r = 0,75$ и тесноте связи $\tau = 9,32$, где L_p - величина зоны разгрузки, м;

$A_н$ - средняя амплитуда низкочастотной составляющей, у.е.$\cdot 10^2$;

$$L_p = e^{1,45 - 0,15 A_в}, \quad (2)$$

при $r = 0,73$ и $\tau = 8,42$,

где $A_в$ - средняя амплитуда высокочастотной составляющей, у.е.$\cdot 10^2$.

Таким образом, значения средних амплитуд, выделяемых составляющих спектра акустического сигнала бурения, отражают напряженно-деформированное состояние горного массива впереди забоя выработки. Для дополнительной проверки зависимости указанных параметров от напряженно-деформированного состояния были проведены следующие исследования в 57-й бортовой выработке, которая проводилась в зоне надработанной в 1982 г. 3-й восточной лавы пласта h_{10}.

Непрерывные наблюдения за спектральным составом акустического сигнала позволили получить значения средних амплитуд низко- и высокочастотной составляющих спектра на всем протяжении выработки. Эти данные представляют собой измерения некоторого геофизического поля вдоль определенного пространственного направления, которые в геофизике принято называть профилями. Далее значения амплитуды высокочастотной составляющей спектра, полученные при проведении выработки, обозначим $A_в(i)$, а для области низких частот - $A_н(i)$.

В общем случае, наблюдаемое геофизическое поле представляет собой сумму нескольких полей регионального, локального и других порядков. Методикой исследований предусматривалось выделение локальной и фоновой составляющих исходного профиля. В дальнейшем значения этих составляющих будут обозначены соответственно для последовательности $A_в(i) - A_{вл}(i)$ и $A_{вф}(i)$, а для $A_н(i) - A_{нл}(i)$ и $A_{нф}(i)$.

Для выделения $A_{вф}(i)$ и $A_{нф}(i)$ применялся один из наиболее распространенных в геофизике методов, который заключается в сглаживании профиля скользящими средними. Это действие можно рассматривать как низкочастотную фильтрацию наблюдаемого поля. Вычисление

локальных составляющих производилось путем вычитания из исходных профилей значений $A_{вф}(i)$ и $A_{нф}(i)$, что аналогично высокочастотной фильтрации.

$$A_{вл}(i) = A_в(i) - A_{вф}(i) ; \quad (3)$$

$$A_{нл}(i) = A_н(i) - A_{нф}(i) \quad (4)$$

На рис.4 и 5 приведены результаты сглаживания по I5 точкам последовательностей $A_в(i)$ и $A_н(i)$. Как видно из рисунков, исследуемый профиль имел выраженную аномалию на участке выработки 34 - I3I и от ее устья. Это явление наблюдалось как по значениям $A_{вф}(i)$, так и по $A_{нф}(i)$.

С целью сопоставления местоположения обнаруженной аномалии с участком надработки пласта h_8 от оставленных при отработке лавы бутовых полос, по аналогии с целиками, были построены зоны повышенного горного давления. Это позволило определить, что местоположение обнаруженной региональной аномалии совпадает с зоной влияния выработанного пространства 3-й восточной лавы пласта h_{10} (рис.6). Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что спектр акустического сигнала отражает напряженно-деформированное состояние горного массива. Следовательно, оценка склонности забоя к выбросу угля и газа может производиться на основании динамики каждой из рассматриваемых характеристик по мере подвигания выработки.

Изменениям локальных составляющих $A_{вл}(i)$ и $A_{нл}(i)$ в процессе проведения выработки свойственна периодичность, которая наиболее четко прослеживается по значениям $A_{нл}(i)$ (рис.7,8). Ее изучение производилось путем расчета периодограмм по методу Уэлча. Анализ результатов вычислений позволил установить, что наиболее устойчивый период изменения значений $A_{нл}(i)$ и $A_{вл}(i)$ совпадает и равен I4 м. Вместе с тем обе составляющие обладают одним и тем же периодом, который соответственно для $A_{нл}(i)$ и $A_{вл}(i)$ равен 6,8 м и 7 м. Это означает, что через каждые 7 и I4 метров подвигания забоя происходит изменение обеих составляющих. Такой характер динамики $A_{нл}(i)$ и $A_{вл}(i)$ объясняется цикличностью геомеханических процессов деформаций горного массива в результате проведения выработки, которые приводят к образованию и изменению качества дислокаций при подвигании забоя, что, в свою очередь, отражается на спектре акустического сигнала. Характерно, что к месту наложения максимума $A_{вл}(i)$ и минимума $A_{нл}(i)$ приурочен выброс угля и газа интенсивностью 350 т, который произошел 27.04.92 г. (см. рис.7 и 8). Этот

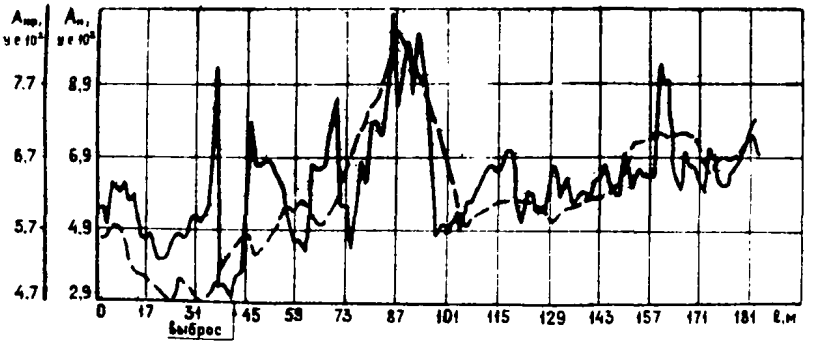

Рис.4. Результаты сглаживания скользящими средними последовательности значений амплитуды низкочастотной составляющей, полученной при проведении 57-й бортовой выработки шахты "Заперевальная-2":

——— - исходная последовательность ($A_н$);
– – – – – фоновая составляющая ($A_{нф}$);
ℓ - подвигание забоя за период наблюдений

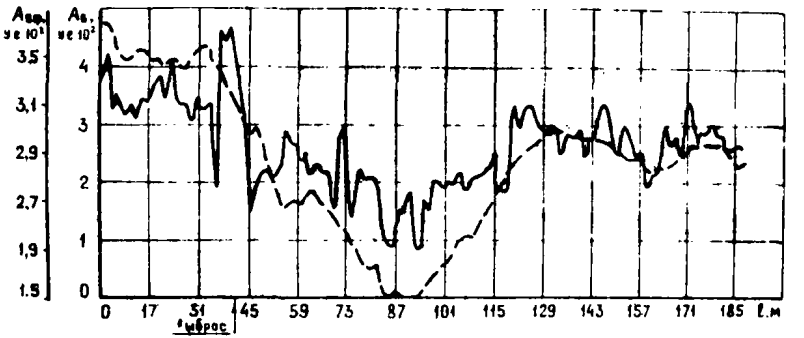

Рис.5. Результаты сглаживания скользящими средними последовательности значений амплитуды высокочастотной составляющей, полученной при проведении 57-й бортовой выработки шахты "Заперевальная-2":

——— - исходная последовательность ($A_δ$);

– – – – - фоновая составляющая ($A_{δф}$);

ℓ - подвигание забоя за период наблюдений

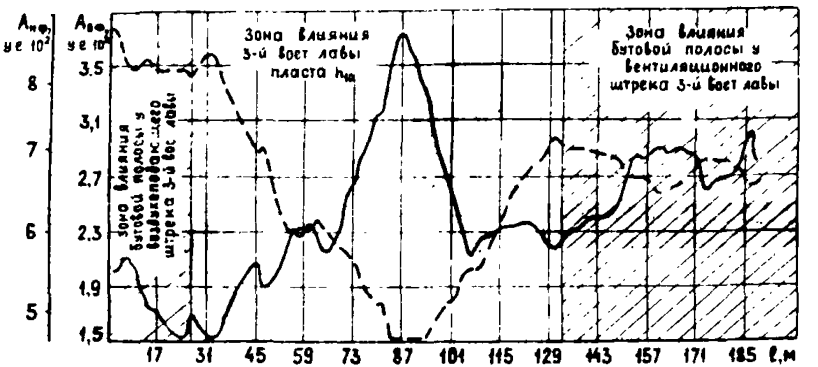

Рис.6. Сопоставление фоновых составляющих последовательностей $A_{нф}(i)$ и $A_{вф}(i)$, полученных в 57-й бортовой выработке шахты "Заперевальная-2", с зонами влияния ее надработки 3-й Восточной лавой пласта h_{10}

——— - фоновая составляющая области низких частот, $A_{нф}$;

– – – – - фоновая составляющая области высоких частот, $A_{вф}$;

ℓ - подвигание выработки за период наблюдений

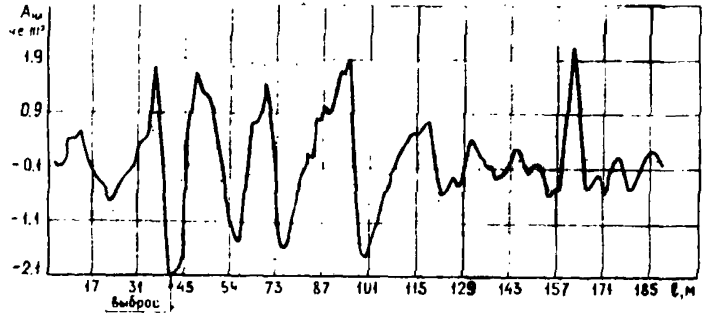

Рис.7. Локальная составляющая последовательности $A_H(i)$, выделенная по результатам наблюдений в 57-й бортовой выработке шахты "Заперевальная-2"

ℓ - подвигание забоя за период наблюдений

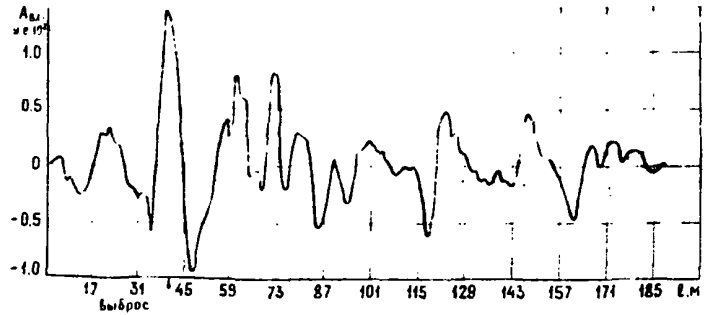

Рис.8. Локальная составляющая последовательности $A_B(i)$, выделенная по результатам наблюдений в 57-й бортовой выработке шахты "Заперевальная-2"

ℓ - подвигание забоя за период наблюдений

факт позволяет предложить в качестве одного из перспективных направлений дальнейших исследований прогнозирование выбросоопасности на основании анализа локальных составляющих $A_{нр}(i)$ и $A_{вр}(i)$.

С целью обоснования критериев оценки выбросоопасности, в трех подготовительных выработках шахты "Заперевальная-2": Восточном конвейерном ходке, 57-й бортовой выработке и 5-м Восточном откаточном штреке, выполнялись непрерывные наблюдения за изменениями спектра акустического сигнала и динамикой амплитуд его высоко- и низкочастотной части по мере подвигания забоя. Частотный диапазон составляющих был выбран таким образом, чтобы их средние амплитуды находились в максимальной корреляции с величиной зоны разгрузки, измеренной по начальной скорости газовыделения. Высокочастотная составляющая выделялась на участке спектра от 600 до 6000 Гц, а низкочастотная - до 150 Гц. Все указанные выработки проводились буровзрывным способом в режиме сотрясательного взрывания, что позволяло судить о действительной выбросоопасности забоя по фактам выбросов угля и газа. За период наблюдений было зарегистрировано 10 выбросов интенсивностью от 10 до 850 т. Общее подвигание выработок составило более 560 м при максимальном подвигании за одно взрывание - 1,4 м. Регистрация акустического сигнала бурения шпуров по породе производилась в каждом проходческом цикле и по нему же выполнялся нормативный прогноз выбросоопасности.

Исследования показали, что спектральный состав сигнала по мере подвигания выработки претерпевает значительные изменения. На участке наблюдений имел место дрейф максимума спектра в диапазоне от 50 до 1200 Гц, а амплитуды составляющих изменялись соответственно для высоких частот - от 1,2 до 4.94 у.е.$\cdot 10^2$, для низких - от 3,15 до 8,53 у.е.$\cdot 10^2$, то есть соответственно более чем в 4 и 2,7 раза.

С учетом изложенного был проведен анализ средних спектров акустического сигнала бурения, который позволил подтвердить, что выбросам угля и газа предшествует увеличение амплитуд высоких частот и их снижение в низкочастотной части спектра. Установлено, что это явление имеет место, как правило, за 2-3 проходческих цикла до проявления выбросоопасности. Как показывают экспериментальные данные, дальнейшее приближение забоя к месту выброса сопровождается уменьшением амплитуд на высоких частотах при практически неизменной величине амплитуды низкочастотной составляющей. Такой эффект объясняется следующим образом.

По мере приближения забоя выработки к месту выброса происходит развитие задержки деформаций вмещающих пород, которая, как известно, предшествует проявлениям выбросоопасности. В результате, дислокации проявляются в спектре акустического сигнала в меньшей степени. Этот процесс начинается с породных слоев, удаленных от контура выработки, о чем свидетельствует уменьшение амплитуд на низких частотах. При дальнейшем подвигании забоя он распространяется на близлежащие дислокации, что приводит к постепенному снижению амплитуды высокочастотной составляющей. Характерно, что после реализации выброса, как правило, на низких частотах происходил рост амплитуд, а на высоких - их дальнейшее уменьшение, в результате чего эти величины достигали своих фоновых значений.

Вследствии снижения амплитуды высокочастотной составляющей при ведении нормативного прогноза по АЧХ наблюдалось уменьшение коэффициента (К) до "неопасных" значений.

Таким образом, достоверность прогнозирования может быть существенно повышена, если оценка выбросоопасности будет даваться на основании анализа изменений обеих составляющих спектра.

Этот вывод подтверждается тем, что абсолютное большинство ошибок второго рода (когда прогнозировался выброс в фактически при невыбросоопасной ситуации) действующего прогноза выбросоопасности возникало в результате изменений одной из составляющих спектра. Анализ экспериментальных данных показал, что в 74% случаев действующий способ прогноза по АЧХ давал ошибки второго рода за счет увеличения амплитуды высокочастотной составляющей и только в 26% - из-за уменьшения доли низких частот.

Для определения критериев прогнозирования выбросоопасности, которые бы учитывали динамику обеих составляющих спектра акустического сигнала по средним спектрам бурения, которое предшествовало 22-м случаям выбросов (табл.2), для низкочастотной составляющей с доверительной вероятностью 0,95 была рассчитана верхняя доверительная граница. Аналогично для высокочастотной составляющей вычислялась нижняя граница. С учетом результатов этих расчетов были определены критерии оценки выбросоопасности.

В результате установлено, что прогноз "опасно" для выработок, проводимых по пласту h_8, должен выдаваться в случае, если величина $A_н$ окажется менее или равна 5,I у.е.$\cdot 10^2$ при условии, что амплитуда $A_в$ достигнет или превысит 3,I у.е.$\cdot 10^2$. Факт выхода забоя выработки из выбросоопасной зоны устанавливается по обратному изме-

Таблица 2

Данные о спектральных характеристиках акустического сигнала бурения шпуров, предшествовавшего выбросам угля и газа, в подготовительных выработках шахты "Заперевальная-2"

Выработка	Дата	Интенсивность выброса, т	Средняя величина составляющих спектра, у.е.·10^2, в области	
			низких частот	высоких частот
55-я бортовая	I7.09.86	455	4,85	3,54
Восточный конвейерный ходок	I9.06.86	I0	3,I8	4,39
	20.I2.86	I0	3,50	4,05
	I6.II.87	855	4,55	3,55
	20.04.88	600	4,65	3,52
	2.07.88	I35	3,40	4,94
	9.07.88	400	4,58	4,I9
	22.07.88	220	4,I3	3,57
	7.08.88	I0	4,68	3,42
	I0.II.88	240	4,53	3,66
	4.I2.88	200	3,47	3,7I
	I4.I2.88	I50	4,40	3,47
	2I.I2.88	300	3,83	4,07
	5.02.89	500	4,07	4,22
	2I.02.89	I0	3,73	3,95
	23.02.89	I0	3,90	3,75
	28.02.89	560	3,90	3,60
	I8.03.89	5	3,I5	3,59
	I7.04.89	I20	4,75	3,62
	I.II.89	260	3,76	3,88
57-я бортовая	27.04.92	350	3,73	3,42
	5.09.92	2I0	4,88	3,45

нению обоих параметров до их "неопасных" значений. Кроме традиционных прогнозных оценок вида "опасно" - "неопасно" по ретроспекции результатов определения величин $A_м$ и $A_в$ на предыдущих проходческих циклах можно получать информацию о тенденции изменения газодинамического состояния призабойной части угольного пласта. Для этого должен быть выполнен тренд-анализ фоновой и регулярной составляющих числовых последовательностей $A_м(i)$ и $A_в(i)$. Об увеличении вероятности выброса свидетельствует возрастающий тренд $A_{вл}(i)$ или $A_{вф}(i)$ при одновременной тенденции убывания соответственно $A_{нл}(i)$ и $A_{нф}(i)$.

Применение этих признаков выбросоопасности на экспериментальных участках в среднем позволило более чем в 4,7 раза сократить количество ошибок второго рода по сравнению с действующим способом прогноза по АЧХ акустического сигнала (табл.3). Результаты расчетов

Таблица 3

Название выработки	Способ прогноза	Количество метров пройденных с применением прогноза, м	Количество ошибок второго рода, %	Оценка надежности способа прогноза по ошибкам второго рода, %
Восточный конвейерный ходок	действующий	434	49,4	47,I
	предлагаемый	225	IO,6	83,8
5 Восточный откаточный штрек	действующий	60	55,8	3I,4
	предлагаемый	57,4	9,8	72,7
57 Сортовая выработка	действующий	285	50,2	42,9
	предлагаемый	283	I2,3	8I,8

показали, что надежность по ошибкам второго рода действующего способа прогноза на экспериментальных участках при $h_\gamma = 0,95$ в среднем составляла 40,5%, в то время, как для предлагаемых критериев она была равна 79,4%, что в I,96 раза больше. Таким образом, эти критерии позволяют более достоверно прогнозировать выбросоопасность.

Одним из основных вопросов, определяющих достоверность прогноза, является контроль качества регистрации, с целью надежного выделения полезного акустического сигнала на фоне помех. Это качество зависит от местоположения геофона по отношению к забою выработки, а также работоспособности линии связи и влиянием на нее наведенных электрических полей. Воздействие двух последних факторов может быть практически полностью устранено еще на стадии пуско-наладочных работ и задачей обслуживающего персонала является только поддержание работоспособности транслирующей линии и аппаратуры. В то же время, необходимость периодического переноса геофона по мере подвигания выработки требует обоснования минимально и максимально допустимого отставания геофона от ее забоя.

Установлено, что с удалением от источника затухание колебаний носит сложный характер и обладает частотной зависимостью. На расстоянии 1-2 длины волны амплитуда колебаний имеет максимум, после достижения которого продолжается ее снижение. Следовательно, вблизи забоя выработки имеет место локальное увеличение амплитуды высоких частот, из-за чего прогнозная оценка может быть искажена. В связи с этим, минимальное удаление геофона (L_{min}) от забоя определяется соотношением:

$$L_{min} = 2V/f ,$$

где V - скорость продольных волн, м/с;

f - нижняя граница диапазона высокочастотной составляющей, Гц.

Расчеты показали, что для принятого диапазона рабочих частот расстояние L_{min} составляет 8,3 м.

Проведенные экспериментальные работы в 57-й бортовой выработке и в 5-м восточном откаточном штреке позволили установить, что с увеличением расстояния от геофона до забоя происходит сближение мощностей полезного сигнала и помехи. На рисунке 9 приведены результаты сопоставления этих мощностей на трех интервалах переноса геофона. Выполненный корреляционный анализ позволил определить, что между удалением геофона от забоя и отношением мощностей сигнала и помехи имеется корреляционная связь. В результате регрессионного анализа получена следующая зависимость:

$$i = \frac{1}{0,33 + 0,009\,L} , \qquad (5)$$

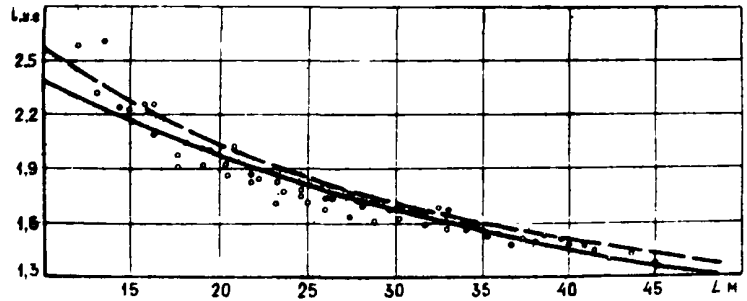

Рис.9. Регрессионная зависимость величины отношения (i) мощностей сигнала и помехи от расстояния (L) между геофоном и забоем, по результатам наблюдений в 57-й бортовой выработке шахты "Заперевальная-2"

– – – – – доверительная граница, рассчитанная с вероятностью 0,95

при корреляционном отношении r = 0,97 и тесноте связи ε = -119,08.
где i - величина отношения мощностей сигнала и помехи, у.е.;
L - удаление геофона от забоя, м.

Исследованиями установлено, что надежное выделение полезного акустического сигнала на фоне помех возможно при величине отношения i не менее I,5. С учетом этого, для найденной зависимости была рассчитана верхняя доверительная граница с вероятностью 0,99 (рис.9). Ее значение при величине отношения i = I,5 равно 40,2 м. Таким образом, удаление геофона от забоя должно быть не более чем на 40 м. При этом следует учитывать, что прогноз выбросоопасности, осуществляемый с применением ЭВМ, позволяет вести непрерывный контроль за величиной отношения i, что дает возможность оперативно и объективно оценивать качество регистрации акустического сигнала.

Таким образом, для ведения прогноза выбросоопасности в условиях угольного пласта h_8 геофон должен находиться относительно забоя выработки не ближе 8,3 м и не дальше 40 м, при выполнении условия о превышении в I,5 и более раза мощности полезного сигнала по сравнению с мощностью помех. Помехами считаются все шумы, независимо от их происхождения, возникновение которых не связано с непосредственным воздействием на забой подготовительной выработки. Следовательно, при ведении прогноза, кроме обеспечения качества связи, в выработке должно быть выключено все технологическое оборудование, кроме бурового, на том основании, что работа этих машин и механизмов приводит к возникновению постороннего акустического сигнала.

Спектр такого сигнала характеризует состояние горного массива не у забоя, а в месте установки данного оборудования. Как правило, указанное оборудование находится на некотором расстоянии от забоя выработки, там, где деформирование пород произошло в значительно большей степени. В результате, спектр такого сигнала оказывается неинформативным для прогноза выбросоопасности. Вместе с тем этот сигнал, как правило, отличается значительной интенсивностью, поскольку его источник находится близко к месту установки геофона, что препятствует получению достоверного прогноза.

Таким образом, выполненные исследования позволили усовершенствовать способ прогноза выбросоопасных зон по амплитудно-частотным характеристикам акустического сигнала при проведении подготовительных выработок буровзрывным способом в части повышения его достоверности и автоматизации.

Применение усовершенствованного способа прогноза даст возможность не только обеспечить безопасность работ, но и сократить непроизводительные материальные затраты за счет большей обоснованности применения мероприятий по борьбе с выбросами, а также режима сотрясательного взрывания на угрожаемых и опасных по выбросам угольных пластах.

Рефераты статей

УДК 622.817.47

Николин В.В., Гурин Н.И., Радченко А.Г. Природная неоднородность метаноносных угольных пластов как фактор, определяющий разработку и надежность критериев выбросоопасности //Рекомендации по повышению надежности оценки выбросоопасности призабойной части угольного пласта. МакНИИ,- 1993,- с.3-18.

Илл.3, табл.2, библиограф. 8 названий.

Освещены вопросы о природной неоднородности метаноносных угольных пластов и даны предложения по использованию природной неоднородности как фактора, определяющего разработку и надежность критериев выбросоопасности.

КС: ВЫБРОСООПАСНОСТЬ ПЛАСТА, ВЫХОД ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ, АНАЛИТИЧЕСКАЯ ВЛАГА, ЗОЛЬНОСТЬ, КРИТЕРИИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ.

УДК 622.831.322:635

Бобров И.А. Повышение надежности прогнозирования выбросов угля и газа в подготовительных выработках по спектральным характеристикам акустического сигнала //Рекомендации по повышению надежности оценки выбросоопасности призабойной части угольного пласта. МакНИИ, -1993,- с.18-42.

Илл.9, табл.3.

Приведены результаты исследований, направленных на совершенствование способа прогноза выбросоопасных зон по амплитудно-частотным характеристикам акустического сигнала в подготовительных выработках, проводимых буровзрывным способом.

КС: СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ; ВЫБРОСООПАСНАЯ ЗОНА, ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ВЫРАБОТКА.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

Введение 2

Николин В.В., Гурин Н.И., Радченко А.Г. Природная неоднородность метаноносных угольных пластов, как фактор, определяющий разработку и надежность критериев выбросоопасности 3

Бобров И.А. Повышение надежности прогнозирования выбросов угля и газа в подготовительных выработках по спектральным характеристикам акустического сигнала. I8

Рефераты статей 43

Рекомендации по повышению надежности оценки выбросоопасности призабойной части угольного пласта

Ответственный за выпуск - к.т.н. Вайнштейн Л.А.

Ротапринт МакНИИ. Заказ № 86. Тираж 500 экз. Ц.25 крб.
Формат бумаги 60х84/I6. Усл. печ.л.2,0. Уч.изд.л.I,9

г.Макеевка Донецкой обл., ул.Лихачева, 60

gost.e-ecolog.ru