

УДК 622.831.322:635

**В. П. КОПТИКОВ**, д. т. н., зам. директора по науч. работе

**А. А. РУБИНСКИЙ**, к. т. н., зав. отд.

**А. Г. РАДЧЕНКО**, науч. сотрудник

**М. Ф. РЫЖКОВ**, науч. сотрудник, МакНИИ, г. Макеевка

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ ПОЛОГИХ НАРУШЕННЫХ ПЛАСТОВ ДОНБАССА

*Представлен анализ существующих способов прогноза выбросоопасных зон и зон горно-геологических нарушений. Показано, что применение комплекса показателей, характеризующих свойства и состояния угольных пластов, а также оценка изменчивости их по критерию  $k_{изм.}$  позволят более надежно прогнозировать зоны геологических нарушений. Обоснована перспектива применения температурных исследований для решения ряда вопросов по безопасной разработке нарушенных угольных пластов Донбасса.*

**Ключевые слова:** геологическое нарушение, выбросоопасная зона, способ прогноза, коэффициент изменчивости, начальная скорость газовыделения, градиент температуры.

Многолетний опыт отработки пологих угольных пластов Донбасса свидетельствует о локальности выбросоопасности и тесной связи её с тектонической нарушенностью угольных пластов.

Аварии с несчастными случаями, в том числе и с групповыми, которые произошли на шахтах Донбасса ("Ясиновская-Глубокая", "Красноармейская-Западная № 1", им. А.Ф. Засядько, "Краснолиманская", им. А.А. Скочинского) при переходе подготовительными забоями зон горно-геологических нарушений (ГН), показали, что данная проблема является весьма актуальной. Также остро стоит вопрос о прогнозировании зон нарушений.

Целью данной статьи является теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение правомерности применения непараметрических критериев оценки свойств и состояний нарушенных пластов Донбасса для разработки новых направлений в исследовании их выбросоопасности.

По данным [1] за период 1946-1963 гг. на шахтах Донбасса произошло 790 внезапных выбросов угля и газа, из них 366 (46%) отмечены в геологических нарушениях и на расстоянии до 20 м от них. За период 1981-1990 гг. произошло 470 выбросов угля и газа, из них 66 (14%) – в зонах нарушений, 1991-2000 гг. произошел 291 выброс, из них 24 (8,2%) отмечены в зонах нарушений, и из 111 выбросов угля и газа за период 2001-2008 гг. 22 (20%) были приурочены к геологическим нарушениям.

Роль тектоники в создании выбросоопасных ситуаций в настоящее время до конца не выяснена. Проявление выбросоопасности в различных горно-геологических условиях имеет свои следующие особенности:

крайне неравномерное проявление деформаций по величине, а иногда и по знаку на смежных участках пласта;

область предельного состояния угля характеризуется резкими изменениями абсолютных величин и градиентов горного давления и давления газа, заключенного в пласте;

зоны с высокой тектонической нарушенностью, изменчивостью строения пласта и вмещающих пород контролируют в большинстве случаев формирование выбросоопасных зон, т.е. в зонах с высокой тектонической нарушенностью происходит значительное количество газодинамических явлений;

существует горизонтальная и вертикальная зональность выбросов;

выбросы происходят на ограниченных участках шахтопластов, т.е. выбросоопасность локальна;

для условий Донбасса выбросоопасные зоны характеризуются повышенными значениями коэффициентов вариации различных параметров, а именно приведенной прочности угля и степени нарушенности пласта, крепости угля и мощности пласта.

Все вышеизложенное говорит о необходимости учета неоднородности, изменчивости свойств угольных пластов. В 90-е годы прошлого столетия в МакНИИ была выдвинута рабочая гипотеза, сущность которой сводится к следующему: чем выше неоднородность, изменчивость показателей, характеризующих физико-механические свойства и состояния пласта (газо- и термодинамические), тем выше степень потенциальной выбросоопасности данного анализируемого угольного пласта. В основу гипотезы положены основные положения работ И.В. Боброва, И.А. Боброва, Ж. Матерона, А.Е. Ольховиченко, В.И. Николина, В.В. Ходота и других исследователей.

Следует отметить, что в работах А.Е. Ольховиченко принимается во внимание только изменчивость крепости и мощности пласта с помощью коэффициентов вариации  $k_{вар.f}$  и  $k_{вар.m}$ , а изменчивость начальной скорости газовыделения из шпуров  $g_n$  учитывается только в сторону её повышения, т.е. выше критического значения  $g_n$ . В работе [2] весьма убедительно доказано, что использование коэффициентов вариации  $k_{вар.m}$  при исследовании изменчивости мощности пласта не всегда оправдано и эффективно, и поэтому предложены более точные и объективные непараметрические показатели, характеризующие изменчивость угольного пласта, – коэффициенты изменчивости, предложенные ранее М.А. Протодяконовым, И.П. Шарповым, А.С. Власовым и др.

В работе [3] приведены результаты шахтных экспериментов, выполненных на особо выбросоопасном пласте  $h_8$  шахты "Запореваляная-2" ПО "Донецкуголь". Были сформированы две выборки: невыбросоопасные участки подготовительных забоев (46-я и 51-я бортовые выработки пласта  $h_8$ ) – 76 угольных проб и выбросоопасные участки (те же выработки) – 23 угольные пробы из полостей выбросов.

На неопасных участках средние арифметические значения показателей составили: выхода летучих веществ  $\bar{V}_{неоп.}^{daf} = 11,0\%$ ;  $k_{вар.} = 8,0\%$ ; аналитической влаги  $\bar{W}_{неоп.}^a = 0,7\%$ ;  $k_{вар.} = 29,0\%$ . Для опасных участков:  $\bar{V}_{оп.}^{daf} = 11,6\%$ ;  $k_{вар.} = 9,0\%$ ;  $\bar{W}_{оп.}^a = 1,4\%$ ;  $k_{вар.} = 56,0\%$ .

Таким образом, доказано, что изменчивость показателей  $\bar{V}^{daf}$  и  $\bar{W}^a$  на выбросоопасных участках выше, эти участки отличаются более высокой неоднородностью свойств.

В работе [4] показано, что средние арифметические значения скорости десорбции газа из угольных проб  $V_{дес.}$  и их коэффициенты вариации  $k_{вар.}$  в выбросоопасных зонах выше ( $\bar{V}_{дес.} = 5,92$  мм. рт. ст./сек;  $k_{вар.} = 49,5\%$ ) по сравнению с неопасными зонами ( $\bar{V}_{дес.} = 2,90$  мм. рт. ст./сек;  $k_{вар.} = 10,6\%$ ).

В работе [5] выполнено сравнение участков с нормальными условиями залегания пласта и в зонах геологических нарушений. Пока-

зано, что средние арифметические значения показателей:  $g_n$  – начальной скорости газовыделения из шпуров,  $He, \%$  – концентрации гелия в составе газов, отобранных из скважин,  $tg \delta$  – тангенса угла диэлектрических потерь,  $\Delta P$  – показателя начальной скорости газоотдачи из проб угля,  $\Delta J$  – показателя структурной нарушенности угля,  $X_{прир.}$  – природной газоносности угольных пластов и значения их коэффициентов изменчивости  $k_{изм.}$  объективно отражают картину повышенной изменчивости свойств и состояний угольного пласта в зонах геологических нарушений по сравнению с нормальными условиями залегания пластов. В то же самое время, коэффициенты вариации приведенных выше показателей очень часто не являются объективными и не отражают полностью физическую сущность происходящих изменений.

Проанализируем объемы применяемых на сегодня способов прогноза выбросоопасности угольных пластов, данные о которых за период 2006-2008 гг. приведены в таблице.

Таблица

Объемы применения способов прогноза выбросоопасности  
на шахтах Донбасса за 2006-2008 гг.

Способ прогноза выбросоопасности	Количество забоев (очистных/подготовительных) на пластах					
	опасных			угрожаемых		
	2006г.	2007г.	2008г.	2006г.	2007г.	2008г.
1	2	3	4	5	6	7
Текущий прогноз по акустической эмиссии (АЭ) горного массива	38/20	40/24	50/39	14/3	17/2	25/6
Текущий прогноз по начальной скорости газовыделения из шпуров	32/81	21/68	14/72	51/124	45/111	27/108

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Локальный прогноз выбросоопасности угольных пластов	2/--	2/1	---	21/25	28/47	22/49
Автоматизированный контроль выбросоопасности по параметрам техногенного акустического сигнала	12/3	13/9	10/21	3/13	7/12	7/20
Определение зоны разгрузки по динамике газовыделения из шпуров	10/6	8/2	5/1	3/11	3/15	4/15

Как видно из таблицы, в 2008 г. по сравнению с предыдущими годами по-прежнему в большом объеме применялись текущий прогноз выбросоопасности по начальной скорости газовыделения из шпуров и по АЭ горного массива (69% выработок из общего их числа, проводимых с прогнозом), на долю оставшихся трех видов прогноза приходится порядка 31% очистных и подготовительных забоев. Следует отметить, что в представленных нормативных способах прогноза выбросоопасности [6] не учитываются ряд физических процессов, термодинамические характеристики угольного пласта, не используются  $k_{изм.}$  и данные способы прогноза оказываются не всегда информативными для прогнозирования зон геологических нарушений.

Способам прогноза зон геологических нарушений уделено много работ исследователей. В МакНИИ разработаны и испытаны опытные образцы шахтного радиолокатора ШРЛ-1 и анализаторы структуры массива АСМ-1. Радиолокатор ШРЛ-1 предназначен для прогноза зон ГГН с амплитудами  $A \geq 0,5$  мощности пласта, прибор АСМ-1 – для поиска зон геологических нарушений структурного типа по изменению диэлектрической проницаемости угольного пласта по показателю  $tg\delta$  – тангенса угла диэлектрических потерь, выполнен скважинный вариант прибора АСМ-1. Разработанные способы не применяются в виду отсутствия в настоящий момент заводов-изготовителей приборов и сложности самой аппаратуры.

Известен способ прогноза выбросоопасности угольного пласта по измерению градиента его температуры в скважинах [7]. В данном способе не учтен ряд физических процессов, явлений и физических эффектов, прогноз ведется только по градиенту повышения температуры, снижение температуры не учитывается, способ не позволяет прогнозировать зоны ГГН.

Большая работа по разработке способа прогноза зон ГГН выполнена в МакНИИ сотрудниками д.т.н. Маевским В.С. и к.т.н. Кременевым О.Г. Ими разработан способ прогноза зон геологических нарушений по ИК-излучению угольного забоя. Прогностическим признаком входа забоя в зону ГГН служит снижение температуры угольного пласта, а также повышенная её изменчивость по ИК-излучению в самой зоне нарушения.

Способ прошел промышленные испытания, была выпущена опытная партия приборов СТГ-У5 для прогноза зон ГГН по ИК-излучению поверхности очистного забоя. За время применения данного способа было установлено, что зонам геологических нарушений присуща повышенная изменчивость температуры, измеряемой в ИК-диапазоне, по сравнению с нормальными условиями залегания угольного пласта. Из-за отсутствия заводов-изготовителей и распада СССР способ не нашел широкого применения на шахтах Донбасса.

Исследования, выполненные Фейтом Г.Н., Малиниковой О.Н., Гайко В.И., Денисенко С.М., Канцаном П.М., показали, что при повышении концентрации напряжений в призабойной части угольного пласта растет и температура пласта.

В последнее время существенно возрос интерес к проведению температурных исследований в России, намечены наиболее перспективные направления исследований [8].

Интересные сведения о возможности прогнозирования зон ГГН приводит В.А. Шатилов [9]. По данным его работы на шахтах № 7-8 им. Калинина ПО "Донецкуголь" и "Коммунист-Новая" ПО "Октябрь-уголь" отмечалась повышенная температура угля (более 25°C) в активных по выбросам зонах геологических нарушений по сравнению с температурой горных пород. В нормальных условиях залегания пласта температура угля составляла 14,2÷18,9°C, а температура боковых пород – 16,4÷19,8°C. Таким образом, величина градиента (изменение) температуры угля в скважинах, пробуренных по угольному пласту, может служить в качестве прогностического параметра для прогноза зон геологических нарушений.

Обобщение многочисленных источников литературы по вопросам прогнозирования зон геологических нарушений и оценки степени их выбросоопасности позволяет констатировать, что для надежного прогнозирования данных зон и достоверной оценки степени их выбросоопасности на нарушенных выбросоопасных угольных пластах наиболее информативными являются следующие параметры:

$J_{тр.}$  – интенсивность трещиноватости пласта, ед./п.м.;

$f$  – коэффициент крепости угля;

$\Delta J$  – показатель структурной нарушенности угля (йодный показатель), мг/г;

$m$  – мощность пласта, м;

$H$  – глубина залегания пласта, м;

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

$y$  – толщина пластического слоя угля, мм;

$M$  – комплексный показатель степени метаморфизма угля, у.е.;

$Q_{штыба}$  – весовой выход бурового штыба, г;

$\ell_p$  – величина зоны разгрузки пласта, м;

$\ell_{оп.}$  – расстояние до максимума опорного давления, м;

$g_n$  – начальная скорость газовыделения из шпура, л/мин;

$\Delta P$  – начальная скорость газоотдачи угля, у.е.;

$X_{прир.}$  – природная газоносность пласта, м<sup>3</sup>/т с.б.м.;

$V_{дес.}$  – скорость десорбции газа из угольных проб, мм.рт.ст./сек;

$CH_4$  – концентрация метана по данным лент автоматической газовой защиты (АГЗ), %;

$k_{max}$  – коэффициент, характеризующий положение максимального измеренного газовыделения по длине шпура, у.е.;

$\sum g_{n,i}$  – суммарное газовыделение по длине шпура, л/мин;

$T_{угля.пов.}$  – температура угля на поверхности стенки шпура, °С.

Прогнозирование зон геологических нарушений и оценка степени их выбросоопасности должны включать комплексное измерение физико-механических свойств, напряженного, газового и термодинамического состояний угольного пласта (см. рисунок). Оценка степени изменчивости вышеуказанных параметров должна выполняться не только по классическим статистическим критериям (среднее арифме-

тическое значение параметра  $\bar{a}$ , дисперсия  $\sigma^2$ , стандарт  $\sigma$ , коэффициент вариации  $k_{вар.}$ ), но и по непараметрическим критериям – коэффициентам изменчивости исследуемого параметра.

## ВЫВОДЫ

1. Выбросоопасные зоны отличаются повышенной изменчивостью основных показателей, характеризующих состояние пласта.
2. Зоны геологических нарушений усиливают неоднородность угольного пласта в одних случаях и ослабляют её в других.
3. Для наиболее объективной оценки изменчивости ряда параметров, измеряемых на данном участке угольного пласта, наряду с классическими статистическими критериями следует применять непараметрические критерии – коэффициенты изменчивости  $k_{изм.}$ .
4. Данные температурных измерений в скважинах длиной 6–7 м могут быть использованы для определения расстояний влияния зон разрывных геологических нарушений висячем и лежачем их крыльях, границ структурных, пликативных и разрывных нарушений, прогнозирования зон тектонической нарушенности пласта, дифференциации отдельных участков угольного пласта по степени их газовой и термодинамической активности, оценки степени выбросоопасности зон ГГН различных типов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров И. В. Борьба с внезапными выбросами угля и газа / И. В. Бобров, Р. М. Кричевский. — К. : Техника, 1964. — 328 с.
2. Агафонов А. В. Обоснование методологии исследования изменчивости свойств и состояний пологих нарушенных шахтопластов / А. В. Агафонов, А. Г. Радченко, И. В. Бабенко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. — Макеевка-Донбасс, 1996. — С. 250–256.



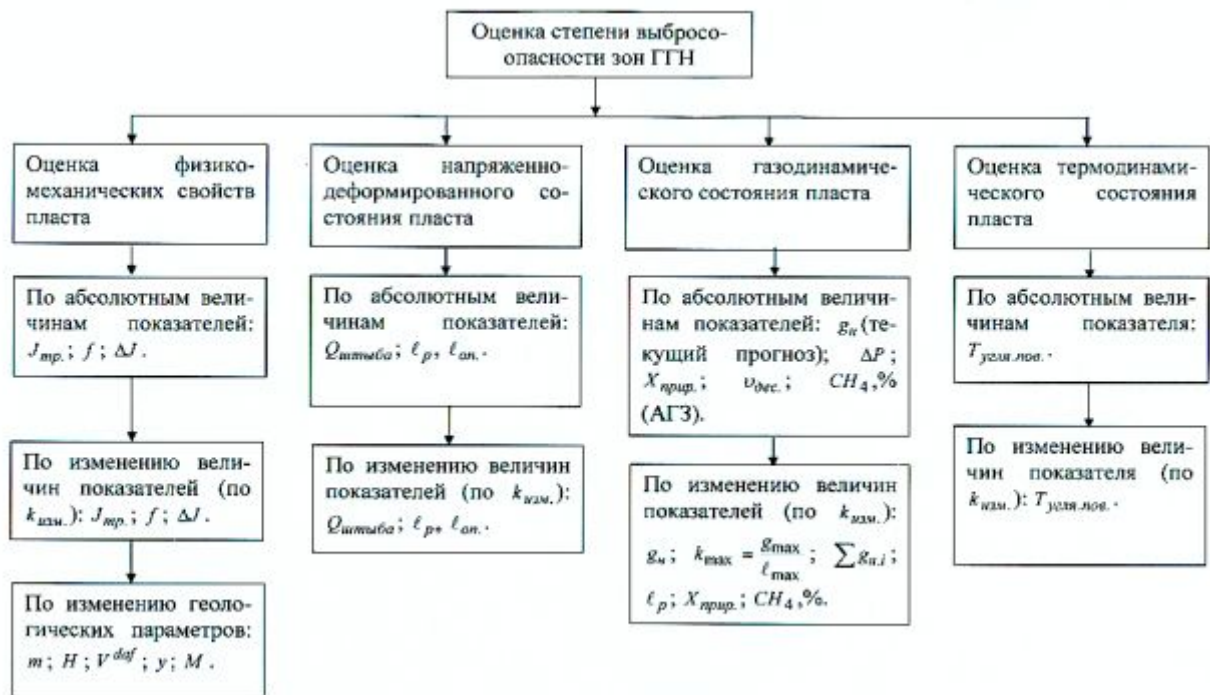


Рисунок – Схема прогнозирования зон ГГН и оценки степени их выбросоопасности

3. Николин В. В. Природная неоднородность метаноносных угольных пластов как фактор, определяющий разработку и надежность критериев выбросоопасности / В. В. Николин, Н. И. Гурин, А. Г. Радченко // Рекомендации по повышению надежности оценки выбросоопасности призабойной части угольного пласта. – Макеевка-Донбасс, 1993. – С. 3–18.
4. Агафонов А. В. Сравнительная оценка степени выбросоопасности различных участков на пологих шахтопластах / А. В. Агафонов, А. Г. Радченко, В. П. Евдокимова // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1995. – С. 63–70.
5. Рубинский А. А. Повышение надежности прогнозирования выбросоопасности пологих нарушенных угольных пластов / А. А. Рубинский, В. М. Приходько, А. Г. Радченко // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1995. – С. 102–110.
6. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.00174088.011-2005. – Офиц. изд. – К.: Минуглепром Украины, 2005. – 225 с. – (Стандарт Минуглепрома Украины).
7. Рыженко И. А. Прогноз выбросоопасности призабойной части пластов по температурному режиму / И. А. Рыженко, И. Я. Еремин // Уголь Украины. – 1988. – № 3. – С. 36–37.
8. Радченко С. А. Научное обоснование методов экспресс-оценки выбросоопасности и газоносности призабойной зоны пласта по температуре угля / С. А. Радченко // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – № 5. – С. 29–32.
9. Шатилов В. А. Зональность внезапных выбросов угля и газа в шахтах Донбасса / Шатилов В. А. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 120 с.

Получено: 30.10.08