

# **МЕТОД РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗА критической глубины проявления внезапных выбросов на шахтах Кузбасса**

**П.В. ЕГОРОВ**

Д-р техн. наук (КузГТУ)

**В.А. КНУРЕНКО**

Д-р техн. наук (КузГТУ)

**Л.М. КНУРЕНКО**

Канд. техн. наук (КузГТУ)

**В.А. РУДАКОВ**

Канд. техн. наук (ВостНИИ)

Перспективы подземной добычи на угольных месторождениях Кузбасса и технико-экономические показатели работы шахт в значительной мере определяются горно-геологическими условиями разработки. Ритмичная и эффективная работа зависит от точности прогнозов горно-геологических условий разработки пластов, в том числе и от достоверного прогноза зон газодинамической активности угольных пластов. Практика ведения горных работ показала, что проявление газодинамической активности в виде внезапных выбросов угля и газа, внезапных высыпаний и обрушений с повышенным газовыделением или других явлений отрицательно сказывается на технико-экономических показателях работы

шахты, приводит к повышению производственного травматизма и нередко к катастрофическим последствиям.

До 1980-х гг. зоны газодинамической активности угольных пластов в Кузбассе устанавливались при ведении горных работ начиная с критической глубины проявления внезапных выбросов, равной 150 м. Однако минимальная глубина проявления внезапных выбросов в различных месторождениях Кузбасса изменяется от 150 до 710 м. Проведение прогноза выбросоопасности угольных пластов из выработок и выявление зон газодинамической активности с глубины 150 м в некоторых шахтах сопровождалось необоснованными остановами забоев, снижением производительности труда до 20% и увеличением себестоимости 1 т угля до 40%.

В связи с этим в КузГТУ были проведены исследования закономерности распределения газодинамических явлений по площади угольных пластов и глубине их залегания, что позволило разработать **метод регионального прогноза зон газодинамической активности угольных пластов, который включает:**

- установление критической глубины проявления внезапных выбросов угля и газа;
- геометризацию точек перегиба угольных пластов и выявленных дизъюнктивных нарушений как зон наибольших сдвигающих деформаций;
- анализ диаграмм *КС* и *ГК* из зон сдвигающих деформаций с целью прогноза степени тектонической нарушенности и потенциальной выбросоопасности угольных пластов.

В основе метода лежат статистические зависимости верхней границы проявления выбросов от совокупности геологических показателей. При установлении закономерности распределения внезапных выбросов по глубине использовался алгоритм распознавания образов, позволивший на основе анализа многофакторных закономерностей по данным прошлого опыта выработать решающее правило разделения объектов обучающей выборки на классы и получить многофакторную зависимость верхней границы внезапных выбросов от геологических показателей [1, 2].

На первом этапе установления закономерности изменения минимальной глубины

**Совокупность геологических показателей, характеризующих свойства угля и условия залегания угольного пласта**

Обозначение показателя	Наименование показателя	Единица измерения
$H_g (H_p)$	Глубина проявления газодинамического явления (разработки)	м
$H_0$	Глубина залегания ПМЗ	м
$grad\ x$	Градиент метаноносности	м <sup>3</sup> /т/100 м
$X$	Природная газоносность угля	м <sup>3</sup> /т
$V^{daf}$	Выход летучих веществ из угля	%
$F$	Содержание фюзинита	%
$A^c$	Зольность угля	%
$W^p$	Влага аналитическая	%
$m$	Мощность угольного пласта	м
$\alpha$	Угол падения угольного пласта	град
$\sigma_\alpha$	Изменчивость угла падения	град
$\beta$	Угол дизъюнктива	град
$d_g, d_n$	Расстояния до вышележащего и нижележащего угольных пластов	м
$h_{нк}, h_{ок}$	Мощности непосредственной и основной кровли	м
$v$	Скорость современных вертикальных движений земной поверхности	мм/год
$\Delta t$	Температурный градиент	°C/100 м
$n$	Число угольных пачек	шт
$K_j$	Показатель дизъюнктивной нарушенности	км <sup>-1</sup>

Таблица 2

**Результаты оценки информативности и тесноты связи**

Признак	Условная энтропия, бит	Количество информации $J$		Коэффициент Чупрова $T$
		бит	%	
$H_g /  grad\ x $	0,7373	0,2481	25,2	0,61
$H_0$	0,8417	0,1635	16,6	0,29
$V^{daf}$	0,8619	0,1235	12,5	0,21
$F$	0,8819	0,1035	10,5	0,20
$\alpha$	0,8827	0,1027	10,4	0,19
$\beta$	0,8841	0,1013	10,3	0,19
$\Delta t$	0,8829	0,1025	10,4	0,19
$v$	0,8359	0,1495	15,2	0,29

Таблица 3

**Прогнозная и фактическая глубины проявления выбросоопасности при разработке угольных пластов на шахтах Кузбасса**

Шахта	Глубина проявления выбросоопасности, м		Дата	
	прогнозная	фактическая	проявления выбросоопасности	выдачи заключения
"Первомайская"	300	330	06.95	28.09.90
"Бирюлинская"	300	355	05.91	28.09.90
"Березовская"	300	325	02.93	28.09.90
им. Волкова	290	325	08.95	22.12.94
"Чертинская"	300	320	05.93	31.12.91
"Западная"	320	340	03.94	31.12.91
"Новая"	300	320	07.92	31.12.91
№ 12	255	340	09.90	16.12.86
"Красногорская"	240	240	04.89	04.01.87
"Юбилейная"	370	530	07.90	28.12.88
"Абашевская"	300	400	03.90	28.12.88
"Высокая"	300	380	05.92	12.04.89
"Капитальная"	490	490	07.94	12.04.89
"Томская"	230	250	06.91	26.09.89
"Усинская"	450	500	08.92	26.09.89
им. Ленина	265	310	07.90	26.09.89

ны проявления внезапных выбросов была сформирована обучающая выборка, состоящая из 128 объектов (участков шахтопластов из 11 основных районов Кузбасса), каждый из которых описывался набором из 20 геологических признаков, характеризующих напряженно-деформированное состояние массива пород, физико-механические свойства угля и условия залегания угольных пластов (табл. 1).

По наличию или отсутствию газодинамических явлений объекты обучающей выборки были разделены на два класса: класс А – выбросоопасные зоны (55 объектов) и класс В – невыбросоопасные зоны (78 объектов).

На втором этапе произвели анализ информативности геологических показателей и снизили размерность признакового пространства. В табл. 2 приведены результаты оценки количества информации по Шеннону ( $J$ ), вносимой региональными показателями выбросоопасности угольных пластов, и темноты связи выявленных геологических показателей с выбросоопасностью, рассчитанной на основе критерия  $\chi^2$  и измеренной нормированным коэффициентом взаимной сопряженности Чупрова ( $T$ ).

Как следует из табл. 2, выбросоопасные и невыбросоопасные зоны имеют существенные отличия в показателях напряженно-деформированного состояния массива ( $H_g / |grad\ x|$ ,  $H_0$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\Delta t$ ,  $v$ ) и показателях сорбционных и прочностных свойств угля ( $V^{daf}$  и  $F$ ). При этом установлено, что количество информации, вносимой показателем изменчивости газоносности с глубиной ( $H_g / |grad\ x|$ ), значительно превышает количество информации, вносимой любым другим региональным показателем выбросоопасности угольных пластов, а величина коэффициента Чупрова  $T=0,61$  указывает на достаточно тесную связь этого показателя с выбросоопасностью угля.

В результате исследования информативности и с учетом доступности при установлении закономерности распределения верхней границы проявления внезапных выбросов угля и газа  $H_g$  в шахтах Кузбасса из 19 геологических показателей использовались первые шесть показателей выбросоопасности (см. табл. 2).

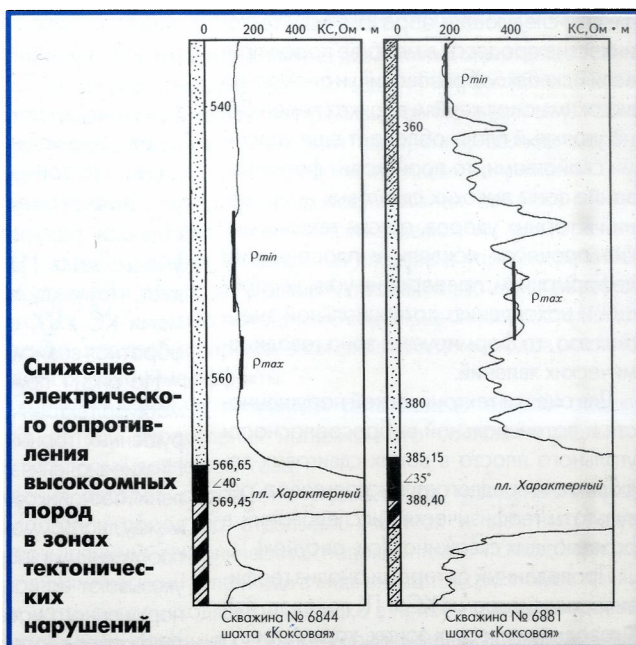
На третьем этапе обработки представили каждый объект обучающей выборки (выбросоопасные и неопасные зоны) точкой в 7-мерном пространстве, координатами которой являются показатели  $H_0$ ,  $H_g / |grad\ x|$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $V^{daf}$ ,  $F$ , и установили уравнение разделяющей гиперповерхности, из которого получили аналитическую зависимость верхней границы проявления внезапных выбросов угля и газа от региональных показателей выбросоопасности, которая имеет вид



Таблица 4

## Типы газодинамических зон и их характеристики

Характеристика	Тип зон		
	I	II	III
Размеры зон, м × м	250 × 75	600 × 150	1 250 × 250
Площадь зон, км <sup>2</sup>	до 0,015	0,015 - 0,10	более 0,10
Количество выбросов в зоне	1 - 2	3 - 4	более 5
Общее количество выбросов	23	33	134
Максимальное количество выделившегося газа, тыс. м <sup>3</sup>	13 - 30	6 - 60	10 - 50
Максимальное количество выброшенного угля, т	350	305	450
Количество выявленных зон	149	147	18
Общая площадь зон, км <sup>2</sup>	2,2	9,5	3,1
Минимальная глубина зоны, м	300 - 600	200 - 300	150 - 200
Скорость вертикальных движений поверхности, мм/год	(-1) - 2	1 - 3	2 - 5
Критическая газоносность, м <sup>3</sup> /т	15 - 18	13 - 16	11 - 13
Выход летучих, %	10 - 40	15 - 30	18 - 25
Глубина залегания ПМЗ, м	120 - 250	100 - 180	80 - 120



$$H_b = 100 + \frac{(H_0 - 90)^2}{75} + \frac{(V^{daf} - 22)^2}{2} + \frac{1}{10} \left( \frac{H_0}{grad x} \right)^2 + \frac{(\alpha - 45)^2}{50} + \frac{600}{F} + 2,0\beta, \quad (1)$$

где  $H_b$  – верхняя граница проявления внезапных выбросов угля и газа, м

Анализ уравнения (1) показывает, что все внезапные выбросы угля и газа в горных выработках шахт Кузбасса происходят в зоне метановых газов и наименьшая глубина их проявления приурочена к участкам угольных пластов, характеризующихся мощностью зоны газового выветривания  $H_0 = 80 - 100$  м, высоким градиентом нарастания метаносности  $grad x$ , выходом летучих веществ  $V^{daf} = 20 - 24\%$ , углом падения угольного пласта  $\alpha = 45^\circ$  и углом дизъюнктива  $\beta < 45^\circ$ .

Установленную закономерность распределения внезапных выбросов по глубине (1) использовали при разработке метода прогноза критической глубины их появления в горных выработках шахт Кузбасса. Для создания некоторого резерва безопасности прогнозную глубину выбросов угля и газа  $H_{кр}$ , принимая несколько меньше  $H_b$ , определяем по формуле

$$H_{кр} = 100 + \frac{(H_0 - 100)^2}{100} + \frac{(V^{daf} - 22)^2}{2} + \frac{1}{10} \left( \frac{H_0}{grad x} \right)^2 + \frac{(\alpha - 45)^2}{50} + \frac{600}{F + 5} + 2,0\beta, \quad (2)$$

где  $H_{кр}$  – прогнозная глубина появления внезапных выбросов

Полученная зависимость (2) позволила оценить по геологоразведочным данным критическую глубину появления внезапных выбросов для всех шахт Кузбасса [3, 4] Установлено, что прогнозная глубина появления внезапных выбросов угля и

газа по площади Кузбасса изменяется от 150 до 600 м. Десятилетний опыт ведения горных работ и исследования по прогнозу выбросоопасности из горных выработок показали соответствие прогнозных глубин проявления внезапных выбросов угля и газа фактической выбросоопасности угольных пластов (табл. 3).

Для изучения зональности и установления размеров зон газодинамической активности было проанализировано более 10 000 замеров показателя выбросоопасности угольных пластов на всех выбросоопасных шахтах. Нанесение показателя выбросоопасности горных работ позволило на 40 выбросоопасных шахтопластах выявить 314 зон газодинамической активности, сделать вывод об их вытянутой форме и установить, что размеры зон в различных районах Кузбасса изменяются от 0,010 до 0,30 км<sup>2</sup> Основываясь на шахтных замерах показателя выбросоопасности, газодинамические зоны угольных пластов условно разделили на три типа [3, 5].

Первый тип зон характеризуется овальной формой с наибольшими размерами 250 × 75 м и площадью до 0,015 км<sup>2</sup>, второй тип зон имеет вытянутую форму и площадь от 0,015 до 0,10 км<sup>2</sup>, а третий тип зон имеет линейно-вытянутую форму с размерами более 1 000 × 100 м и площадью более 0,10 км<sup>2</sup> (табл. 4)

Нанесение выявленных 314 газодинамических зон на карту современных вертикальных движений земной поверхности Кузбасса позволило установить взаимосвязь выбросоопасности угольных пластов со скоростями вертикальных движений поверхности шахтного поля Установлено, что в районах интенсивных поднятий земной поверхности (поля шахт «Се-

верная» и «Ноградская») газодинамические зоны имеют площадь более 0,10 км<sup>2</sup> и минимальная глубина залегания этих зон составляет 150 – 200 м, а в районах слабых поднятий или опусканий (поля шахт «Анжерская», «Капитальная» и др.) газодинамические зоны (площадью до 0,015 км<sup>2</sup>) характеризуются единичными выбросами и минимальной глубиной залегания – более 300 м.

Анализ геолого-маркшейдерской документации позволил авторам установить, что более 50% зон газодинамических явлений непосредственно не связаны с плоскостями сместителей дизъюнктивов, а приурочены к точкам перегиба угольных пластов [5]

Проведенные теоретические исследования показали, что к точкам перегиба угольных пластов приурочены наибольшие сдвигающие напряжения и деформации. При достаточной величине горизонтальных сил в этих зонах упругие деформации переходят в неупругие, и начинается процесс необратимых деформаций, разрушения и проскальзывания пород по определенным плоскостям. При этом в зонах сдвиговых деформаций образуются микротрещины отрыва, повышается пустотность пространства, и возникающий перепад порового давления газа приводит к переносу угольной пыли и газа. Насыщение метаном тектонически нарушенного угля приводит к его набуханию, снижению газопроницаемости и формированию зон потенциальной выбросоопасности угольных пластов

Приуроченность динамических и газодинамических явлений к точкам перегиба угольных пластов позволяет сформулировать механизм формирования очагов этих динамических явлений с позиций тектоно-

физики следующим образом: если тектонические процессы в массиве пород привели к складкообразованию и аномально высоким напряжениям в точках перегиба, но угольный пласт обладает еще упругими свойствами, то происходит формирование зоны высоких сдвиговых напряжений и горных ударов, а если тектонические процессы привели к пластическим деформациям, препарации угля, десорбции и накоплению потенциальной энергии газа, то формируется зона газодинамических явлений.

Для оценки тектонической нарушенности и потенциальной выбросоопасности угольного пласта в зонах сдвиговых деформаций предлагается использовать результаты геофизических исследований в разведочных скважинах (см. рисунок).

Проведенный авторами анализ геофизических диаграмм КС и ГК показал, что в газодинамических зонах, характеризующихся тектонической нарушенностью угля, происходит не только значительное уменьшение электрического сопротивления высокоомных горных пород (песчаников и алевролитов), но и снижение объективной зависимости и коэффициента корреляции  $r$  между значениями электрического сопротивления  $\rho$  и естественной радиоактивности  $I_\gamma$  пород.

Анализ диаграмм геофизических исследований в геологоразведочных скважинах установил, что каждая литологическая разность ненарушенного массива характеризуется своими значениями ка-

жущегося электрического сопротивления  $\rho$  и естественной радиоактивности  $I_\gamma$ . При этом кривая КС является зеркальным отражением кривой ГК, так как при переходе от аргиллитов к алевролитам и песчаникам электрическое сопротивление пород  $\rho$  закономерно возрастает, а естественная радиоактивность этих пород  $I_\gamma$  уменьшается. Из вышеизложенного следует, что между геофизическими диаграммами КС и ГК существует объективная обратная зависимость.

На рис. 1 приведены характерные для массива тектонически нарушенных и ненарушенных горных пород диаграммы КС. Низкие значения электрического сопротивления песчаников и отсутствие взаимосвязи между диаграммами КС и ГК по скважинам, пробуренным в выбросоопасных зонах, четко указывают на наличие зоны тектонически нарушенного массива пород и угля и подтверждают теоретические рассуждения о возможности выявления зон тектонической нарушенности и потенциальной выбросоопасности угольных пластов по результатам стандартных геофизических исследований разведочных скважин [5].

Результаты исследований по оценке потенциальной выбросоопасности угольных пластов позволили опустить критическую по внезапным выбросам глубину ведения горных работ для некоторых шахт до 600 м и получить экономический эффект за счет исключения необоснованного применения прогноза выбросоопасности из забоев горных выработок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов Б.Г., Кнуренко В.А., Кнуренко Л.М. Оценка ожидаемой выбросоопасной глубины разработки шахтопластов Кузбасса по геологическим данным // Вопросы рудничной аэрологии. Сб. науч. тр. № 4 / Кузбасс политехн. ин-т – Кемерово, 1976 – С. 25 – 28.
2. Кнуренко В.А., Кнуренко Л.М. Применение методов распознавания образов для прогноза критической выбросоопасной глубины в Кузнецком бассейне // Геологические методы поисков и разведки месторождений тверд. горюч. ископаемых. Экспресс-информация / ВНИИ эконо. минер. сырья и геологоразведочных работ – М., 1986. Вып. 1. – С. 1 – 5.
3. Кнуренко В.А., Рудаков В.А., Егоров П.В., Сурков А.В. Региональный прогноз выбросоопасности угольных пластов Кузбасса – Кемерово. 1997. – 119 с.
4. Временная методика по прогнозу критической глубины появления внезапных выбросов угля и газа на угольных месторождениях Кузбасса по геологоразведочным данным – Кемерово. ВПО «Кузбассуголь», 1982. – 11 с.
5. Кнуренко В.А., Рудаков В.А. Зональность газодинамических явлений в шахтах Кузбасса / Под. ред. д.т.н., проф. П.В. Егорова. – Кемерово. КузГТУ. 1998. – 227 с.