

УДК 622. 831.322:635

**ПРИМЕНЕНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К
УСТАНОВЛЕНИЮ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ
ВЫБРОСООПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПОЛОГИХ
НАРУШЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДОНБАССА**

Киселёв Н. Н.

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

Радченко А. Г.

(МакНИИ, г. Макеевка, Украина)

Розглянуто алгоритм проведення досліджень з встановлення особливостей формування викиднебезпечності на пологих порушених пластах. На основі застосування синергетичного підходу була запропонована робоча гіпотеза формування викиднебезпечності на пологих пластах. Експериментально доведені правомірність застосування основних положень робочої гіпотези і коефіцієнтів мінливості ряду параметрів з метою диференціації окремих ділянок вугільних пластів за ступенем їх викиднебезпечності.

The algorithm for conducting investigations to define features of forming outburst hazard at flat faulted seams is considered. Based on the use of synergetic approach a working hypothesis related to forming of outburst hazard at flat seams was proposed. Appropriateness of the use of basic provisions of the working hypothesis and coefficients of variation of a number of parameters with the aim of differentiation of separate areas of coal seams by the degree of their outburst hazard were proved experimentally.

В 1834 году во Франции на шахте «Исаак» был зарегистрирован первый выброс угля и газа. С тех пор проблеме борьбы с внезапными выбросами угля и газа были посвящены работы мно-

гих исследователей. В настоящее время общепринятой теорией проявления выбросов является энергетическая теория В. В. Ходота, согласно которой выброс угля и газа происходит под совместным действием двух факторов: горного давления и газа, содержащегося в угле. Наряду с успехами, достигнутыми в области борьбы с внезапными выбросами угля и газа, следует отметить ряд недостатков.

1) Недостаточно широко освещены вопросы системного подхода при анализе формирования выбросоопасности пластов.

2) Не в полной мере учитывается термодинамическое состояние угольного пласта.

3) Мало внимания уделено вопросу количественного описания степени неоднородности, степени изменчивости параметров, характеризующих свойства и состояния выбросоопасного пласта.

Горный массив является сложной самоорганизующейся системой. Примерами эффективного изучения поведения сложных систем на основе синергетического подхода могут служить работы [1, 2, 3].

С позиций синергетики рассмотрим горный массив как систему: «вмещающие породы – угольный пласт – газ, содержащийся в угле». В данной системе нам необходимо выделить наиболее характерные свойства, описывающие поведение системы. Работами многих исследователей (М. А. Садовский, А. Н. Зорин, А. Э. Петросян, В. В. Ходот, И.М. Петухов, Ж. Матерон и др.) установлено, что основным фундаментальным свойством горного массива является его неоднородность.

Анализ различных теорий, гипотез и взглядов о природе выбросоопасности, а также анализ работ В. В. Ходота, Ж. Матерона, А. Е. Ольховиченко и других исследователей позволил разработать рабочую гипотезу особенностей формирования и проявления выбросоопасности угольных пластов с учетом степени их неоднородности, степени изменчивости основных параметров, описывающих поведение пласта [4]. Основные положения рабочей гипотезы сводятся к следующему. На неопасных участках пласта параметры, характеризующие пласт, стабильны, стационарны, имеют низкую изменчивость; участок считается однородным, стабильным по свойствам и состояниям. На участках с повышен-

ной потенциальной выбросоопасностью параметры изменяются неравномерно, не стационарно, скачкообразно; участок является неоднородным по своим свойствам и состояниям. На таком участке энергия в угольном пласте перераспределяется неравномерно, поведение всей системы: «вмещающие породы - угольный пласт-газ, содержащийся в угле» не стабильно. Чем выше степень неоднородности, изменчивости свойств и состояний угольного пласта и вмещающих пород, тем выше степень потенциальной выбросоопасности пласта. Таким образом, степень изменчивости свойств и состояний угольного пласта и вмещающих пород определяют степень потенциальной выбросоопасности пласта.

В качестве управляющего параметра системы нами выбраны степень неоднородности, степень изменчивости свойств и состояний угольного пласта. В качестве параметров порядка, которые математически описывают поведение пласта, нами выбраны абсолютные значения первых разностей в числовом ряду $|\Delta'|$, а также абсолютные значения первых разностей амплитуд исследуемого параметра в числовом ряду - $|\Delta'A|$, (рис. 1). Выбранные параметры порядка $|\Delta'|$, $|\Delta'A|$ позволяют с достаточной для инженерных расчетов точностью описать поведение исследуемого параметра (например, изменение мощности угольного пласта – m ; изменение начальной скорости газовыделения из шпуров – g_n и т.д.). В работе [3] указывается, что впереди движущегося забоя выработки происходят волновые процессы, которые вызывают квазипериодические изменения свойств и состояний угольного пласта. Выбранные нами параметры порядка адекватно реагируют на квазипериодические изменения свойств и состояний угольного пласта, так как учитывают пространственное расположение каждой точки числового ряда. Более подробно теоретическое обоснование и правомерность предложенного подхода к исследованию выбросоопасности рассмотрены в работах [5, 6].

Для определения параметров состояния системы необходимо выбрать основные факторы, характеризующие выбросоопасность угольного пласта. К этим факторам мы отнесли следующие: 1) физико-механические свойства пласта; 2) напряжённое состояние пласта; 3) газодинамическое состояние пласта; 4) термодинамическое состояние пласта. На эти основные факторы

оказывают существенное воздействие дополнительные влияющие факторы: геологическое строение пласта и вмещающих пород, тектонические процессы, геомеханические процессы (в т.ч. волновые процессы), технология ведения горных работ (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм проведения исследований по установлению особенностей формирования и проявления выбросоопасности на пологих нарушенных угольных пластах

К геомеханическим факторам относятся: глубина залегания пласта; мощность пласта; углы падения пласта; структура пласта; влажность пласта; зольность; сернистость; выход летучих веществ; толщина пластического слоя; комплексный показатель степени метаморфизма угля, состав пород кровли и почвы и т.д. В результате многократно происходящих в горном массиве процессов сформировались многочисленные зоны горно-геологических нарушений (зоны ГГН): седиментационные, структурные, пликативные, разрывные и их различное сочетание. Геомеханические процессы, происходящие впереди проводимой выработки, а также процессы осадок непосредственной и основной кровли в выработанном пространстве имеют волновой характер и оказывают воздействие на перераспределение напряжений, как по пласту, так и во вмещающих породах.

К технологическим факторам относятся: системы подготовки и разработки пласта; глубина разработки пласта; зоны повышенного горного давления, створы лав, места сопряжений выработок, ниши и т.д. В результате технологии ведения горных работ на отдельных участках угольного пласта создаются дополнительные напряжения.

Геологические, тектонические, геомеханические и технологические факторы оказывают существенное влияние на основные факторы, во многих случаях способствуют усилению степени неоднородности, степени изменчивости угольного пласта. С учётом выше сказанного, нами был выбран оптимальный комплекс параметров, которые наиболее полно характеризуют свойства и состояния пласта. Выбранный комплекс параметров позволяет достоверно описывать изменения, происходящие в призабойной части пласта. В этом комплексе в качестве параметров состояния нами выбраны следующие показатели:

1. Показатели, характеризующие физико-механические свойства пласта: крепость угля; – разрушаемость угля; интенсивность трещиноватости угля – (йодный показатель); толщина пластического слоя; комплексный показатель степени метаморфизма угля.

2. Показатели, характеризующие напряженное состояние пласта: весовой выход штыба; диаметр шпура, величина зоны разгрузки, определяемая по методике динамики газовыделения.

3. Показатели, характеризующие газовое состояние пласта: начальная скорость газовыделения из шпуров; природная газоносность пласта, начальная скорость газоотдачи угля; скорость десорбции газа из угольного штыба; концентрация гелия в составе газов, отобранных из шпура; выход летучих веществ.

4. Показатели, характеризующие термодинамическое состояние угольного пласта: температура угля в шпурах (скважинах); температура штыба, отобранного из шпура; температура поверхности угольного пласта.

Каждый из вышеперечисленных параметров состояния пласта по мере подвигания забоя характеризуется изменением числовых характеристик. Исследованию изменчивости характеристик угольных пластов (m , L и др.) посвящены работы В. Н. Волкова, К. В. Миронова, В. И. Смирнова, Д. А. Родионова, В. Е. Забигайло и многих других. Оценка изменчивости параметров состояния выполняется только методами математической статистики с использованием классических параметрических критериев: среднего арифметического значения параметра \bar{a} ; дисперсии - σ^2 ; среднеквадратического отклонения - σ ; коэффициентов вариации - $K_{\text{вар}}$. Сравнение двух участков угольного пласта ведётся по критериям Стьюдента - S и Фишера - F . Но, в то же самое время, в своих работах известнейший авторитет в области исследования геометрии недр - В. А. Букринский подчёркивает, что показатели σ и $K_{\text{вар}}$ - статистические характеристики и не учитывают геометрии размещения показателей. Поэтому, количественное более точное определение степени изменчивости параметра, обусловленное совокупным влиянием многих факторов, для конкретного разрабатываемого участка угольного пласта является важной практической задачей.

Для решения поставленной задачи были выбраны непараметрические критерии, известные в морфометрии, это коэффициенты изменчивости параметра. Формулы для определения коэффициентов изменчивости - $K_{\text{из}}$ исследуемого параметра были

предложены в ряде работ М. А. Протодьяконовым, И. П. Шараповым и А. С. Власовым, соответственно:

$$K_{из} = \frac{\Sigma|\Delta|}{L}; \text{ (1925 г.),} \quad (1)$$

$$K_{из} = \frac{\Sigma|\Delta|}{K}; \text{ (1952 г.),} \quad (2)$$

$$K_{из} = \frac{\Sigma|\Delta|}{L \cdot \bar{a}}; \text{ (1958 г.),} \quad (3)$$

где: $\Sigma |\Delta|$ – сумма абсолютных значений первых разностей в числовом ряду анализируемого параметра;

K – количество первых разностей;

L – длина проекции исследуемого профиля, м;

\bar{a} – среднее арифметическое анализируемого параметра.

Эффективность применения $K_{из}$, рассчитанного, например, по формуле 2, покажем на конкретных примерах. Путём математического моделирования выполним сравнение трёх различных участков угольного пласта. На каждом из участков №№ 1, 2, 3 получены числовые значения мощности – m и начальной скорости газовыделения из шпуров - g_H ; исходные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1
 Исходные данные для сравнения 3-х участков по m и g_H

Наименование вы- борки / № точек из- мерений	Числовые значения мощности и газовыде- ления									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M-1	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2
M-2	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9
M-3	0,8	0,9	1,1	1,2	1,1	0,9	0,8	1,0	1,0	1,2
g_H -1	1,5	1,5	2,5	2,0	3,0	3,5	3,0	4,0	4,5	4,5
g_H -2	1,5	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0	4,5	4,5	2,0	1,5
g_H -3	1,5	3,0	4,0	4,5	1,5	3,0	3,5	4,5	2,5	2,0

Результаты статистической обработки данных по мощности показали следующее.

Изменчивость мощности пласта в выборке М-3 составила $K_{из} = 0,133$, т.е. в 3 раза выше, чем в выборке М-1, ($K_{из} = 0,044$), см. табл. 2 и рис. 2.

Таблица 2

Результаты статистического сравнения 3-х участков по m и g_H

Наименование выборки	\bar{a}	σ^2	σ	$K_{вар}, \%$	$K_{изм}$
М-1	1,0	0,02	0,141	14,1	0,044
М-2	1,0	0,02	0,141	14,1	0,078
М-3	1,0	0,02	0,141	14,1	0,133
g_H -1	3,0	1,15	1,072	35,7	0,556
g_H -2	3,0	1,15	1,072	35,7	0,667
g_H -3	3,0	1,15	1,072	35,7	1,278

Изменчивость начальной скорости газовыделения – g_H на всех трёх участках одинакова – по показателям: \bar{a} ; σ^2 ; σ и $K_{вар}$. По показателю $K_{из}$ изменчивость g_H на участке g_H -3 составила $K_{из}=1,278$; т.е. более чем в 2 раза превышает изменчивость g_H на участке g_H -1, см. табл. 2; ($K_{из}=0,556$).

Проверка эффективности применения $K_{из}$ в шахтных условиях приведена в ряде работ, в частности в [6].

Так в условиях ПО «Донецкуголь», ш/у «Донбасс» на шахте «Заперевальная-2» на пласте h_{10} в монтажной нише разрезного хода 5-й западной лавы были выполнены измерения g_H и $He, \%$ в скважинах: а) до торпедирования угольного пласта; б) после торпедирования. Результаты статистической обработки измерений показали следующее. После торпедирования значения коэффициентов изменчивости по начальной скорости газовыделения – $K_{из}(g_H)$ уменьшились в $2,5 \div 3,0$ раза; а значения $K_{из}$ по концентрации гелия в шпурах уменьшились в $2,0 \div 3,5$ раза.

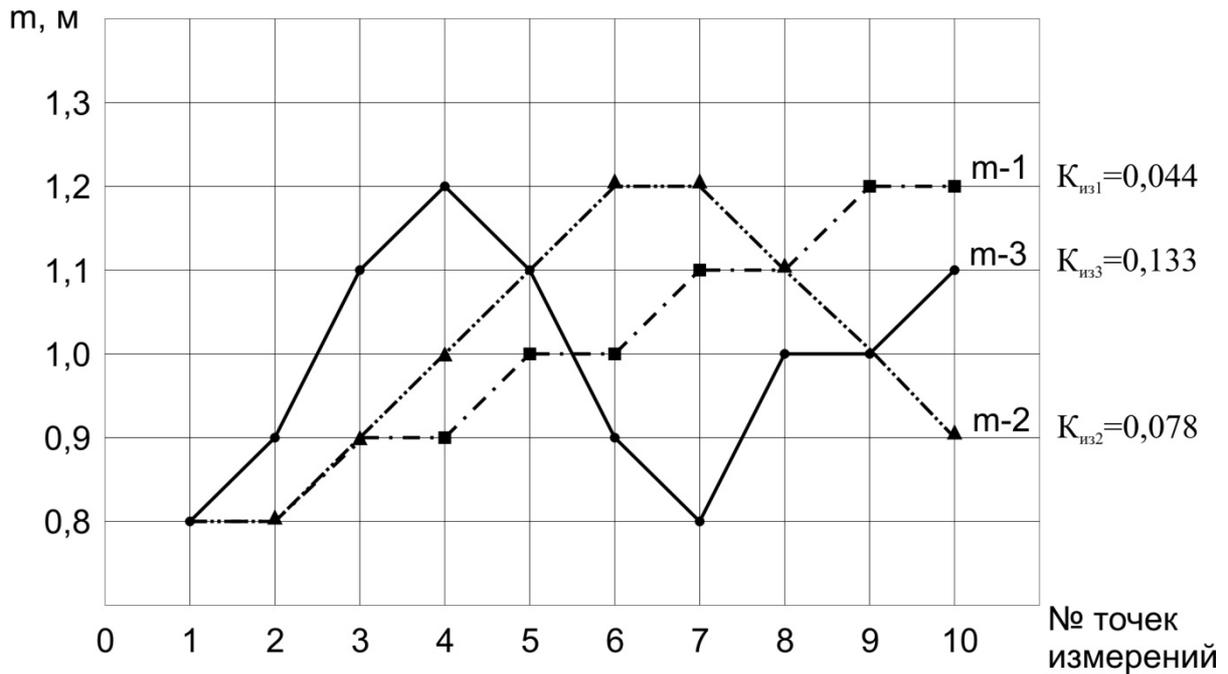


Рис. 2. Изменение мощности пласта на трех различных участках

Уменьшение значений $K_{из}$ (g_H) и $K_{из}$ ($He, \%$) указывает на увеличение стабильности участка, произошло снижение газоносности пласта. Газодинамические показатели по g_H и $He, \%$ уменьшились, числовые выборки стали более однородными и стабильными. Так, до торпедирования среднее арифметическое значение величины зоны разгрузки составило $\bar{l}_{p1} = 3,0$ м, а после торпедирования оно было равно $\bar{l}_{p2} = 10,0$ м.

Ряд других примеров применения $K_{из}$ в различных горно-геологических условиях для разных параметров приведен в работе [6].

Выполненные шахтные экспериментальные исследования подтвердили правомерность применения синергетического подхода к исследованию выбросоопасности и позволили сделать следующий вывод: чем выше степень изменчивости свойств и состояний угольного пласта, обусловленная совокупным влиянием многих факторов, тем выше степень его потенциальной выбросоопасности.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Хакен Г. Информация и самоорганизация: макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
2. Вылегжанин В. Н., Егоров П. В., Мурашев В. И. Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов / Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990.- 295 с.
3. Ильяшов М. А., Усаченко Б. М., Яланский А. А., Левит В. В., Паламарчук Т. А., Кириченко В. Я., Сершенко В. Н., Усаченко В. Б. Закономерности самоорганизации грунтовых и породных массивов, ослабленных подземными выработками // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2008» – Д.: национальный горный университет, 2008.- С. 59-72.
4. Радченко А. Г. Повышение надежности ведения текущего прогноза в зонах геологических нарушений на пологих шахтопластах Донбасса. // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сб. научн. трудов МакНИИ, - 1993,- с. 21-27.
5. Бобров А. И., Агафонов А. В., Радченко А. Г., Евдокимова В. П. Применение системных методов при исследовании выбросоопасности пологих нарушенных шахтопластов. // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сб. научн. трудов МакНИИ, - 1996, - с. 8-15.
6. Рубинский А. А., Приходько В. М., Радченко А. Г. Повышение надежности прогнозирования выбросоопасности пологих нарушенных угольных пластов. // Способы и средства создания безопасности и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сб. научн. трудов МакНИИ, - 1995, - с. 102-110.