

логических схем. Внедрение технологий, позволяющих повысить качественный состав добываемого шахтного метана, станет одним из прогрессивных энергосберегающих способов ликвидации образования газовых гидратов при транспортировке и последующей переработке добытого газа.

Список литературы

1. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля / Софийский К.К. и др. – М.: Недра, 1994. – 192 с.
2. Истомин В.А., Якушев В.С. Газовые гидраты в природных условиях. – М.: Недра, 1992. – 236 с.
3. Манаков А.Ю., Дядин Ю.А. Газовые гидраты при высоких давлениях // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева, 2003. – Т. XLVII. – №3.

Висунуто припущення про те, що в деяких випадках при видобутку шахтного метану однією з істотних проблем може стати утворення газових гідратів. Виходячи з аналізу методів боротьби з гідратами, виявлені способи їх адаптації для рішення даної

проблеми при видобутку шахтного метану. Стратегічними засобами боротьби з гідратами при попутному видобутку шахтного метану стануть результати досліджень причин гідратоутворення, які використовуватимуться при проектуванні технологічних схем.

Ключові слова: *вугільні родовища, дегасація, шахтний метан, газотранспортна мережа, газові гідрати, методи боротьби*

It has been putted forward the assumption that in some cases formation of gas hydrates can become one of the main problems while mine methane extracting. On the basis of studying of methods aimed at hydrate control there are identified ways of their adaptation while solving the problem during mine methane extraction. Results of studying of underlying condition of hydrating should become strategic means against hydrates during associated mine methane extraction.

Keywords: *coal deposits, degassing, mine methane, gas-transport network, gas hydrate, methods of controlling*

Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Н. Шириним 11.06.10

УДК 622-112.3+519.2

© Мещанинов С.К., Кипко А.Э., 2010

С.К. Мещанинов, А.Э. Кипко

КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ АВАРИЙНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОТЯЖЕННОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ В ЗОНАХ ОБВОДНЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

S.K. Meshchaninov, A.E. Kipko

COMPLEX CRITERION OF ACCIDENT RATE ESTIMATION DURING BUILDING AND EXPLOITATION OF EXTENSIVE MINE WORKING IN THE AREAS OF FLOODED GEOLOGICAL VIOLATIONS

Приведен анализ степени аварийности горной выработки как сложной технической системы, пройденной в тектонически нарушенных обводненных горных породах. При разработке критерия, развитие аварии в горной выработке рассматривается как многомерный групповой деградационный процесс, на базе которого сформирована процедура контроля технического состояния выработки. Предложенный критерий основан на использовании алгоритма экстраполяции.

Ключевые слова: *сложная техническая система, критерий, нарушенность, аварийность, тектонические нарушения*

Введение. Одним из основных факторов, снижающих скорость проходки шахтных стволов и других капитальных горных выработок, а также существенно осложняющих их дальнейшую эксплуатацию, является обводненность горных пород. Оценка степени аварийности той или иной горной выработки, пройденной или проходимой в зоне обводненных тектонических нарушений, позволяет, в первую очередь, исключить или, по крайней мере, значительно уменьшить последствия возможных негативных проявлений горного давления. Кроме того, предварительное подавление водопритоков при проходке ка-

питальных горных выработок в сложных горно- и гидрогеологических условиях, которое является главным из путей повышения эффективности шахтного строительства – весьма дорогой путь обеспечения их надежной работы в будущем. Оценка степени аварийности каждой конкретной выработки сможет позволить скорректировать мероприятия по подавлению водопритоков, сделать их более рациональными и, в ряде случаев, снизить расходы на проведение этих мероприятий.

Постановка задачи. На сегодняшний день к наиболее опасным факторам, в результате которых про-

исходит третья часть аварий, относятся обрушения пород, завалы выработок, повышенная обводненность, прорывы воды. Наиболее ярко это проявляется вблизи зон тектонических нарушений. Для оценки опасности возникновения аварии с учетом весомостей показателей (факторов), которые формируют возникновение аварийной ситуации, в работе [1] предложен комплексный критерий аварийной опасности k_o . Его определяют как среднюю геометрическую величину факторов k_i

$$k_o = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n k_i^{M_i}}$$

где M_i – весомости показателей аварийной опасности; n – количество отдельных показателей (групп факторов), по которым оценивают аварийную опасность. Весомости M_i всех показателей в общем слу-

чае связаны одна с другой так, что $\sum_{i=1}^n M_i = const$,

т.е. увеличение весомости одного из них возможно лишь за счет уменьшения весомости других. Методы определения значений M_i в настоящее время достаточно развиты, среди них наиболее распространен метод экспертных оценок. Для удобства расчетов принимают $0 \leq M_i \leq 1$. Суммарное действие нескольких единичных показателей k_{ij} оценивается их средневзвешенным значением фактора k_i , полученным с учетом весомости M_j каждого единичного показателя

$$k_i = \frac{\sum_{j=1}^m M_j k_{ij}}{\sum_{j=1}^m M_j}; k_i \in [0; 41],$$

где m – количество единичных показателей в каждой группе факторов.

Данный метод оценки с помощью количественного комплексного критерия k_o позволяет установить степень влияния каждого единичного показателя или группы факторов на общий уровень аварийной опасности, а также с достаточной точностью сравнить аварийную опасность нескольких выработок с учетом выбранных групп факторов и разработать мероприятия по ее снижению [1].

Однако для использования этого критерия необходимо знать конкретные значения весомостей показателей аварийной опасности, их количество и механизм взаимовлияния их друг на друга, что представляет довольно сложную задачу. Ее решение, предложенным в работе [1] методом экспертных оценок, может дать только лишь субъективный результат, справедливый, кроме того, только для определенного промежутка времени, охваченного процессом экспертных наблюдений.

Таким образом, целью настоящей работы является конкретизация комплексного критерия аварийности применительно к задаче исследования и прогнозирования вероятности безаварийной работы протяженной горной выработки как сложной технической системы, создаваемой и эксплуатируемой в зонах обводненных тектонических нарушений.

Основная часть. Уровень техногенной нарушенности (K_{TH}) в пределах горной выработки с площадью кровли S_0 , по аналогии с результатами работы [2], может быть определен так

$$K_{TH} = \frac{S_0}{S_e} \sqrt[4]{\frac{S_e}{S_0}}$$

где S_e – площадь с естественными условиями в пределах кровли рассматриваемой горной выработки.

Уровень техногенного воздействия в пределах рассматриваемой горной выработки зависит от начального поля напряжений, сформировавшихся в приконтурной области массива, вмещающей выработку, характера и интенсивности технологических и иных техногенных воздействий стороны выработанного пространства.

Горная выработка представляет собой сложную техническую систему, состоящую из ряда подсистем, состоящих в свою очередь из структурных элементов. Такую систему, представляющую совокупность n элементов (подсистем), удобно рассматривать, оперируя случайным вектором $\{X_1(t), \dots, X_n(t)\}$, причем

$$X_j(t) = \begin{cases} 1, & \text{если элемент (подсистема) } j \\ & \text{работоспособен в момент } t, \\ 0, & \text{если элемент (подсистема) } j \\ & \text{не работоспособен в момент } t. \end{cases}$$

Для контроля и прогнозирования технического состояния различных сложных технических систем, в общем случае, используются методы экстраполяции и экспертных оценок [3]. Однако метод экспертных оценок не пригоден для прогнозирования возникновения аварийных ситуаций горных выработок, так как в условиях горного производства периодические процессы потери-восстановления работоспособности основных подсистем носят чаще эпизодический характер, в отличие от хаотических изменений горно-технической и горно-геологической ситуаций.

При использовании алгоритмов экстраполяции задача формулируется следующим образом [3]. Пусть процесс, характеризующий состояние объекта, представлен в виде многомерной функции $Q(\vec{X}, t)$, где $\vec{X}/t \in \{x_1/t, x_2/t, \dots, x_k/t\}$, которая наблюдается дискретно или непрерывно в период времени $\Psi_0 \in [t_n, \beta]$ в области T_1 , вследствие чего известны значения этой функции $\vec{X}/t_0, \vec{X}/t_1, \dots, \vec{X}/t_i, \dots, \vec{X}/t_n$ соответственно в моменты времени $t_0, t_1, \dots, t_i, \dots, t_n \in T_1$. Необходимо при помощи

модели прогнозирования W/\bar{X} , $t \in$ по известным значениям \bar{X}/t_i определить значения функции $\bar{X}/t_{n21} \cup \dots, \bar{X}/t_{n2j} \cup \dots, \bar{X}/t_{n2m} \cup$ в моменты времени $t_{n21}, \dots, t_{n2j}, \dots, t_{n2m} \subset T_2$, где T_2 – область моментов времени в будущем. Задача в операторном виде, записываемая как $\bar{X}/t_{n2j} \cup | W/X, t \cup \bar{X}/t_i \cup; i | \overline{1, n}; j | \overline{1, m}$, может решаться как для вектора $\bar{X}/t \cup$, так и для каждой его координаты $x_s/t \cup$: кроме того, в качестве результата прогнозирования могут быть получены статистические характеристики $\bar{X}/t_{n2j} \cup$, например, среднее время и вероятность выхода за допустимые пределы \bar{X}^* .

В общем случае, используя результаты работы [3], процесс изменения состояния горной выработки можно представить в виде

$$\bar{X}/t \cup | \bar{\sigma}/t \cup \xi/t \cup \Sigma/t \cup,$$

где $\bar{\sigma}/t \cup$ – характеризует необратимые изменения в горной выработке и приконтурной области, ее вмещающей; $\xi/t \cup$ – обратимые изменения; $\Sigma/t \cup$ – погрешность измерительных цепей.

Составляющая $\bar{\sigma}/t \cup$ определяет „тренд“ или закономерность изменения процесса, в большей степени детерминированную его часть, а $\xi/t \cup$ и $\Sigma/t \cup$ характеризуют стохастическую часть процесса.

Процесс развития аварии в горной выработке является многомерным групповым деградационным процессом, математическая модель которого имеет вид [3]

$$\bar{X}/t \cup | \bar{W} \cup \eta/x \cup t | \bar{V} \cup \Psi/k \cup t \beta$$

где $\bar{V} \cup \Psi/k \cup t \beta | | V_1/\zeta^1 \cup, t \cup \dots, V_k/\zeta^k \cup, t \cup |$ – вектор функции времени t и коэффициентов ζ .

Коэффициенты модели определяют из системы уравнений [3]: $x/t_i \cup | W \cup \eta/x \cup t_i |; i | \overline{1, \sigma}, \sigma \cup \Omega n$, где t_i – моменты контроля.

В случае прогнозирования вероятности возникновения аварии в горной выработке необходимо применение взвешивания и сглаживания временного ряда $X/t_i \cup$. Это объясняется тем, что из-за стохастичности изменения состояния приконтурной области массива, вмещающего выработку, и других горно-геологических параметров, определяющих надежность ее функционирования, значения ряда $X/t_i \cup$, полученные в предыдущие моменты времени, неравнозначно влияют на значения $X/t_i \cup$ в предсказываемой области. При таком подходе используют метод экспоненциального сглаживания, когда текущей информации даются большие „веса“, а предшествующим значениям – меньшие. Модель прогнозирования

в этом случае имеет вид следующей рекуррентной формулы

$$S/t_n \cup | \zeta X/t_n \cup \cup 1/4 \zeta \cup S/t_{n41} \cup,$$

где $S/t_n \cup | S/t_{n41} \cup$ – значения экспоненциальной средней соответственно в моменты времени t_n и t_{n41} ; ζ – параметр сглаживания, $0 \{ \zeta \{ 1$.

Формирование процедуры контроля технического состояния горной выработки необходимо начинать с составления ее математической модели. В общем случае она имеет вид [4]

$$F'' \bar{X}, \bar{K}, \bar{U}, t \in 0,$$

где $\bar{X} | \Psi_1/t \cup x_2/t \cup \dots, x_m/t \cup \beta$ – вектор-функция выходных реакций; $\bar{K} | \Psi_1, k_2, \dots, k_n \beta$ – вектор параметров математической модели; $\bar{U} | \Psi_1/t \cup u_2/t \cup \dots, u_l/t \cup \beta$ – вектор-функция входных воздействий.

Критерий оценки аварийности в этом случае может быть представлен векторным функционалом $\bar{\Phi} | \bar{\Phi}_1, \bar{\Phi}_2, \dots, \bar{\Phi}_p |$, где компоненты $\bar{\Phi}_i, i | \overline{1, \dots, p}$ – параметры контроля безаварийной работы горной выработки.

Таким образом, вектор технического состояния формируется на основе разложения любого элемента пространства по базисным векторам [4]

$$\bar{\Phi} | \bar{\Phi}_1 e_1 \cup \bar{\Phi}_2 e_2 \cup \dots \cup \bar{\Phi}_p e_p,$$

где $e | \cup e_1, e_2, \dots, e_p |$ – ортогональный базис линейного пространства "Ф€

Множество работоспособных состояний Q_Φ представляет собой p -мерный параллелепипед, так как допуски на Φ_i задаются независимо друг от друга [4]

$$Q_\Phi | \left[\Phi_i, i | \overline{1, p} / \Phi_i \cup \Omega \Phi_i \cup \tilde{\Phi}_i \right]$$

Выбор параметров для контроля в "Ф€ из условия однозначного определения положения вектора технического состояния $\bar{\Phi}^*$ в этом пространстве приводит к необходимости измерять все координаты $\Phi_i, i | \overline{1, \dots, p}$, т.е. все выбранные показатели, характеризующие вероятность безаварийной работы горной выработки. Измерения координат Φ_i производятся прямыми и косвенными методами, в результате чего получается оценочное значение вектора технического состояния $\bar{\Phi}^*$. Если $\bar{\Phi}^* \subset Q_\Phi$, то выработка (объект контроля) считается работоспособной. В противном случае $\bar{\Phi}^* \supset Q_\Phi$. Таким образом, вектор технического состояния $\bar{\Phi}$ описывает в p -мерном пространстве определенную траекторию, которая определяет некоторую поверхность, за пределами которой находится

область недопустимых (аварийных) состояний горной выработки, а внутри нее – соответственно область допустимых состояний (область безаварийной работы).

Применительно к условиям строительства и эксплуатации горных выработок в зонах обводненных геологических нарушений, такими параметрами в обобщенном случае являются [4]:

1. Комплекс данных, необходимых для проектирования и производства тампонажа:

- местонахождение горизонта;
- поинтервальный приток воды по мощности пласта;
- мощность обводненных пород;
- пластовое давление*;
- направление подземных вод;
- ожидаемый водоприток*;
- интервалы залегания трещиноватых зон и отдельных трещин (карстовых пустот);
- пространственная ориентация трещин;
- направление основных систем трещин;
- коэффициент трещинной анизотропии;
- размеры трещин;
- приток воды по каждой системе трещин (карстовых пустот)*;
- тип коллектора;
- трещинная (карстовая) пустотность*;
- вероятность распределения трещин (карстов) по размерам;
- коэффициент проницаемости.

2. Геологическая характеристика участка работ:

- стратиграфия (принятая стратиграфическая схема, мощность и пространственное расположение стратиграфических горизонтов);
- амплитуды и элементы залегания нарушений, характер мелкоамплитудных нарушенностей;
- литологический состав пород, слагающих участок, категория пород по буримости, характер трещиноватости горных пород;
- пористость и скважность горных пород.

3. Гидрогеологическая характеристика участка работ:

- характеристика водоносных горизонтов, их мощность и глубина залегания;
- прогнозные притоки воды в выработку по каждому водоносному горизонту;
- гидростатические напоры подземных вод;
- коэффициенты фильтрации и проницаемости водоносных горизонтов.

4. Физико-механические характеристики вмещающих пород:

- механическая прочность*;
- упругость;
- пластичность;
- хрупкость;
- твердость;
- абразивность;
- плотность породы и средняя плотность;
- пористость*;
- трещиноватость*;
- водопроницаемость*;
- пльвучесть*;
- устойчивость (поведение пород при обнажении в массиве)*.

Здесь „*“ обозначены те параметры, которые могут быть непосредственно использованы в качестве параметров состояния подсистем горной выработки e_i .

Таким образом, комплексный критерий оценки аварийности горной выработки при ее строительстве

и эксплуатации в условиях обводненных геологических нарушений можно записать в следующем виде

$$K_a | K_{a1} e_1^2 K_{a2} e_2^2 \dots K_{ap} e_p,$$

где K_{ai} – ортогональный базис линейного пространства $"K \in$, e_i – параметры состояния подсистем горной выработки (параметры, необходимые для проектирования и производства тампонажа; параметры, характеризующие геологическую характеристику участка работ; гидрогеологические и физико-механические параметры пород, вмещающих выработку; кроме того, необходим учет параметров технологии ведения горных работ и крепления).

Очевидно, что каждое значение K_{ai} должно находиться в некоторых пределах

$$K_{ai \min} \Omega K_{ai} \Omega K_{ai \max}.$$

Величины этих пределов определяются по специальным методикам на основе конкретных данных участка ведения работ.

Таким образом, должно выполняться следующее условие безаварийной работы горной выработки

$$K_{a \min} \Omega K_a \Omega K_{a \max},$$

где $K_{a \min}$ и $K_{a \max}$ – соответственно допустимые значения критерия аварийности в условиях данной горной выработки.

Выводы. Сформулирован комплексный критерий оценки аварийности протяженной горной выработки в зоне обводненных геологических нарушений. Его использование в составе прикладной компьютерной программы в сочетании с соответствующим интерфейсом для сбора и обработки текущей информации об изменениях параметров горнотехнической и горно-геологической ситуации позволит обеспечить контроль и управление надежностью и эффективностью функционирования горной выработки в реальном масштабе времени, практически полностью исключить вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Список литературы

1. Пашковский П.С., Мамаев В.В., Брюм В.З. Комплексная оценка аварийной опасности шахт // Уголь Украины. – 2008. – №2. – С. 21–23.
2. Сляднев В.А. Ухудшение экологического состояния геологической среды Донбасса в связи с закрытием шахт // Геологічний журнал. – 2003. – №4. – С. 90–95.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. М.: Машиностроение, Т. 9. – Техническая диагностика / Под ред. В.В. Клюева, П.П. Пархоменко, 1987. – 351 с.
4. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. М.: – Машиностроение, Т. 8. – Эксплуатация и ремонт / Под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Барзиловича, 1990. – 320 с.

5. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: Учеб. пособие / Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков, Н.А. Дудля и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – 415 с.

Наведено аналіз ступеня аварійності гірничої виробки як складної технічної системи, пройдені в тектонічно порушених обводнених гірських породах. При розробці критерію, розвиток аварії в гірничій виробці розглядається як багатовимірний груповий деградаційний процес, на базі якого сформована процедура контролю технічного стану виробки. Запропонований критерій базується на використанні алгоритму екстраполяції.

Ключові слова: *складна технічна система, критерій, порушеність, аварійність, тектонічні порушення*

The analysis of accident rate of the mine working has been resulted as a complex technical system, passed in the tectonic broken watered rock mass. During development of the criterion, failure genesis in the watered rock mass is considered as a multidimensional group degradation process on the basis of which procedure of control of the technical state of rock working has been designed. Offered criterion relies on using of the extrapolation algorithm.

Keywords: *complex technical system, criterion, violation, accident rate, tectonic violations*

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком 25. 02. 10

УДК 622.831.322

© Минеев С.П., Витушко О.В., 2010

С.П. Минеев, О.В. Витушко

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ВЫБРОСООПАСНОСТИ ПО ПРОЧНОСТНЫМ СВОЙСТВАМ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА

S.P. Mineyev, O.V. Vitushko

METHODOLOGY OF ESTIMATION OF LIABILITY TO OUTBURST BY DURABLE PROPERTIES OF COAL MASS

Рассмотрены основные методики оценки выбросоопасности горного массива по результатам определения свойств угля и пород. Методики основаны на использовании существующего прочностномера П-1, конструкции ИГД им. А.А. Скочинского и прибора для определения деформационных и прочностных свойств выбросоопасного массива, разработанного в ИГТМ НАН Украины. Приведены принципиальные схемы этих приборов и методики для определения прочностных и деформационных свойств угля и вмещающих пласт пород. Прибор конструкции ИГТМ НАНУ и методика его использования защищены патентом. В целом, сформулирована методология применения шахтных экспресс-методик для прогноза газодинамического состояния углепородного массива при ведении горных работ.

Ключевые слова: *угольный пласт, прогноз выбросоопасности, прочностномер, экспресс-методика, принципиальная схема прибора*

В последнее время одним из общепризнанных подходов в развитии и реализации газодинамических явлений в шахтах является модель академика А.А. Скочинского [1, 2] о главенствующем влиянии на развязывание выброса содержащегося в угле газа, горного давления и физико-механических свойств. Соответственно, все основные обоснования по прогнозу выбросоопасности в исследуемой зоне пласта строились на уточнении характеристик этих параметров поодиночке или в комплексе. Одним из подходов было использование прочностных свойств углепородного массива при оценке выбросоопасности. Вместе с этим, отсутствует единый методологический подход к использованию существующих шахтных экспресс-методик оценки и соответствующих приборов для определения прочностных свойств угля при оценке выбросоопасности.

Поэтому авторы в данной статье рассмотрели методологию оценки выбросоопасности пласта и опасности обрушений угля при ведении горных работ на основе прочностных показателей углепородного массива.

В настоящее время существуют и используются в шахтах ряд нормативных методик определения показателей прочности для прогноза выбросоопасности и опасности внезапных обрушений или высыпаний угля [3, 4]. Ниже рассмотрим эти методики.

Методика оценки выбросоопасности угольных пластов и пород по прочности углепородного массива. Прогноз по прочности пласта на шахтах Украины применяют в подготовительных и очистных выработках на угрожаемых угольных пластах, а по согласованию с МакНИИ – и на отдельных участках выбросоопасных угольных пластов [3]. Периодичность измерений определяется в зависимости от прочности пласта. Так, например, если по результатам разведочных наблюдений выявлена хотя бы одна угольная пачка с прочностью $60 \text{ у.е.} < \bar{q}_{\text{min}} \leq 70 \text{ у.е.}$, то измерения прочности угольного пласта (пачек) осуществляют не более, чем через 5 м подвигания забоя выработки. При $\bar{q}_{\text{min}} > 70 \text{ у.е.}$ периодичность измере-