

розповсюджуватися сміття по навколишній території, а завдяки колесам їх зручно переміщати.

Висновки. Розглянуто проблему утворення ТПВ, які необхідно збирати, знешкоджувати, утилізувати з метою покращення якості міського середовища. Показано, що несвоєчасне вилучення ТПВ погіршує санітарний стан населених пунктів і може стати причиною виникнення захворювань та епідемій.

Визначено кількісний склад ТБО та необхідного обладнання для поводження з ними на прикладі окремих об'єктів суспільно - адміністративного призначення, а саме дошкільних навчальних закладів, лікувально-профілактичних установ, учбових закладів, позашкільних установ, дитячих будинків, організацій.

Для розв'язання основних проблем, удосконалення системи управління та поводження з ТПВ запропоновано комплекс заходів з поетапної рекультивациі існуючого сміттєзвалища та відповідного обладнання контейнерних майданчиків; вдосконалення системи тарифів за вивіз та захоронення ТПВ відповідно до чинного законодавства; локалізації, збору та очистки фільтрату; будівництва сміттесортувального комплексу для переробки ТПВ; запровадження системи роздільного збирання відходів в містах їх утворення; ліквідації несанкціонованих звалищ та санації відповідних територій; відновлення роботи свердловин для контролю забруднення підземних вод; запровадження інформаційно - навчальних заходів та т. ін.

Список літератури

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2010 р.- К: Центр екологічної освіти та інформації, 2011.- 254 с.
2. Стольберг Ф.В. Экология города / Учебник.- К.: Либра, 2000. – 464 с.
3. Мирный А.Н. Санитарная очистка и уборка населенных мест: Справочник.- М.: Стройиздат, 1990.- 412 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 18.01.15.*

УДК 681.3:004.8:622.867

© В.В. Слесарев, А.В. Миргородский
**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АЭРОГАЗОВОЙ
СИТУАЦИИ НА ШАХТАХ**

В статье представлены методы разработки моделей и алгоритмов, позволяющих с достаточной степенью достоверности объективно оценить аэрогазовую ситуацию с учетом анализа и прогноза значений параметров шахтной атмосферы и нестационарного характера их изменения во времени, выработать и выполнить превентивные мероприятия, направленные на недопущение аварий на шахтах или снижение их последствий.

У статті представлені методи розробки моделей і алгоритмів, що дозволяють з достатньою мірою достовірності об'єктивно оцінити аерогазову ситуацію з урахуванням аналізу і прогнозу значень параметрів шахтної атмосфери і нестационарного характеру їх зміни в часі, виробити і виконати превентивні заходи, спрямовані на недопущення аварій на шахтах або зниження їх наслідків.

The methods of development of models and algorithms, allowing with the sufficient degree of authenticity objectively to estimate an aerogas situation with view of analysis and prognosis of values of parameters of mine atmosphere and non-stationary format of their time-history, are presented in the article, to produce and execute the preventive events sent to non-admission of accidents on mines or decline of their consequences.

Введение. Большое количество аварийных происшествий, возникающих в результате несвоевременного выявления (идентификации) негативной тенденции развития обстановки в шахте, особенно аэрогазовой, говорит о несоответствии уровня безопасности при добыче угля требованиям современности. Заблаговременное распознавание возможности возникновения аварийной ситуации по-прежнему остается за горным диспетчером, который на основе субъективного анализа большого количества информации не всегда может её выявить. Введение объективных оценок аэрогазовой ситуации повысит уровень производственной безопасности на горнодобывающем предприятии. Для этого необходимо постоянно производить анализ и прогноз значений контролируемых параметров шахтной атмосферы. [1,2] На их основе осуществлять идентификацию аэрогазовой ситуации в шахте, что позволит выявить аварийную ситуацию на стадии ее развития и выполнить действия, направленные на предотвращение или снижение последствий аварий.

Формулировка цели и задачи исследования. Целью работы является создание комплексного подхода к оценке аэрогазовой ситуации в шахте на основе анализа и прогноза значений параметров шахтной атмосферы с учетом нестационарного характера их изменения во времени для использования в информационно-аналитической системе безопасности. Задача научных исследований заключается в разработке моделей и алгоритмов, позволяющих с достаточной степенью достоверности объективно оценить аэрогазовую ситуацию с учетом анализа и прогноза значений параметров шахтной атмосферы, выработать и выполнить превентивные мероприятия, направленные на недопущение аварий или снижение их последствий, актуальна.

Изложение основного материала исследований. Как было доказано в работе [1] эволюцию физической системы с потерями необходимо описывать уравнениями в дробных производных. Дробный показатель производной указывает на долю состояний системы, сохраняющихся за время эволюции (фрактальную размерность процесса эволюции). Эти перемежающиеся состояния системы оказывают влияние на последующие состояния системы. Такие системы классифицируются как системы с «остаточной» памятью, занимающие промежуточное положение между системами, обладающими полной памятью (детерминированные), с одной стороны, и «марковскими»

системами, с другой. Таким образом, дискретный процесс (с перемежающимися состояниями) изменения параметра на этапе от 0 до t описывается дробной производной Лиувилля степени α в виде интеграла:

$$\frac{\partial^\alpha}{\partial t^\alpha} f(t) = \frac{1}{\tilde{\Gamma}(1-\alpha)} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^t (t-\tau)^{-\alpha} f(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где $\tilde{\Gamma}(1-\alpha)$ – гамма-функция.

На сегодняшний день реакция на неблагоприятную ситуацию происходит "по сигналу", то есть, изменяется оценка ситуации в шахте только после того, как произошло превышение параметрами шахтной атмосферы ПДК. После этого вводится в действие план ликвидации аварии (ПДК). Проводятся мероприятия для ликвидации аварийного происшествия. Такой подход не позволяет выявить возможность возникновения аварийного происшествия заблаговременно и предпринять действия, направленные на его предотвращение или снижение негативных последствий. При непрерывном мониторинге параметров шахтной атмосферы, возникает возможность диагностирования и оценки ситуации в шахте, прогнозирование значений аэрогазовых параметров. Тогда, если возможность возникновения аварийного происшествия выявлена, появляется время для выработки и выполнения мероприятий, направленных на его недопущение или снижение последствий от аварии (предотвращение травматизма и гибели шахтеров, выведение из строя оборудования, убытков от простоев и т.д.). Следовательно, необходимо разработать подход, позволяющий непрерывно оценивать аэрогазовую ситуацию и корректировать её оценку на основе прогноза и анализа аэрогазовых параметров с возможностью выработки перечня превентивных мероприятий, направленных на ослабление и предотвращение негативной тенденции. Аэрогазовую ситуацию в шахте можно описать матрицей размерностью $n \times m$, где n – количество точек контроля; m – число аэрогазовых параметров (см табл.).

Таблица
Контролируемые параметры шахтной атмосферы

Наименование параметра	Единица измерения	Диапазон измерения
Метан (CH_4)	%	0-2
Углекислый газ (CO_2)	%	0-7,5
Оксид углерода (CO)	%	0-0,0017
Сероводород (H_2S)	%	0-0,00070
Запылённость	\dot{a} / \dot{v}^3	1-6
Скорость воздушного потока	\dot{v} / \dot{n}	2-7
Температура	$^\circ \tilde{N}$	15-45

Из-за большого объема информации сложно субъективно оценивать аэрогазовую ситуацию на отдельных участках, а без верной оценки затруднительно принять правильное решение. Следовательно, необходимо создать механизм, вырабатывающий объективную оценку аэрогазовой ситуации. А для этого нужна классификация, описывающая переходной процесс развития аэрогазовой ситуации. Существующая на настоящий момент классификация ситуаций на подземных участках в шахте описывает только начальные и конечные фазы развития аварийной ситуации. Проведенный в работе анализ развития аварийных ситуаций в шахте показал, что постепенно происходит накопление негативных факторов, которые со временем ведут к возникновению аварии. На рис.1 отображена схема вентиляции шахты «Терновская» с нанесёнными датчиками контроля концентрации метана и скорости воздуха.

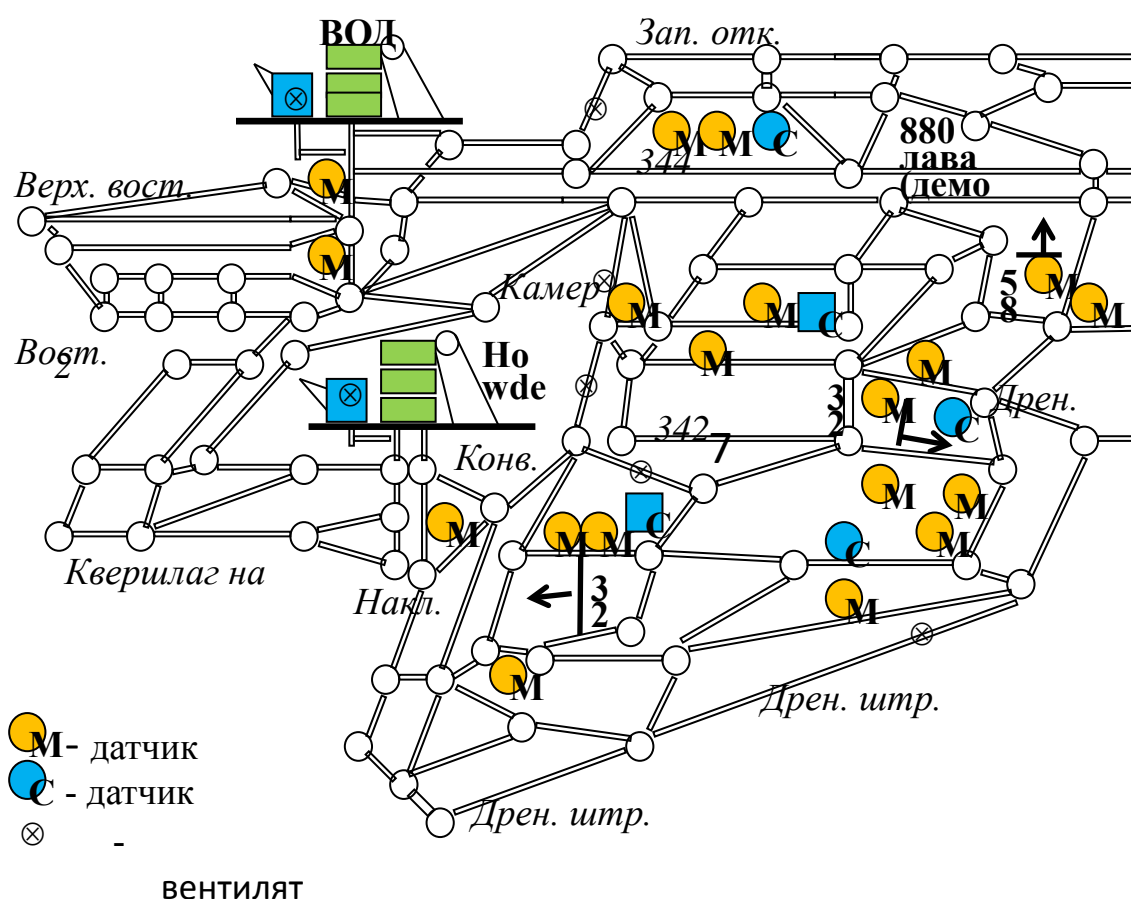


Рис. 1. Упрощённая схема вентиляции шахты «Терновская»

Для того, чтобы учесть эффект накопления неблагоприятных тенденций, разработана классификация ситуаций в шахте, отличающаяся дополнительными градациями, которые позволяют выявить переход от штатной ситуации к аварийной. Стохастический характер процесса изменения параметров шахтной атмосферы, например, концентрации метана или запыленности, объясняется многими факторами, в основном геологическими особенностями угольного пласта, вмещающих пород, режимом работы выемочного комплекса. Производимое орошение приводит

к оседанию пыли в выработках. В периоды подачи выемочной машины отбиваемый уголь и обнажаемый пласт интенсивно выделяют метан, который подхватывается вентиляционной струей. Выделение метана происходит в зависимости от концентрации его в пласте и массиве, сорбционных свойств угля, однако непредсказуемыми являются моменты остановки и пуска выемочного агрегата и флуктуации интенсивности выделения метана. Кроме этого, при посадке кровли происходит обильное выделение метана, что делает процесс выделения метана случайным. В местах проведения взрывных работ интенсивно происходит выделение вредных оксидов: сероводород образуется при взрывных работах, горении огнепроводного шнура; концентрация углекислого газа и оксида углерода повышается вследствие взрывных работ, при возникновении очагов пожара, работы двигателей внутреннего сгорания на рудниках, де сорбированного выделения газов из горных пород. Опрос датчиков, контролирующих параметры шахтной атмосферы, происходит в фиксированные промежутки времени. Поэтому измерение, например, концентрации метана в точке контроля, можно рассматривать как временной ряд значений контролируемого параметра x_i , которые можно представить в виде динамической системы, зависящей от предшествующих наблюдений x_{i-1}, \dots, x_{i-n} с некоторым шумом ξ_i, \dots, ξ_{i-k} ; $x_i = F(x_{i-1}, \dots, x_{i-k}; \xi_i, \dots, \xi_{i-k})$.

Прогнозирование значений концентрации метана и расхода воздуха в стационарном режиме при расчете параметров вентиляции в шахте в настоящее время выполняется посредством уравнения авторегрессии:

$$x[n+1] = \sum_{i=1}^p \alpha_i x[n+1-i]$$

с использованием F- критерия.

Однако в задачах оценки и прогнозирования нештатных ситуаций в шахте этот подход не позволяет учитывать не стационарность процесса изменения аэрогазовых параметров, особенно в критических ситуациях. Степень участия «историю» в последующих значениях в процессе изменения аэрогазовых параметров не учитывают. Таким образом, для оценки аэрогазовой ситуации на участках с учетом прогнозных значений аэрогазовых параметров необходимо:

- определить характеристики (энтропия, временной интервал, дробная размерность) процесса изменения параметра аэрогазовой атмосферы;
- идентифицировать процесс изменения аэрогазового параметра (стационарный, нестационарный);
- для нестационарного процесса:
- провести многократную генерацию прогнозных траекторий изменения параметра;
- определить оценку вероятности превышения аэрогазовым параметром ПДК;
- для стационарного процесса:

- вычисление прогнозных значений производится с помощью авторегрессионной модели.

Для определения характера процесса изменения аэрогазового параметра разработана математическая модель на основе методов [2,3].

По этому методу производятся вычисления корреляционной размерности для временных рядов определения характеристики динамического процесса изменения аэрогазового параметра, учитывающая нестационарные свойства его изменения. В этой работе на основе корреляционного интеграла вычисляются: энтропия Колмогорова K , корреляционная размерность D_2 , длина выборки m , характеризующие динамический процесс изменения аэрогазового параметра шахтной атмосферы. Корреляционный интеграл - вероятность того, что две точки во временном ряду разделены расстоянием меньшим ε :

$$C(\varepsilon) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \theta(\varepsilon - |x_i - x_j|), \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{где - } \theta(x) = \frac{0, x < 0,}{1, x \geq 0} \text{ - функция Хэвисайда;} \end{array} \right.$$

ε – пороговое расстояние; N - число векторов в наборе;

$$D_2 = \lim_{\varepsilon \rightarrow \infty} \frac{\ln(C(\varepsilon))}{\ln \varepsilon}. \quad (3)$$

Для идентификации процесса изменения параметра шахтной атмосферы как стационарного или нестационарного используется соотношение:

$$\log C_q \cong D_q \log \varepsilon - K_q \omega + const, \varepsilon \rightarrow 0, m \rightarrow \infty, \quad (4)$$

где D – информационная размерность наблюдаемой выборки, вычисляется из соотношения:

$$\log C(\varepsilon) \cong -D_2 \log(\varepsilon) + const; \quad (5)$$

$\omega = (m-1)\tau$ – окно реконструкции;

τ – временной интервал (быстродействие датчика).

Тогда, для энтропии Колмогорова K и размерности выборки m справедливо соотношение:

$$C(\varepsilon, \omega) \propto \varepsilon^{D_2} \exp(-K_2 \omega). \quad (6)$$

Идентификация процесса изменения параметра шахтной атмосферы осуществляется с помощью разработанного алгоритма.

Вариацией масштаба ε определяется зависимость корреляционного интеграла от него. Для этого строится линейная аппроксимация $C_2 = a^\tau s + b^\tau$ для фиксированного значения размерности выборки m . Значения угла наклона a^τ прямой сравниваются для различных значений выборки m . Изменение угла наклона в зависимости от размерности выборки m свидетельствует о хаотичности поведения временного ряда и, следовательно, наблюдаемый процесс является стационарным. Тогда, прогноз параметра

шахтной атмосферы необходимо делать на основе авторегрессионных моделей. В том случае, если изменение угла наклона не наблюдается, что свидетельствует о наличии нелинейной зависимости следующего значения от предыдущих показаний (значит процесс нестационарный). Прогноз необходимо производить с учетом характеристик наблюдаемого процесса изменения параметра. [3,4] Они находятся следующим образом: по параметру масштаба s определяется размерность выборки m , для которой энтропия Колмогорова K становится стационарной. В этом случае:

$$K_2 = a^k s - b^k, \quad a^k \rightarrow 0.$$

Для вычисления прогнозной оценки вероятности превышения аэрогазовым параметром предельно допустимого значения разработана математическая модель генерации прогнозной траектории его изменения, учитывающая предысторию и нестационарный характер поведения аэрогазовых параметров. Она основывается на механизме фрактального броуновского движения, позволяющего учесть нестационарные свойства процесса изменения аэрогазового параметра:

$$B_H(t) = \frac{1}{\tilde{\Gamma}(H+1/2)} \int_{-\infty}^t h(t-\tau) dB(\tau), \quad (7)$$

где $dB(\tau)$ – приращение винеровского процесса; $\tilde{\Gamma}(\square)$ – гамма-функция; H – информационная размерность Харста;

$$h(t-\tau) = \frac{(t-\tau)^{H-1/2}, 0 \leq \tau \leq t;}{(t-\tau)^{H-1/2} - (-\tau)^{H-1/2}, \tau < 0.} - \text{импульсная переходная}$$

функция, которая определяет характеристики коррелированной зависимости процесса $B_H(t)$ от предшествующих его значений, а также указывает на самоподобный характер фрактального броуновского движения. При реализации фрактального броуновского движения для фрактальной размерности временного ряда $H > 1/2$ скорее всего последующее приращение параметра имеет тот же знак, что и предыдущее, то есть значение параметра будет возрастать в будущем, если оно возросло в прошлом. Если же параметр $H < 1/2$ размерности, то приращение параметра скорее всего имеет различные знаки, а значит значение параметра будет убывать в будущем, если оно возросло в прошлом. Таким образом, оптимальный в среднеквадратическом смысле прогноз фрактального броуновского движения $\hat{B}_H(t_{n+k})$ описывается следующим соотношением:

$$\hat{B}_H(t_{n+k}) = \frac{1}{2m} \sum_{j=n-m+1}^n [1 + S_{j,n+k}^{2H} - |S_{j,n+k} - 1|^{2H}] B_H(t_{n-j+1}) + B(t), \quad -1 < m < n, \quad (8)$$

где $S_{j,n+k} = t_{n+k} / t_j$; $H = 2 - D_2$.

Величина приращений при этом определяется по формуле:
 $E = \sqrt{2/\pi} \sigma (t_2 - t_1)^H$.

Проведя множественную генерацию прогнозных траекторий изменения параметра шахтной атмосферы, получаем различные реализации превышения или не превышения параметром предельно допустимого значения. На основе полученных реализаций изменения параметра шахтной атмосферы определяются вероятность и оценка времени превышения порогового значения по алгоритму, на основе разработанной математической модели учитывающей не стационарность процесса измеряемого параметра шахтной атмосферы (рис.2).

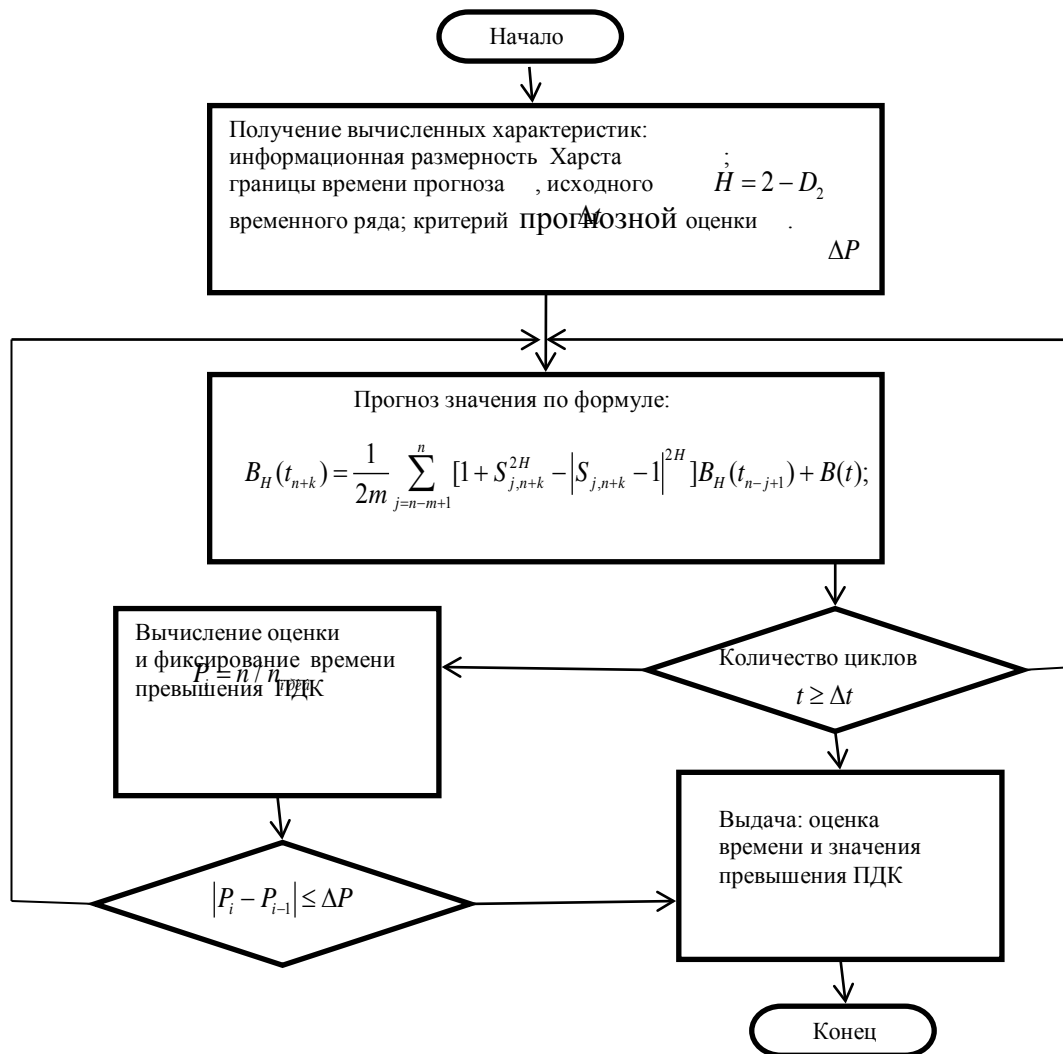


Рис. 2. Этапы алгоритма вычисления на прогнозный период вероятности превышения пороговых значений измеряемого параметра шахтной атмосферы

Получив прогноз вероятностей превышения контролируруемыми аэрогазовыми параметрами предельно допустимых значений, необходимо определить ситуацию в шахте на основе разработанной классификации. Определение объективной оценки аэрогазовой ситуации подземного участка в шахте осуществляется с помощью разработанной методики. Функции принадлежности для определения ситуации в зависимости от совокупной

оценки вероятности превышения аэрогазовыми параметрами на участке представлены в универсальной записи (рис. 3):

$$\mu(x, a, b, c, d) = 0, x < a; \frac{x-a}{c-a}, a < x < c; 1, c \leq x \leq d; \frac{b-x}{b-d}, d < x < b; 0, x \geq b. \quad (9)$$

Параметры a, b, c, d для штатной, тревожной, предаварийной ситуации определяются экспертным методом для различных подземных аварийных ситуаций.

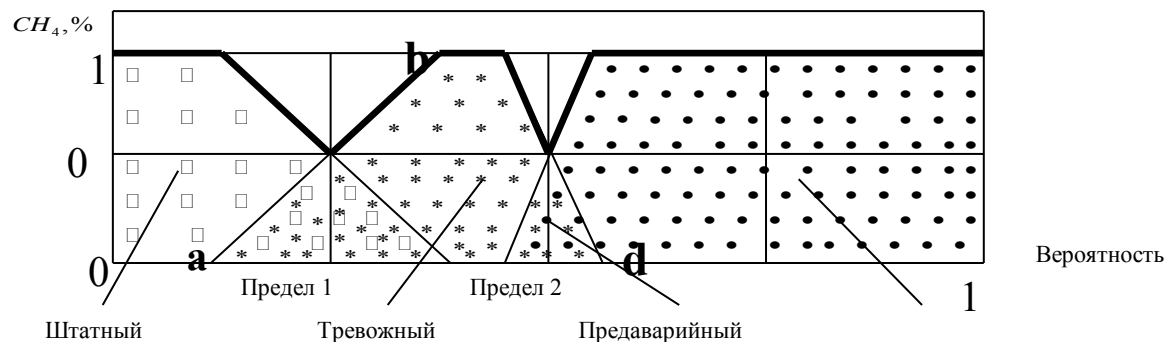


Рис. 3. Функции принадлежности ситуаций

Учет неопределенности разграничения штатного, тревожного и предаварийного режимов работы подземных участков производится перекрытиями, определяемыми функциями принадлежности. При превышении оценки вероятности достижения аэрогазовым параметром шахтной атмосферы предельно допустимого значения необходимо информировать горного диспетчера и предложить список мероприятий, предотвращающих возможную аварийную ситуацию. Для этого в четвертой главе представлена последовательность выработки перечня превентивных мероприятий, направленных на улучшение или предотвращение негативной аэрогазовой ситуации в шахте, основанный на документе «план ликвидации аварий», автоматизирующий часть его функций. В работе разработан механизм для выработки списка превентивных мероприятий, учитывающий прогнозные оценки [7]. На основе определенной оценки аэрогазовой ситуации управления вентиляцией $Q = \langle q_1, q_2, \dots, q_n \rangle > c$ с учетом горно-геологических и технологических факторов, а также оперативного состояния технологического оборудования G, T, M и определяются возможные мероприятия V по управлению вентиляцией применимые для данной ситуации на подземном участке шахты (10).

$$\begin{aligned} F_1 : Q \times G \times T \times M \times S \times D &\rightarrow V; \\ F_2 : V \times I_\delta &\rightarrow L. \end{aligned} \quad (10)$$

С учетом особенностей месторождения, технологической схемы добычи угля, проходки, добычного и вспомогательного оборудования I_0 определяется множество мероприятий, применимых в данных условиях для предотвращения или снижения последствий аварийной ситуации в шахте: $L = \langle l_1, l_2, \dots, l_n \rangle$.

На основе разработанных математических моделей и алгоритмов спроектирована схема информационно-аналитической системы безопасности шахты (рис.4). [5,6]. Получаемые данные шахтной атмосферы с участков последовательно анализируются в модуле «Вычисление характеристик динамического процесса изменения аэрогазового параметра», вычисляются характеристики анализируемого динамического процесса: энтропия Колмогорова K , корреляционная размерность, длина выборки, и определяется характер изменения аэрогазового параметра (стационарный или нестационарный).

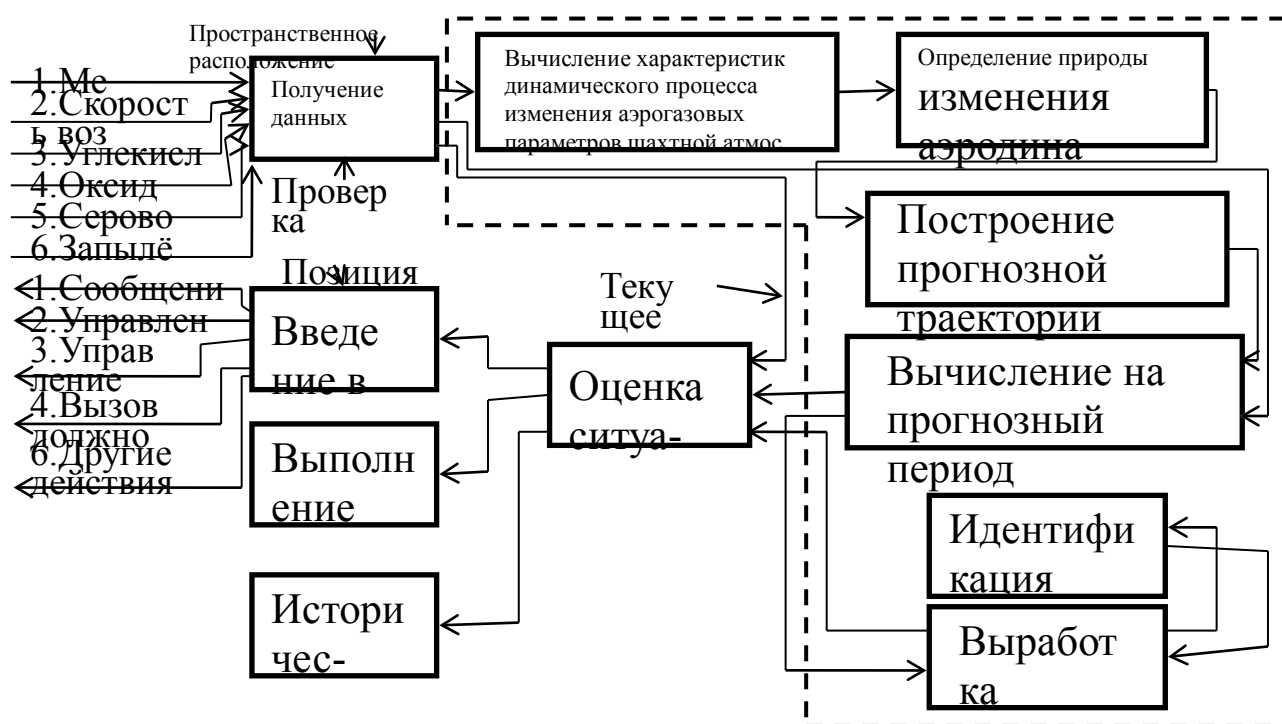


Рис. 4. Структурная схема информационно-аналитической системы безопасности шахты

В модуле «Построение прогнозной траектории изменения аэрогазового параметра» для нестационарного процесса производится построение прогнозных реализаций изменения анализируемого аэрогазового параметра с помощью механизма фрактального броуновского движения и вычисленных характеристики процесса. На основе результата моделирования определяется оценка вероятности превышения аэрогазовым параметром предельно допустимого для него значения. Полученные данные и разработанная в статье классификация ситуаций используются для идентификации аэрогазовой ситуации в шахте. С использованием разработанного механизма выработки списка мероприятий по улучшению состояния возможной

аварийной ситуации диспетчером производится выработка перечня превентивных мероприятий.

Выводы. Научная новизна данных исследований заключается в разработке методов и алгоритмов, позволяющих с достаточной степенью достоверности объективно оценить аэрогазовую ситуацию с учетом анализа и прогноза значений параметров шахтной атмосферы и нестационарного характера их изменения во времени, выработать и выполнить превентивные мероприятия, направленные на недопущение аварий на шахтах или снижение их последствий.

Список литературы

1. Азбель М.Д. Мониторинг безопасности промышленных предприятий. Учебное пособие. - М.: МГГУ. -2007.325 с.
2. Бондаренко В.В., Куляница А.Л. и др., Подход к прогнозированию развития ситуации и определение управляющих воздействий в интеллектуальной системе поддержки принятия решений. М.: Информационные технологии. -2003. -№8. - С. 13-19.
3. Громов Ю.Ю, Земский Н.А, Иванова О.Г. и др., Фрактальный анализ и процессы в компьютерных сетях: Учеб. пособие. -Тамбов: Издательство ТГТ 2004. -№10. – С. 21-24.
4. Дуброва. Т.А. Статистические методы прогнозирования. М.:ЮНИТИ. -2003. 206 с.
5. Душейко О.С., Томилин Ю.В. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций с использованием интерполяционных формул. //XXIX Неделя науки СП ГТУ. Материалы межвузовской научной конференции. Ч. I. -2001. С.78.
6. Егоров Н., Карпов А. Диагностические информационно-экспертные системы. СПб.: Санкт-Петербургский университет. -2002.320 с.
7. Журавков М. А., Кириенко В. М. Автоматизированная система "План ликвидации аварий" для подземных рудников. //Горный журнал. М.: МГГУ. -2004. -№10.- С. 37-40.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Алексєєвим М.О.
Надійшла до редакції 18.01.15.*

УДК 519.6

© Н.Н. Беляев, П.Б. Машихина, Л.Я. Мунтян

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОТ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Разработан метод расчета загрязнения атмосферы от подвижного состава. Метод базируется на численном интегрировании трехмерного уравнения миграции примеси в воздухе.

Розроблено метод розрахунку забруднення атмосфери від рухомого складу. Метод базується на чисельному інтегруванні тривимірного рівняння міграції домішки у повітрі.