

МОДЕЛИ ВЕРИФИКАЦИИ ПЛАНОВ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Анотація. Пропонуються імітаційні моделі, розроблені в системі моделювання E-net Modeling System (EMS) на основі потужного формального апарата E-мереж, що дозволяють прогнозувати можливі варіанти розвитку технологічних процесів на вугільній шахті, а також виконувати верифікацію планів ліквідації аварій.

Ключові слова: вугільна шахта, плани ліквідації аварій, E-мережі, система моделювання EMS.

Аннотация. Предлагаются имитационные модели, разработанные в системе моделирования E-net Modeling System (EMS) на основе мощного формального аппарата E-сетей, которые позволяют прогнозировать возможные варианты развития технологических процессов на угольной шахте, а также выполнять верификацию планов ликвидации аварий.

Ключевые слова: угольная шахта, планы ликвидации аварий, E-сети, система моделирования EMS.

Abstract. Simulation models developed on E-net Modeling System (EMS) on the base of powerful formal apparatus E-nets allow predicting possible variants of technological process development of coal mines and perform the verification of the emergency control plans are proposed.

Keywords: coal mine, emergency control plans, E-nets, EMS modeling system.

1. Введение

Угольная шахта – сложная производственная система с особо опасными условиями эксплуатации, где существуют не только случайные изменения геологических и других природных условий, но и нарушения правил безопасного ведения горных работ, отказ техники, нарушения технологии и другие нежелательные явления. Установлено [1], что даже незначительного дефекта электрооборудования (искрения) или местного повышения трения конвейерной ленты может быть достаточно для взрыва метановоздушной или пылеметановоздушной смеси, что, в свою очередь, приводит к резонансным авариям. Исходя из этого, можно констатировать, что поддержание оборудования, работающего в подземных условиях, в постоянном работоспособном состоянии является сложной научно-технической проблемой.

Отличительной особенностью проводимых в настоящее время мероприятий по обеспечению надёжности функционирования угольной шахты является отсутствие системного подхода [2]. В связи с этим крайне актуальной задачей является создание высоко-технологичной компьютеризированной системы безопасности, которая позволит не только предотвращать, но и моделировать возможные аварийные ситуации, связанные с функционированием угольной шахты как на стадии разработки планов ликвидации аварий (ПЛА), так и в режиме реального времени в ходе выполнения технологических процессов. Только с помощью встроенных средств моделирования можно сделать вывод, насколько система безопасности соответствует выдвигаемым к ней требованиям, провести тестирование ее работы не только в нормальном режиме функционирования, но и в аварийных ситуациях.

Целью данной статьи является разработка моделей, которые позволят прогнозировать возможные варианты развития ситуаций в угольной шахте или на отдельных ее участках, а также выполнять верификацию ПЛА.

2. Анализ существующих систем безопасности

На сегодняшний день в Украине широко применяются системы безопасности угольных шахт, которые частично позволяют контролировать состояние среды и оборудования. Рассмотрим наиболее распространённые из них.

В [3] в качестве системы безопасности угольных шахт предлагается использовать унифицированную телекоммуникационную автоматизированную противоаварийную систему (УТАС). Система УТАС предназначена для комплексного обеспечения безопасности шахт путем контроля и управления параметрами машин и окружающей среды в горных выработках шахт, автоматизированного управления машинами и технологическими комплексами, а также передачи данных о состоянии горношахтного оборудования и атмосферы выработок диспетчеру на поверхность. Задачами системы УТАС при ее использовании на угольных шахтах являются:

- 1) контроль параметров шахтной атмосферы и микроклимата;
- 2) контроль состояния основного и вспомогательного технологического оборудования;
- 3) автоматизированное управление горными машинами и комплексами;
- 4) управление технологическими процессами;
- 5) контроль состояния систем электроснабжения, гидроснабжения, пневмоснабжения и управление ими.

Таким образом, УТАС является достаточно проработанной, современной автоматизированной системой управления. Тем не менее, она не позволяет моделировать возможные варианты развития ситуаций в угольной шахте при различных условиях, что не позволяет ее применять для отработки ПЛА.

В [4] учитываются недостатки системы УТАС и предлагается на ее основе создать систему нового технического уровня – имитационную систему промышленной безопасности угольных шахт (ИСТБУШ), которая будет обладать:

- возможностью контроля и прогноза выбросоопасности;
- возможностью имитационных испытаний шахты или ее отдельных участков на стадии проектирования и на стадиях ввода в эксплуатацию новых горизонтов, механизированных комплексов и другого оборудования;
- возможностью контроля и управления всеми процессами в угольной шахте в режиме реального времени с использованием рациональной схемы расстановки датчиков для сбора первичной информации.

Кроме того, одной из отличительных особенностей ИСТБУШ является возможность управления, контроля и учета ведения горных работ без участия человека. Однако данная система также не позволяет проводить верификацию ПЛА на этапе проектирования системы безопасности с помощью специально разработанных моделей.

3. Базовая модель

Детальный анализ причин и предпосылок всей статистики на шахтах угледобывающей промышленности [5] показывает, что подавляющее большинство всех аварий происходило при возникновении предаварийного состояния шахтной атмосферы, вызванного ростом концентрации метана и угольной пыли в течение «достаточно длительного» времени. На таком фоне появление высокотемпературного источника (прежде всего искры производственного происхождения) приводило к взрыву с вероятностью, зависящей от времени и степени критичности концентрации метана и угольной пыли.

Для прогнозирования возникновения такой предаварийной ситуации в [6] предложена математическая модель, основанная на использовании теории однородных марковских процессов. Согласно выводам этой теории, вероятности нахождения системы во всех

возможных ее состояниях в текущий момент времени t удовлетворяют линейной системе дифференциальных уравнений Колмогорова [7]:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -\sum_{i=0}^n \lambda_{ij} P_i(t) + \sum_{k=0}^n \lambda_{ki} P_k(t), i = 0, \dots, n, \quad (1)$$

где i – номер состояния, $P_i(t)$ – вероятность нахождения в i -том состоянии, λ_{ij} – интенсивность потока из i -того состояния изучаемой системы, λ_{ki} – интенсивность потоков, входящих в i -тое состояние. При интегрировании уравнений (1) задаются начальные условия в форме $P(0) = p_{i0}$. В любой момент времени должны выполняться условия

$$\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1.$$

В рассматриваемом подходе интенсивности λ_{ij} (табл. 1) задаются для конкретной шахты из статистики прошлых наблюдений и экспериментальных исследований взрыва в специальных лабораториях во взрывных камерах.

Таблица 1. Значения интенсивностей

Интенсивность λ_{ij}	λ_{01}	λ_{02}	λ_{13}	λ_{23}	λ_{10}	λ_{20}
Значение	6	0.5	1	3	0.5	5

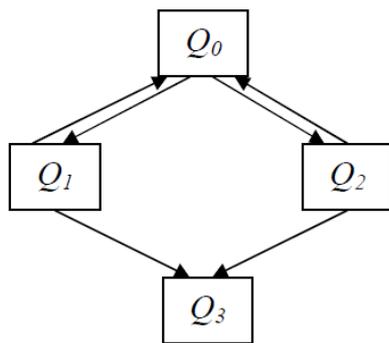


Рис. 1. Модель с указанными переходами между состояниями угольной шахты

На рис. 1 приведена упрощенная модель расчета в виде графа, которая используется для прогнозирования развития ситуации в шахте, основываясь на заданных выше параметрах. Модель учитывает наличие метана и искры в атмосфере угольной шахты для четырех состояний: 1) нет метана и нет искры (состояние Q_0); 2) есть метан, нет искры (состояние Q_1); 3) нет метана, есть искра (состояние Q_2); 4) есть метан и есть искра (состояние Q_3).

Данный подход нашел свое применение, однако он имеет существенное ограничение, связанное с тем, что систему дифференциальных уравнений Колмогорова можно решить лишь для стационарных процессов, когда интенсивности перехода состояний не изменяются во времени. Но для угольной шахты в большей степени характерны проявления как раз нестационарного протекания процессов, вызванные внезапными выбросами большого количества метана, возгорания оборудования, резкими изменениями режимов вентиляции и, наконец, запланированными действиями по предотвращению аварий. В подобных случаях данный подход становится непригодным. Поэтому даже для такой общей модели возникает проблема прогноза в критических условиях, управления на основе ПЛА и контроля предаварийной ситуации при внешних динамических воздействиях. Решить данную проблему возможно путем применения вместо аналитических моделей, построенных на основе уравнений Колмогорова, имитационных моделей, для которых условие стационарности не будет являться обязательным ограничением.

3. Предлагаемый подход к построению моделей процессов в шахтах

Для создания имитационных моделей процессов функционирования угольных шахт будем использовать специально разработанную распределенную web-систему имитационного

моделирования E-net Modeling System (EMS)[8], которая предоставляет возможность моделирования в рамках распределенной архитектуры High Level Architecture (HLA)[9] на основе мощного формального аппарата E-сетей[10] и иерархического агрегатного подхода [11].

3.1. Имитационное решение базовой модели

Детально рассмотрим использование EMS для моделирования развития предаварийной ситуации и оценки вероятности появления аварии в условиях рассмотренной выше базовой модели на основе формального аппарата E-сетей.

E-сеть определяется пятеркой:

$$E = \langle P, T, I, O, \mu_o \rangle, \quad (2)$$

где $P = \{P_S, P_R\}$ – конечное непустое множество позиций, состоящее из непересекающихся подмножеств P_S – простых позиций и P_R – решающих позиций, $P_S \cap P_R = \emptyset$; множество простых позиций может содержать подмножество входных позиций $P_{in} \subseteq P_S$ и подмножество выходных позиций, которые называются граничными, допускается $P_{in} = \emptyset$ и $P_{out} = \emptyset$, $P_{in} \cap P_{out} = \emptyset$;

T – конечное непустое множество переходов, которое может состоять из переходов типов $\{ "T_T", "T_F", "T_j", "T_X", "T_Y", "T_{QL}", "T_{QF}" \}$, $T \cap P = \emptyset$. С переходами сети ассоциированы следующие функции:

- 1) r – решающая функция перехода;
- 2) τ – функция задержки перехода;
- 3) z – функция преобразования перехода.

Решающая функция

$$r : P_R \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\} \quad (3)$$

ассоциируется с решающими позициями, которые не содержат меток и управляют работой связанных с ними переходов типов $\{ "T_X", "T_Y" \}$ посредством вычисления значений так называемых решающих функций $r : P_R \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$. Решающая функция может быть рассчитана, в том числе, и с учетом значений атрибутов меток и переменных сети, то есть $r(q) = f(d_p, V_I), q \in P_S, p \in P_R$. Значение решающей функции определяет направление перемещения метки при срабатывании перехода. Границы возможных значений решающих функций зависят от числа позиций, инцидентных переходу, по умолчанию $r_0(q) = 0$.

Функция задержки вычисляет время задержки τ на переходе на основании значений атрибутов меток, находящихся в позициях сети, а также значений переменных сети, то есть $\tau(t) = f(d_p, V_I), p \in P_S$. Как частный случай, по умолчанию может быть задано нулевое время задержки. В общем виде функцию задержки можно представить в виде отображения

$$\tau : T \rightarrow \mathfrak{R}^+, \quad (4)$$

где T – множество переходов сети, \mathfrak{R}^+ – множество положительных действительных чисел, включая ноль.

Функция преобразования перехода

$$z : T \rightarrow \delta \quad (5)$$

задает последовательность операций $\delta: \{d_p \cup V\} \rightarrow \{d_p \cup V\}, p \in P_M \cap P_t$, которые выполняются над переменными сети и атрибутами меток при перемещении их из входных позиций в выходные позиции перехода. При задании стандартной функции преобразования z_0 , которая выполняется по умолчанию, значения атрибутов меток не изменяются.

$I: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$ – входящая функция, которая задает отображение позиций в переходы, то есть определяет для каждого $t \in T$ множество его входных позиций $I(t)$. Если существует дуга, которая ведет из $p \in P$ в $t \in T$, то $I(p, t) = 1$, в противном случае $I(p, t) = 0$;

$O: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$ – исходящая функция, которая задает отображение переходов сети в позиции, то есть определяет для каждого $t \in T$ множество его выходных позиций $O(t)$. Если существует дуга, которая ведет из $t \in T$ в $p \in P$, то $O(p, t) = 1$, в противном случае $O(p, t) = 0$;

$M_0: P \rightarrow \{0, 1\}$ – функция начальной маркировки, задающая присутствие или отсутствие меток в позициях и определяющая динамические свойства Е-сети.

Основные свойства Е-сетей, которые, фактически, определяют их как класс вычислительных сетей, заключаются в расширенных возможностях использования маркеров позиций и переходов. Каждой метке, которая находится в позиции Е-сети, ставится в соответствие кортеж числовых атрибутов, который определяет информационную составляющую метки $d_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ij}, \dots, d_{iN})$, где d_{ij} – значение j -го атрибута i -й метки. Во время перемещения меток по сети значения их атрибутов могут изменяться. При использовании Е-сети метки могут перемещаться из входных позиций переходов в выходные, меняя маркировку сети.

Важной особенностью предлагаемого аппарата для создания имитационных моделей является способность прогнозирования развития ситуации в будущем и (в случае вероятности аварии) принятие решений о ее недопущении уже в текущий момент времени.

С использованием аппарата Е-сетей разработанная в EMS модель развития предаварийной ситуации имеет вид, представленный на рис. 2.

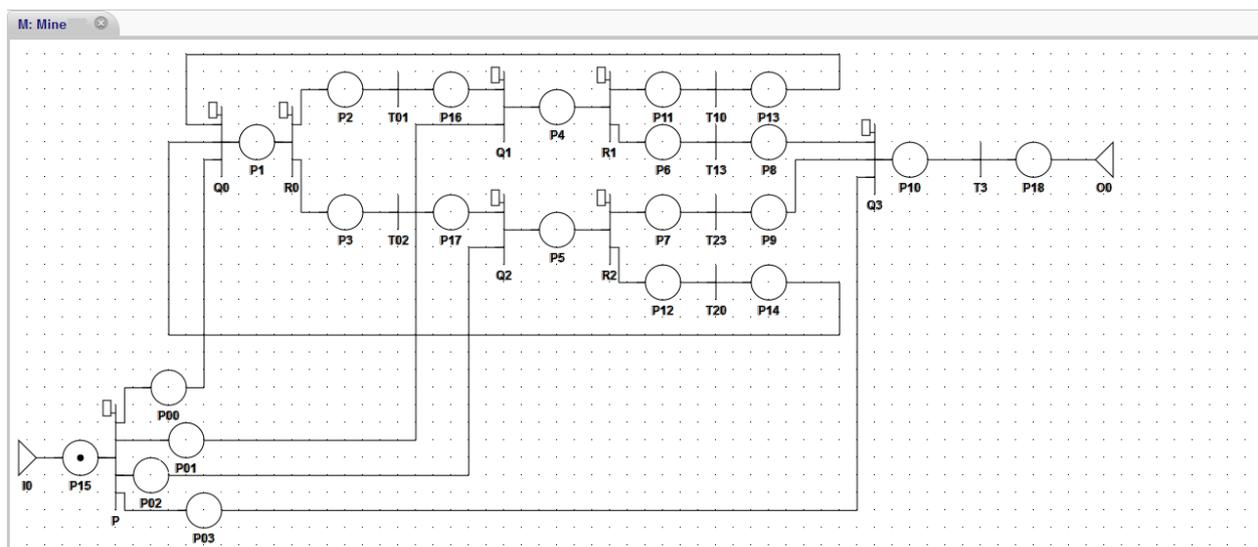


Рис. 2. Е-сетевая имитационная модель предаварийного состояния на шахте, разработанная в системе EMS

Функции переходов данной модели имеют определение, которое приведено ниже. Переход Q_0 – инициализирует состояние шахты Q_0 – нет метана и нет искры.

Переход R0 – определяет, в зависимости от интенсивности потока, в какое состояние (Q_1 или Q_2) должна перейти система в следующий момент времени с помощью решающей функции, использующей переменные модели t01, t02:

$V[t01] = EXPONENTIAL(0.17);$

$V[t02] = EXPONENTIAL(2);$

$IF (V[t01] < V[t02]) RETURN 0; // переход в состояние $Q_1$$

$ELSE RETURN 1; // переход в состояние $Q_2$$

Переход T01 – определяет время задержки, необходимое для перехода системы в состояние Q_1 из состояния Q_0 . Функция задержки перехода:

$RETURN V[t01];$

Переход T02 – определяет время задержки, необходимое для перехода системы в состояние Q_2 из состояния Q_0 . Функция задержки перехода:

$RETURN V[t02];$

Переход Q1 – инициализирует состояние шахты Q_1 – есть метан, нет искры.

Переход Q2 – инициализирует состояние шахты Q_2 – нет метана, есть искра.

Переход R1 – определяет, в зависимости от интенсивности потока, в какое состояние (Q_0 или Q_3) должна перейти модель из состояния Q_1 в следующий момент времени с помощью решающей функции и переменных модели t10, t13:

$V[t10] = EXPONENTIAL(2);$

$V[t13] = EXPONENTIAL(1);$

$IF (V[t10] < V[t13]) RETURN 0; // переход в состояние Q_0 .$

$ELSE RETURN 1; // переход в состояние Q_3 .$

Переход T10 – определяет время задержки, необходимое для перехода системы в состояние Q_0 из состояния Q_1 . Функция задержки перехода:

$RETURN V[t10];$

Переход T02 – определяет время задержки, необходимое для перехода системы в состояние Q_3 из состояния Q_1 . Функция задержки перехода:

$RETURN V[t13];$

Переход R2 – определяет, в зависимости от интенсивности потока, в какое состояние (Q_0 или Q_3) должна перейти модель из состояния Q_2 в следующий момент времени с помощью решающей функции и переменных модели t20, t23:

$V[t20] = EXPONENTIAL(0.2);$

$V[t23] = EXPONENTIAL(0.33);$

$IF (V[t20] < V[t23]) RETURN 1; // переход в состояние Q_0 .$

$ELSE RETURN 0; // переход в состояние Q_3 .$

Переход T20 – определяет время задержки, необходимое для перехода системы в состояние Q_0 из состояния Q_2 . Функция задержки перехода:

$RETURN V[t20];$

Переход T23 – определяет время задержки, необходимое для перехода системы в состояние Q_3 из состояния Q_2 . Функция задержки перехода:

$RETURN V[t23];$

Переход Q3 – инициализирует состояние шахты Q_3 – есть метан и есть искра – аварийная ситуация.

Переход P моделирует начальные условия протекания процесса, которые задаются соответствующими начальными вероятностями каждого из рассматриваемых состояний.

Данные вероятности разыгрываются случайным образом, формируя начальное положение меток при каждом условном прогоне модели:

$V[X] = UNIFORM(0,1)$;
 IF ($V[X] \geq 0.3$) RETURN 0;
 IF ($V[X] < 0.3 \ \&\& \ V[X] \geq 0.2$) RETURN 1;
 IF ($V[X] < 0.2 \ \&\& \ V[X] \geq 0.1$) RETURN 2;
 IF ($V[X] < 0.1$) RETURN 3;

В один момент времени система может находиться только в одном из четырех состояний, в каждое из которых система может прийти как в процессе функционирования, так и при старте каждого нового прогона. Использование экспоненциального распределения вероятностей времени задержки на переходах обеспечивает выполнение условия марковости, характерного для аналитической модели.

Результаты моделирования, полученные для четырех состояний системы, представлены на рис. 3–6.

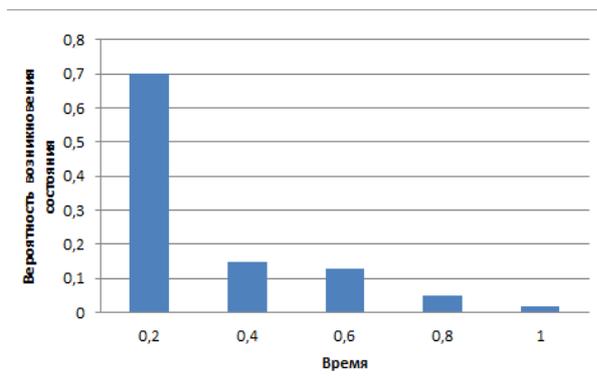


Рис. 3. Результаты моделирования для состояния Q_0

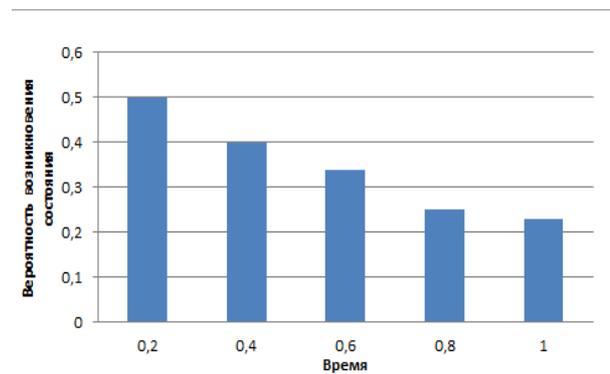


Рис. 4. Результаты моделирования для состояния Q_1

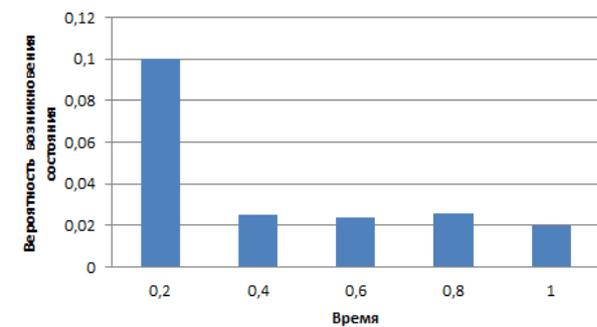


Рис. 5. Результаты моделирования для состояния Q_2

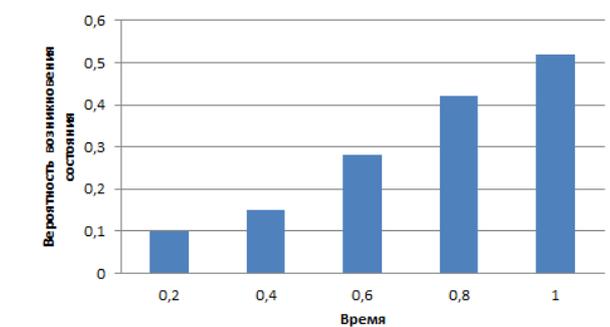


Рис. 6. Результаты моделирования для состояния Q_3

Здесь в качестве начальных вероятностей состояний использованы их значения, в точности соответствующие условиям, описанным в [6], и представленные в виде табл. 2.

Таблица 2. Значения начальных вероятностей

Вероятность p_{ij}	P_{00}	P_{01}	P_{02}	P_{03}
Значение	0,7	0,1	0,11	0,09

Таким образом, вероятнее всего, что в момент запуска система будет находиться в состоянии Q_0 – нет метана и нет искры, что соответствует нормальному режиму работы угольной шахты.

Как видно из результатов моделирования, вероятность аварийного состояния Q_3 растет от начального значения 0,09 до значения 0,52 к моменту времени $t=1$. Рассчитаем доверительный интервал для полученного значения на основе данных 30 прогонов, используя критерий Стьюдента:

$$1. p(Q_3) = \left\{ \begin{array}{l} 0,5; 0,52; 0,45; 0,48; 0,49; 0,51; 0,47; 0,53; 0,48; 0,46; 0,47; 0,52; 0,55; 0,46; 0,5; \\ 0,51; 0,49; 0,46; 0,48; 0,52; 0,52; 0,5; 0,49; 0,48; 0,48; 0,46; 0,5; 0,49; 0,53; 0,52 \end{array} \right\}.$$

2. Найдем математическое ожидание a для полученного множества значений:

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i, \quad (6)$$

где a – математическое ожидание, a_i – элемент множества, n – количество прогонов (элементов множества).

$$a = 0,494.$$

3. Рассчитаем дисперсию σ^2 :

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - a)^2}{n - 1}, \quad (7)$$

где σ^2 – дисперсия, a – математическое ожидание, n – количество прогонов.

$$\sigma^2 = 0,0006; \quad \sigma = \sqrt{0,0007} = 0,025.$$

4. Зададим доверительную вероятность $\gamma = 0,9$, при которой, согласно распределению Стьюдента, коэффициент $t_\gamma = 1,7$.

5. Рассчитаем доверительный интервал полученного значения:

$$\Delta\gamma = t_\gamma \sqrt{\frac{\sigma}{n}}, \quad (8)$$

где $\Delta\gamma$ – точность, t_γ – коэффициент, σ – среднее квадратическое отклонение, n – количество прогонов.

$$\Delta\gamma = 0,05.$$

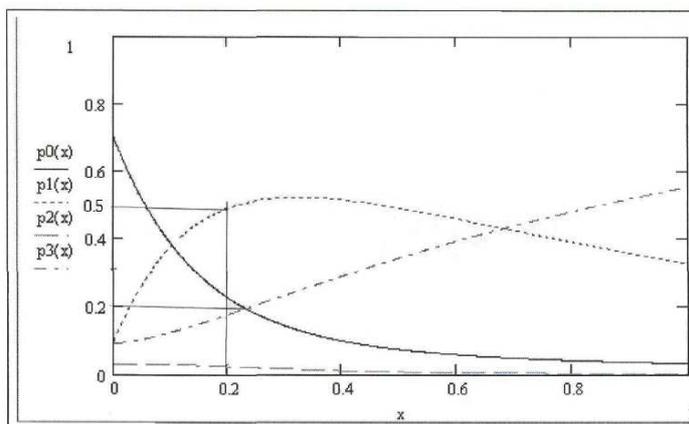


Рис. 7. Графики построенных решений системы уравнений Колмогорова (1) для развития предаварийного состояния на шахте

Таким образом, в результате моделирования вероятность аварийного состояния Q_3 составляет 0,52 $\pm 0,05$.

Сравним полученные результаты с аналитическими (рис. 7), полученными в [6].

Как видно из рис. 7, вероятность системы находится в аварийном состоянии, к моменту времени $t=1$ составляет 0,57. Таким образом, отклонение полученных нами данных составляет 5%. Следовательно, разработанная модель является адекватной и может использоваться для прогноза аварийных ситуаций.

3.2. Моделирование нестационарных процессов функционирования угольной шахты

Рассмотрим применение разработанной модели развития предаварийного состояния на шахте для нестационарного режима функционирования.

Предположим, что в момент $t = 40$ необходимо резко изменить режим вентиляции шахты с целью недопущения появления метана в выработке выше критической нормы.

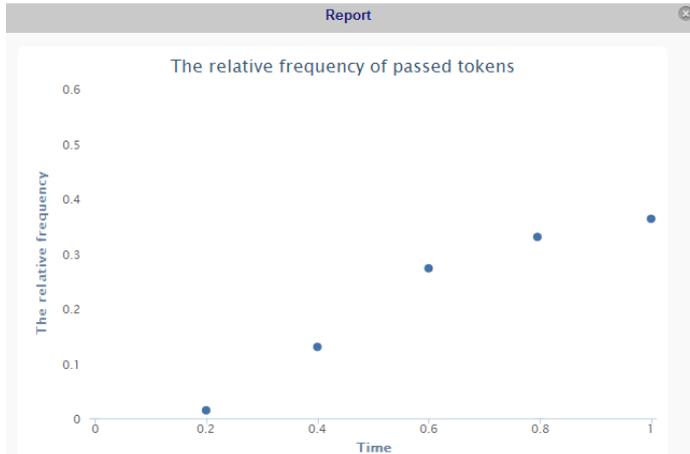


Рис. 8. Результаты моделирования для состояния Q_3 после изменения значения интенсивностей $\lambda_{01}, \lambda_{13}$

С помощью функций преобразования на переходах E-сетевой модели изменим значения интенсивностей $\lambda_{01}, \lambda_{13}$ в момент времени $t = 0,4$. Результаты моделирования представлены на рис. 8.

Как видно из результатов, работа системы стабилизируется, а вероятность возникновения аварийного состояния значительно уменьшается.

Таким образом, благодаря использованию гибкого аппарата E-

сетевых моделей появляется возможность получения прогноза развития ситуации для нестационарных процессов функционирования угольной шахты. В частности, может быть оценена эффективность действий по снижению вероятности возникновения аварии, предусмотренных верифицируемым ПЛА.

4. Выводы

Предложенный подход к моделированию технологических процессов угольных шахт позволяет учитывать нестационарный характер протекающих процессов и снижать вероятность возникновения аварий в угольных шахтах благодаря использованию мощного и в то же время простого для восприятия аппарата E-сетей, реализованного в системе моделирования EMS.

Данный подход и рассмотренные инструментальные средства в дальнейшем могут быть использованы как для моделирования системы противоаварийной защиты шахты, так и для построения моделей различных воздействий на данную систему, с целью выявления ее особенностей и характеристик, а также верификации планов ликвидации аварий, в том числе и с помощью методов полунатурного моделирования.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Системы безопасности шахт Украины, их возможности и перспективы / Ю.И. Шульга, В.Г. Здановский, Н.В. Кривцов [и др.] // Проблемы охорони праці в Україні: зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 18. – С. 3 – 11.
2. Алексеев А.М. Принятие решений при ликвидации аварий на шахтах и рудниках [Электронный ресурс] / А.М. Алексеев, А.Н. Коваленко. – Режим доступа: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Npdntu_ikot/2008/08aamasr.pdf.
3. Ігнатович М.В. Перспективи впровадження автоматизованої протиаварійної системи УТАС / М.В. Ігнатович, В.Г. Здановський // Інформаційний бюлетень з промислової безпеки. – 2009. – № 4 (16). – С. 19 – 21.
4. Мещанинов С.К. Имитационная система промышленной безопасности угольных шахт (ИС-ПБУШ) / С.К. Мещанинов, В.И. Король // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 1. – С. 19 – 22.

5. Нецепляев М.И. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах // Нецепляев М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М. – М.: Недра, 1992. – 298 с.
6. Писаренко В.Г. Актуальные направления развития интеллектуализированной робототехники для снижения аварийности на шахтах / В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3. – С. 308 – 316.
7. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания // Клейнрок Л. – М.: Машиностроение, 1979. – 425 с.
8. Казимир В.В. Розподілена система імітаційного моделювання EMS / В.В. Казимир, Г.А. Сіра, І.І. Мушкетик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2011. – № 3. – С. 144 – 153.
9. Fujimoto R.M. Distributed Simulation Systems / Fujimoto R.M. – NY.: A Wiley-Interscience publication, 2000. – 303 p.
10. Казимир В.В. Модельно-ориентированное управление интеллектуальными производственными системами: дис. ... доктора техн. наук: 05.13.06 / Казимир Владимир Викторович. – К., 2006. – 301 с.
11. Казимир В.В. Розподілене моделювання в EMS на основі архітектури HLA / В.В. Казимир, Г.А. Сіра // Математичні машини і системи. – 2011. – № 4. – С. 125 – 135.
12. Nutt G.J. Evaluation Nets for Computer Systems Performance Analysis / G.J. Nutt // FJCC, AFIPS PRESS. – 1972. – Vol. 41, Pt. 1. – P. 279 – 286.

Стаття надійшла до редакції 07.12.2011