

6. Ахметшина Л.Г. Анализ многомерных геофизических данных на основе метода самоорганизующихся карт / Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров // Научный вестник НГАУ. – 2001. – № 5. – С. 45 – 47.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Алексєєвим М.О.
Надійшла до редакції 09.10.2014*

УДК 681.3:004.8:622.867

© А.М. Алексеев

РАЗРАБОТКА ОПЕРАТИВНЫХ ПЛАНОВ ЛИКВИДАЦИИ ШАХТНЫХ АВАРИЙ НА БАЗЕ ПРЕЦЕДЕНТНОГО ПОДХОДА

У статті вирішені питання ідентифікації і адаптації прецедентів для бази знань інтелектуальної системи підтримки рішень при ліквідації аварій на шахтах. Показані можливості прогнозування стану оперативної обстановки на пожежі, використовуючи збережені в базі знань прецеденти у вигляді варіантів причинно-наслідкових зв'язків. Розроблені процедури зберігання і пошуку подібних випадків у базі знань.

В статье решены вопросы идентификации и адаптации прецедентов для базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах. Показаны возможности прогнозирования состояния оперативной обстановки на пожаре, используя сохраненные в базе знаний прецеденты в виде вариантов причинно - следственных связей. Разработаны процедуры хранения и поиска подобных случаев в базе знаний.

In the article we have solved the problems of identification and adaptation of precedents for knowledge base of intelligent decision support system during the liquidation of mining accidents. We have showed the capabilities to predict the state of the operational environment on fire, we used the saved precedents in the form of options cause - effect relationships. There were designed the procedures for the storage and searching of similar cases in the knowledge base.

Введение. Принятие оперативных решений при тушении пожаров на шахте, вызывает необходимость создания «Компьютерных систем поддержки принятия решений руководством объекта управления в экстремальных ситуациях». В данном случае возникает задача создания баз знаний, по которым возможно оперативно принимать в экстремальных условиях обоснованные, точные решения. Разрабатываемая модель знаний данной предметной области содержит имплицитивные (причинно-следственные) отношения, посредством которых описываются возможные аварийные ситуации. Поэтому в работе решаются задачи: описания возможных аварийных ситуаций; процедуры конкретизации или обобщения этих ситуаций; процедуры их адаптации реальным условиям, сложившимся на объекте управления; схемы принятия решений по ликвидации аварий. Все эти процессы в основном представляются на уровне нечётких лингвистических переменных.

Формулировка цели и задачи исследования. В работе должны решаться вопросы возможности прогнозирования состояния оперативной обстановки на пожаре в шахте, используя сохраненные в базе знаний прецеденты в виде вариантов причинно-следственных связей, организации процедур идентификации, адаптации, хранения, поиска подобных прецедентов в базе знаний интеллектуальной системы.

Изложение основного материала исследований. После возникновения аварии и ввода в действие планов ликвидации аварий (ПЛА) подразделения горноспасателей действуют согласно его требованиям. Они принимают меры по спасению людей, а затем производят разведку аварийного объекта [1,2]. Дальнейшие действия горноспасателей определяются «Оперативными планами» [1]. Общий алгоритм процесса принятия решений при ликвидации аварий на шахте включает в свой состав несколько этапов составления оперативных планов, количество которых зависит от сложности аварии. Использование прецедентного подхода при разработке «Оперативных планов» рассмотрим по схеме, изображённой на рис.1.



Рис. 1. Цикл вывода решений, направленных на ликвидацию аварии

Этап «Новый случай».

На данном этапе проверяется схожесть (идентификация) нового случая (прецедента), уже имеющимся прецедентам в базе **6** по интегральному критерию. При идентификации используются отношения типа «класс-класс» («is-a») и «часть-целое» («part-of»). Отношение «is-a» используется при сравнении таксономической близости концептов, а «part-of» при установлении близости атрибутов экземпляров прецедентов. Для сравнения сложных атрибутов (экземпляр – часть экземпляра) алгоритм применён рекурсивно, при заданной максимальной глубине рекурсии. При этом сравниваются атрибуты только совместимых типов (имеющих атрибуты общего базового класса). На рис.2 изображён фрагмент сетевой информации о пожаре на шахте, содержащий, как описание аварийной обстановки А, так и решения В, направленные на её ликвидацию.

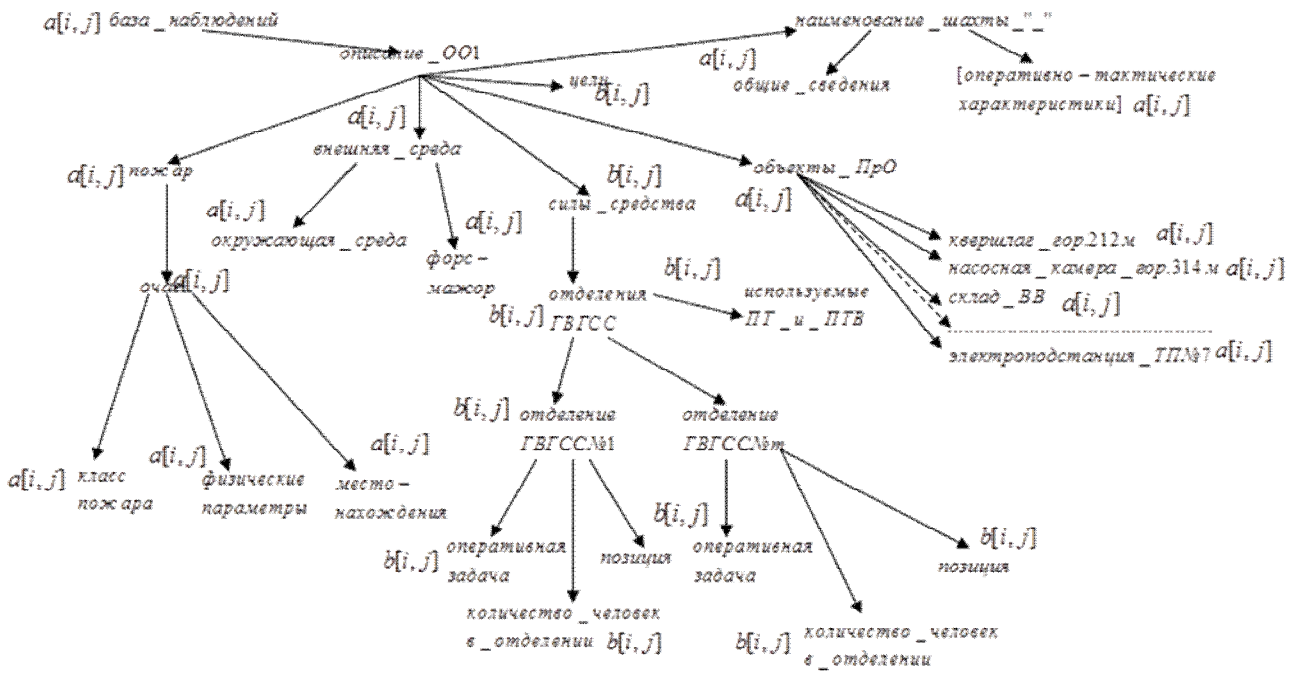


Рис. 2. Фрагмент информации о пожаре на шахте «Известий»
ГП «Донбассантрацит», произошедшего 04.09.09 года

На рис. 3 изображена модель сетевой структуры информации прецедента, характеризующего состояния шахты в аварийной обстановке с обозначенными атрибутами $a[i, j]$ и $b[n, k]$. Параметры $a[H, X]$ описывают состояния аварийного объекта.

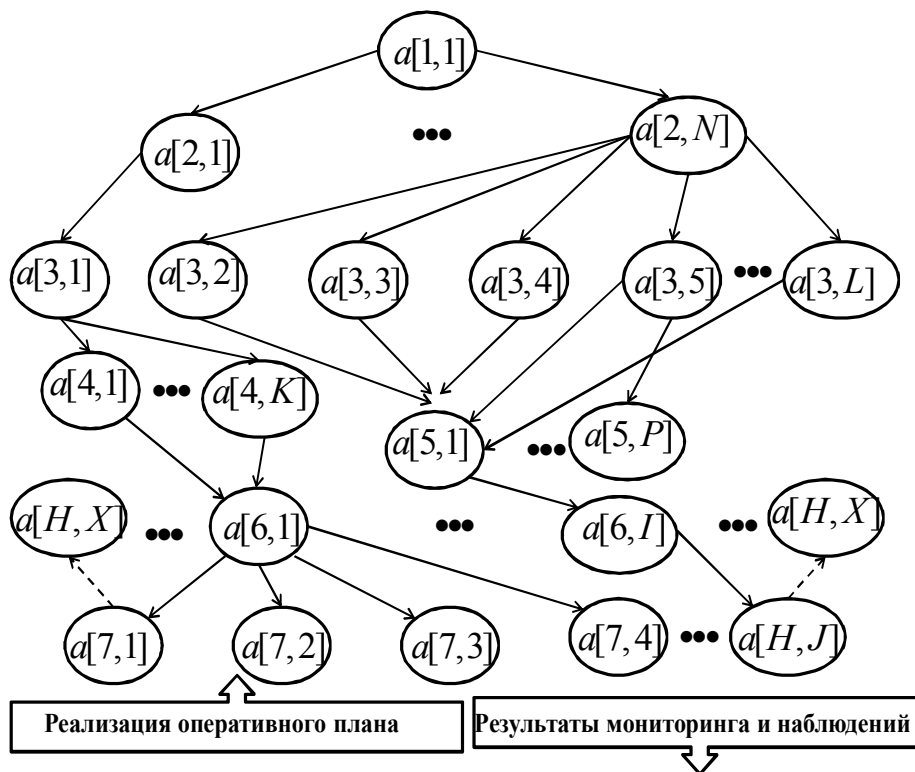


Рис. 3. Фрагмент модели сетевой структуры информации – состояние аварийного объекта

На рис.4 обозначены: $b[E,1] \div b[E,K]$ – характеристики сил и средств, используемые при ликвидации пожаров на шахтах; $b[E.K+1] \div b[E.K+M]$ – соответственно, способы ликвидации аварий и характеристики оперативной обстановки.

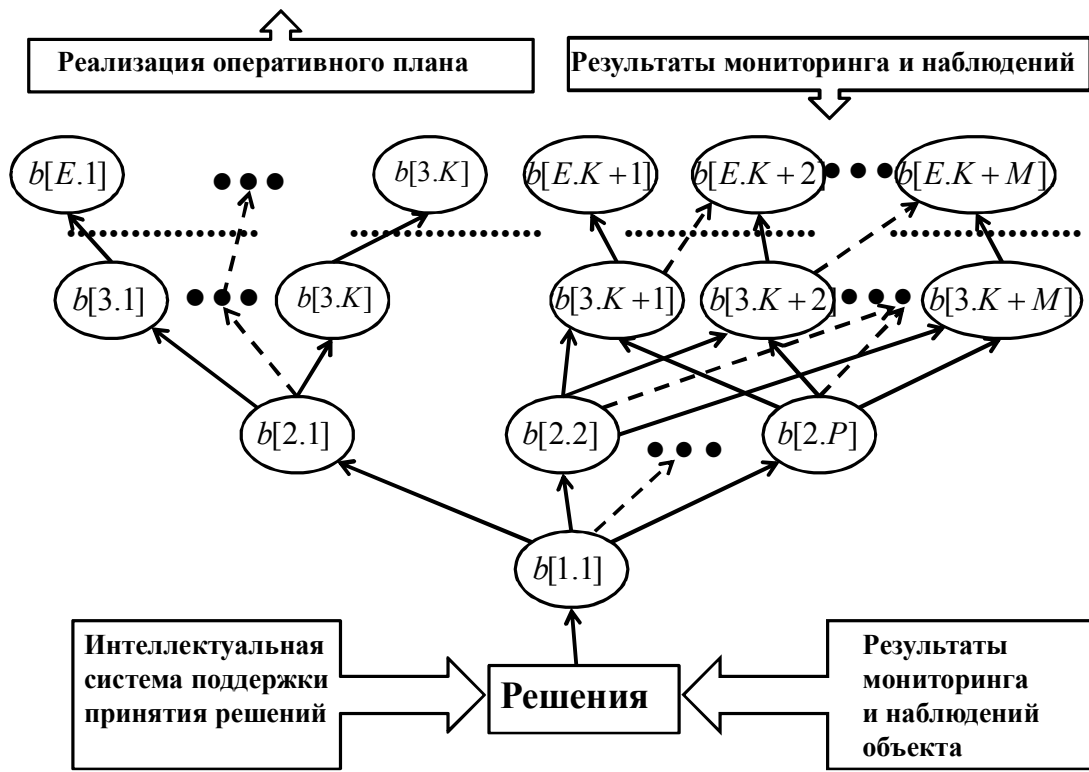


Рис. 4. Фрагмент модели сетевой структуры информации о действиях подразделений горноспасателей

Локальная мера сходства для отношения «is-a»:

$$Sim_{is-a}(a[i, j]_p, a[i, j]_q) = \frac{|A_S(a[i, j]_p) \cap A_S(a[i, j]_q)|}{|A_S(a[i, j]_p) \cup A_S(a[i, j]_q)|}, \quad (1)$$

где $A_S(a[i, j]_p)$ – множество классов в онтологии прецедентов, с которыми сравнивается аварийная ситуация $A_S(a[i, j]_q)$; A_S – множество классов в онтологии прецедентов; $a[i, j]_p, a[i, j]_q$ – объекты в онтологии, входящие во множество A_S ;

Локальная мера сходства для отношения «part-of»

$$Sim_{po}(q, p) = \frac{\sum_{n=1}^H \sum_{k=1}^J f(sim_t)(a[i, j]_n^q, a[i, j]_k^p) * w_j}{l + m}, t \in T, a \in A, \quad (2)$$

где $a[i, j]_n^q, a[i, j]_k^p$ – атрибуты сравниваемых объектов с совпадающими названиями и типами (см. рис.2,3); i – номер слоя в сети; j – номер атрибута в слое

сети; q – атрибуты текущей аварийной обстановки; p – атрибуты прецедентов уже имевших место на шахтах; $f(sim_i)$ – функция сравнения простых атрибутов предопределённых типов T ; $T = \{ "string", "integer", "float", "boolean" \}$. l, m – количество атрибутов в каждом из экземпляров; w_j – вес, присвоенный атрибуту a .

Для сравнения значений атрибутов числовых типов использована нормированная дистанция.

$$dist_T(a, b) = \frac{|a - b|}{ceil_T},$$

где a, b – соответственно, значения числового типа, принадлежащие отрезку T , $ceil_T$ – максимальное значение, принадлежащее отрезку T .

При этом, мера сходства будет равна: $fsim_T(a, b) = 1 - dist_T(a, b)$.

Значения атрибутов строковых типов сравниваются посимвольно и, в зависимости от атрибута, используется расстояние Хэмминга - мера сходства, допускающая искажение, или мера, не допускающая искажений, т.е. строгое посимвольное сравнение. После того, как рассчитаны локальные меры сходства элементов запроса и прецедентов определённого класса, вычисляется глобальная мера сходства:

$$\max Sim_{glob}(q, p) = \frac{sim_{is-a}(q, p) * w_{is-a} + sim_{po}(q, p) * w_{po}}{2}, \quad (3)$$

где w_{is-a}, w_{po} – соответственно, веса отношений «is-a» и «part-of».

Если в результате проведения этого этапа установлено интегральное несоответствие нового случая с имеющимися прецедентами, то информацию о нём заносят в базу знаний 6.

Этап «Адаптированный случай».

В случае если найденный прецедент не является полным аналогом (подобным – like – «Lik») текущей ситуации, должна выполняться адаптация - модификация решения, которое имеется в выбранном прецеденте и направлено на решение целевой проблемы. Невозможно выработать единый вариант для такой адаптации, так как это в большой степени зависит от прикладной области. Если существуют алгоритмы адаптации, они обычно предполагают наличие зависимости между признаками прецедентов и признаками содержащихся в них решений. Такие зависимости могут задаваться человеком при построении базы прецедентов или обнаруживаться в базе автоматически методами добычи знаний. В данном случае модификация решения включает интерполяцию числовых признаков, полученных на основании целенаправленной обработки протоколов успешно ликвидированных пожаров на шахтах Украины, а также использования метода редукции при нахождении решений для текущей оперативной задачи подразделений горноспасателей.

Специализированный редактор онтологии (библиотеки) прецедентов позволяет эксперту вводить знания в терминах исследуемой предметной области. При этом редактор обеспечивает возможность формулировать вопросы к экс-

перту, помогая ему, тем самым, определить те знания проблемной среды, которые необходимы в данный момент. Конечным продуктом порождения является база знаний о прецедентах, которые были внесены в онтологию (библиотеку прецедентов) (см. рис 1).

После того, как выбран подходящий прецедент, при поиске решения для целевой проблемы выполняется адаптация – модификация имеющегося в нем решения с целью его оптимизации. Невозможно выработать единый вариант для такой адаптации, так как это в большой степени зависит от предметной области. Если существуют алгоритмы адаптации, они обычно предполагают наличие зависимости между признаками аварийных параметров прецедентов и признаками содержащихся в них решений. Такие зависимости могут задаваться человеком при построении базы прецедентов или обнаруживаться в базе автоматически. В данном случае оценка влияния принимаемых решений на параметры аварийного объекта производилась путём подсчёта вероятностной частоты использования конкретного решения в однотипных аварийных ситуациях. Сеть взаимовлияний решений на аварийные параметры объекта управления представлены следующей аналитической зависимостью (4):

$$\text{Матрица_влияний} - \mathfrak{R} = \left\| \begin{array}{l} IF \Delta b_{(1,1)} THEN [\gamma_{(1,1)} \Delta a_{(1,1)} \cap \gamma_{(1,2)} \Delta a_{(1,2)} \cap \dots \cap \gamma_{(1,n)} \Delta a_{(1,n)}]; \\ IF \Delta b_{(2,1)} THEN [\gamma_{(2,1)} \Delta a_{(2,1)} \cap \gamma_{(2,2)} \Delta a_{(2,2)} \cap \dots \cap \gamma_{(2,n)} \Delta a_{(2,n)}]; \\ \dots \\ IF \Delta b_{(k,1)} THEN [\gamma_{(k,1)} \Delta a_{(k,1)} \cap \gamma_{(k,2)} \Delta a_{(k,2)} \cap \dots \cap \gamma_{(k,n)} \Delta a_{(k,n)}] \end{array} \right\|, \quad (4)$$

где $\Delta b_{(i,j)}$ – изменение в управляющем воздействии (решение); $\Delta a_{(i,j)}$ – изменение в атрибутах (параметрах) экземпляров аварийных ситуаций; $\gamma_{(i,j)}$ – оператор влияния решения на параметр. Если решение не влияет на параметр, то $\gamma_{(i,j)} = 0$; $k \neq n$ – соответственно, количество управляющих воздействий (решений) k не равно числу атрибутов n экземпляра аварийной ситуации.

Свёрнутые импликации для этого случая выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta a[i_S, j_S]_{(1)} &\Leftarrow \gamma_{i,j} \Delta b[i_P, j_P]_{(1)}; \\ \Delta a[i_S, j_S]_{(2)} &\Leftarrow \gamma_{i,j} \Delta b[i_P, j_P]_{(1)} \cap \gamma_{i,j} \Delta b[i_P, j_P]_{(2)}; \\ \dots & \\ \Delta a[i_S, j_S]_{(t)} &\Leftarrow \gamma_{i,j} \Delta b[i_P, j_P]_{(1)} \cap \gamma_{i,j} \Delta b[i_P, j_P]_{(2)} \cap \dots \cap \gamma_{i,j} \Delta b[i_P, j_P]_{(u)}, \end{aligned}$$

где t – число регулируемых параметров; u – количество решений.

Для двух решений и одного регулируемого параметра система импликаций (4) будет выглядеть следующим образом:

$$if \{ \Delta b[i_P, j_P]_{(1)} \} \Rightarrow then \{ [\gamma_{i,j(1)} + \gamma_{i,j(2)} + \gamma_{i,j(1)} \times \gamma_{i,j(2)}] \times [\Delta a[i_S, j_S]_{(1)} \cap \Delta a[i_S, j_S]_{(2)}] \}, \quad (5)$$

где $\Delta b[i_P, j_P]_{(1)}$ – решение (1) в прецеденте, $\Delta a[i_S, j_S]_{(2)}$ – изменение 2-го параметра (атрибута) аварийного объекта.

Для каждого нового случая устанавливаются по возрастающей зависимости следующих соотношений:

$$\left(\frac{a[i, j]_n^q}{a[i, j]_k^{p*}} \right)_{1(\min)} < \left(\frac{a[i, j]_n^q}{a[i, j]_k^{p*}} \right)_2 < \dots < \left(\frac{a[i, j]_n^q}{a[i, j]_k^{p*}} \right)_{z(\max < 1)}, \quad (6)$$

где $a[i, j]_n^q, a[i, j]_k^p$ – атрибуты сравниваемых объектов с совпадающими названиями и типами (рис. 3); i – номер слоя в сети; j – номер атрибута в слое сети; q – атрибуты текущей аварийной обстановки; p – атрибуты прецедентов уже имевших место на шахтах; z – число исследуемых соотношений однотипных атрибутов.

По матрице взаимовлияний с учётом (6) определяются необходимые решения $\Delta b[i_p, j_p]_{(1)}$, направленные на изменения аварийных параметров $\Delta a[i_s, j_s]$.

Чем меньше значение $\left(\frac{a[i, j]_n^q}{a[i, j]_k^{p*}} \right)$, тем предпочтительнее соответствующее решение.

После установления минимальных соотношений $\left(\frac{a[i, j]_n^q}{a[i, j]_k^{p*}} \right)$ определяются объекты, характеризующие основные отличия по следующей зависимости (логическая разность):

$$a[i, j]_o = |a[i, j]_k^p - (a[i, j]_k^p \cap a[i, j]_k^q)|, \quad (7)$$

где $a[i, j]_p, a[i, j]_q$ – объекты с атрибутами в онтологии, входящие во множества A_p, A_q .

На основании регрессионных связей $a[i, j]_o$ с $b[n, k]$ (4) устанавливаются, по множеству исследуемых прецедентов (около 50), необходимые решения, направленные на ликвидацию пожара.

В соответствии с предложенными моделями и алгоритмами разработаны методики проектирования интеллектуальной системы для поддержки принятия решений при ликвидации пожаров на шахтах. Особенностью предложенных методик является применение принципов объектно-когнитивного анализа на этапе моделирования, а также в интеграции моделей правил и прецедентов на основе онтологии на этапе формализации процесса поиска решений. Поиск осуществляется на множестве прецедентов в $Onto^{Precedent}$, включающих две обязательные составные части: описание аварийных ситуаций (А) и пути выхода из них (решения) (В). Описание представляет множество пар {дескриптор, значение}, где значение – ссылка на объект – экземпляр класса онтологии $Onto$, инкапсулирующего свойства определённого компонента (части) системы поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах и описывающий определённый её параметр. При инициализации процедуры поиска создаётся запрос q , представляющий собой набор экземпляров класса, соответствующих заданным (требуемым) параметрам $a[i, j]_o$ и $b[n, k]$.

Определение управляющих воздействий в технологических и организационных системах шахты при аварийных ситуациях

Технические и организационные мероприятия, которые приведены в текстовой части ПЛА, дают возможность с достаточной точностью определять управляющие воздействия при составлении оперативных планов процесса ликвидации аварий и адаптации самой позиции ПЛА. Реализация данного метода и алгоритмов рассматривалась на примере базы данных ПЛА шахты «Западно-донбасская» ОАО «Павлоградуголь». Для этого необходимо установить, какой позиции ПЛА наиболее точно соответствует оперативная обстановка, сложившаяся на объекте управления после проведения подразделениями ГВГСС разведки аварийного объекта.

Каждый “возможный прецедент” (ВП) (позиция плана ликвидации аварий) имеет имя I_name_i на основании разработанных правил отнесён к одному из заранее определённых классов проблемной среды (ПС – шахты в аварийной обстановке) $category_i$ (например, «Пожар во втором вентиляционном штреке»).

ВП представляет собой объекты (классы и их свойства) онтологии процессов ликвидации аварийных ситуаций на шахтах, выраженные через совокупность параметров описания проблемной среды D_{S_i} , её решения Sl_i и оперативного плана действия Sc_i по её устранению.

Существующие алгоритмы для организации процесса рассуждений на основе онтологии не позволяют производить анализ и сравнение свойств экземпляров типов. В работе разработан метод поиска и реализующий его алгоритм, который позволил учитывать как стандартные процедуры вывода на онтологии, так и поиск по аналогии, который даёт возможность сопоставить текущую аварийную ситуацию (АС) с возможными аварийными ситуациями в онтологии возможных прецедентов (в ПЛА) и выбрать наиболее подходящий из них.

Шаг 1. При установлении соответствия реальной оперативной обстановки и аварийной ситуации, полученной в результате моделирования пожара на сетевой модели вентиляционной системы шахты (структурная идентификация) используется следующее выражение:

$$Sim_{is-a}(k_{[аварийных_зон]_{(ВП)(I)}}, k_{[аварийных_зон]_{(PP)(I)}}) = \frac{|K_{[аварийных_зон]_{(ВП)(I)}} \cap K_{[аварийных_зон]_{(PP)(I)}}|}{|K_{[аварийных_зон]_{(ВП)(I)}} \cup K_{[аварийных_зон]_{(PP)(I)}}|}, \quad (8)$$

где $K_{(S)[орг.и_техн._мер.](L)}$ и $KP_{(S)[орг.и_техн._мер.](L)}$ – текстовые структуры организационных и технических мероприятий ПЛА.

Шаг 2. Затем необходимо определить отличаются ли технические и организационные мероприятия (6 классов $K_{(i,j,m,k,l,s)}$), ранее проведённые с мероприятиями, которые предусмотрены планом для обстановки, сложившейся на момент после разведки шахты подразделениями ГВГСС (6 классов $KP_{(i,j,m,k,l,s)}$).

Если эти мероприятия обладают достаточной мерой сходства, то дополнительных управляющих воздействий нет. Если же имеется достаточное отличие, то эти мероприятия определяются путём проведения специальных опера-

ций с текстовыми структурами организационных и технологических мероприятий позиций ПЛА.

Шаг 3. С текстовыми структурами $K_{(S)[орг.у_техн._мер.](L)}$ и $KP_{(S)[орг.у_техн._мер.](L)}$ проводится операция Логическая разность:

$$\begin{aligned} & K_{(S)[орг.у_техн._мер.](L)} - KP_{(S)[орг.у_техн._мер.](L)} = \\ & K_{(S)[орг.у_техн._мер.](L)} \cap \overline{KP_{(S)[орг.у_техн._мер.](L)}}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $K_{(S)[орг.у_техн._мер.](L)}$ – класс организационных и технологических мероприятий суперкласса возможных прецедентов – позиций ПЛА, установленный путём моделирования пожара на сетевой модели вентиляционной системы шахты;

$KP_{(S)[орг.у_техн._мер.](L)}$ – класс организационных и технологических мероприятий суперкласса (позиции ПЛА), реализованных после ввода в действие ПЛА. Функция принадлежности для параметров, сравниваемых классов - $a_{(i)}$ определяется по формуле:

$$\mu_{K_{(i)}-KP_{(i)}}(a_{(i)}) = \mu_{K_{(i)} \cap \overline{KP_{(i)}}}(a_{(i)}) = \min(\mu_{K_{(i)}}(a_{(i)}), 1 - \mu_{KP_{(i)}}(a_{(i)})). \quad (10)$$

В результате проведения операции (9) будут определены управляющие воздействия (решения), которые необходимо реализовать в каждом конкретном случае – аварии на шахте.

Этап «Сохранённый случай».

Результатом выполнения фаз поиска и адаптации прецедентов является оперативный план для решения текущей проблемы. Чтобы замкнуть цикл вывода решений и пополнить знания системы, необходимо сохранить текущий опыт планирования. Обучение осуществляется на основе наблюдения за ответной реакцией при исполнении плана. Планировщик может учиться как на положительных, так и на отрицательных примерах. Однако сохранение знаний является необязательным шагом. Библиотека прецедентов может быть сформирована разработчиками заранее и содержать решения наиболее распространенных (в данной предметной области) задач планирования. В этом случае система будет не способна к адаптации. Но использование такого подхода может оказаться целесообразным в статичных предметных областях, когда нужно повысить лишь эффективность получения планов. Так как библиотека прецедентов заполняется экспертами в данной предметной области, то она, вероятно, будет содержать более эффективные решения, чем те, которые система сформировала бы автоматически. Кроме того, эксперт знает, какие задачи наиболее распространены в данной предметной области. Поэтому получаемая таким образом библиотека прецедентов с одной стороны должна быть более компактна, а с другой — содержать прецеденты, наиболее пригодные для повторного использования.

Выводы.

1. Доказана возможность корректного функционирование подсистемы генерации проектов «Оперативных планов» ликвидации аварий на шахтах по-

средством применения методов установления дифференциальной идентификации прецедентов реальной аварийной обстановке.

2. В работе установлены регрессионные зависимости, характеризующие влияние принимаемых решений на аварийные параметры объекта управления.

3. Возможность прогнозирования состояния оперативной обстановки на пожаре, используя сохраненные в базе знания прецеденты в виде вариантов причинно-следственных связей.

Список литературы

1. Соболев Г.Г. Горноспасательное дело .- 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1979. – 432 с., ил.
2. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. Издание второе, переработанное и дополненное. М., «Недра», 1977, 223 С.
3. Алексеев А.М. Автоматизация построения онтологии ликвидации аварий на шахтах для экспертной системы / А.М. Алексеев / Гірнична електромеханіка та автоматика. – Д., 2009. – №83. – С. 88-94.
4. Алексеев А.М. Автоматизированная система поддержка принятия решений при ликвидации аварий на шахтах и рудниках / А.М. Алексеев, А.Н. Коваленко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2010. – № 9 (151). – С. 151–155.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесарєвим В.В.
Надійшла до редакції 15.10.2014*

УДК 622.87: 622.831:550.3

© М.Ю. Иконников

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ НАКОПЛЕНИЯ ГАЗА МЕТАНА В ПОДРАБОТАННОМ УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ МЕТОДАМИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

На основании шахтных исследований выявлены места повышенного поступления в горные выработки радона с непродолжительным сроком пребывания в атмосфере в смеси с метаном в зонах тектонических нарушений, что позволяет заблаговременно выявлять потенциально опасные по метану участки горных выработок.

На підставі шахтних досліджень виявлені місця підвищеного надходження в гірничі виробки радону з нетривалим терміном перебування в атмосфері в суміші з метаном в зонах тектонічних порушень, що дозволяє завчасно виявляти потенційно небезпечні за метаном ділянки гірничих виробок.

The research resulted in localization of the areas of increased inflow of radon mixed with methane into the tunnels in zones of tectonic disturbances, indicating intensiveness of desorption of methane and radon decay products from undermined strata. It allows us to control the gas composition of mine air and locate potentially dangerous segments.

Увеличение глубины добычи угля (средняя глубина превышает 700 м, а более 30 шахт отрабатывают пласты на глубинах 1000–1400 м) существенно