

МЕТОД ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ШАХТАХ

В статье реализован адаптированный прототип CBR- системы, разработаны: методы адаптации системы к предметной области, способ структурного соответствия прецедентов и установления ближайших соседей в библиотеке для вывода решений на основании данных базы знаний, разработан метод модификации прецедентов, что позволило повысить оперативность и точность решений принимаемых руководителем аварийных работ.

У статті реалізований адаптований прототип CBR- системи, розроблені: методи адаптації системи до предметної області, спосіб структурного відповідності прецедентів і встановлення найближчих сусідів в бібліотеці для виведення рішень на підставі даних бази знань, розроблений метод модифікації прецедентів, що дозволило підвищити опера-тивність і точність рішень прийнятих керівником аварійних робіт.

Article adapted implemented prototype CBR- system developed: methods to adapt the system to the domain, the process of structural relevant precedents and establishing the nearest neighbors in the library to output decisions on the basis of the knowledge base, developed a method of modifying precedent, thus improving operator efficiency and accuracy, decisions taken by the head of the emergency work

Введение. При системном анализе исходной предметной области – «шахта в аварийной обстановке» и решению задач по разработке одноименных онтологий возникает сложная задача, которая составляет скелет описания базы данных и знаний. А именно это – онтология прецедентов, куда вносятся и где классифицируются прецеденты аварийных ситуаций. Важным этапом в процессе принятия решений является установление меры сходства прецедентов. При большом количестве методов идентификации (установления сходства) важно правильно выбрать подходящий вариант для конкретной предметной области [1]. В работе прецедентное решение используется в качестве прототипа решения для новой ситуации. Если подходящий прецедент отсутствует в хранилище, то задача в работе решается не традиционными методами модификации, которые присущи только данной предметной области, а полученные результаты образуют новый прецедент в базе данных системы.

Цель работы. Разработать эффективные методы адаптации и модификации аварийных случаев в базе знаний интеллектуальной системы поддержки решений при ликвидации аварий на шахтах, основанных на методах рассуждений на основе прецедентов, включающих в себя основные этапы образующих методов CBR-циклов.

Материал и результаты исследований. Прецедент в базе знаний определяется как случай, имевший место ранее и служащий примером или оправданием для случаев подобного рода. Методы рассуждений на основе прецедентов включают в себя четыре основных этапа, образующих так называемый CBR-цикл (рис.1) [2].

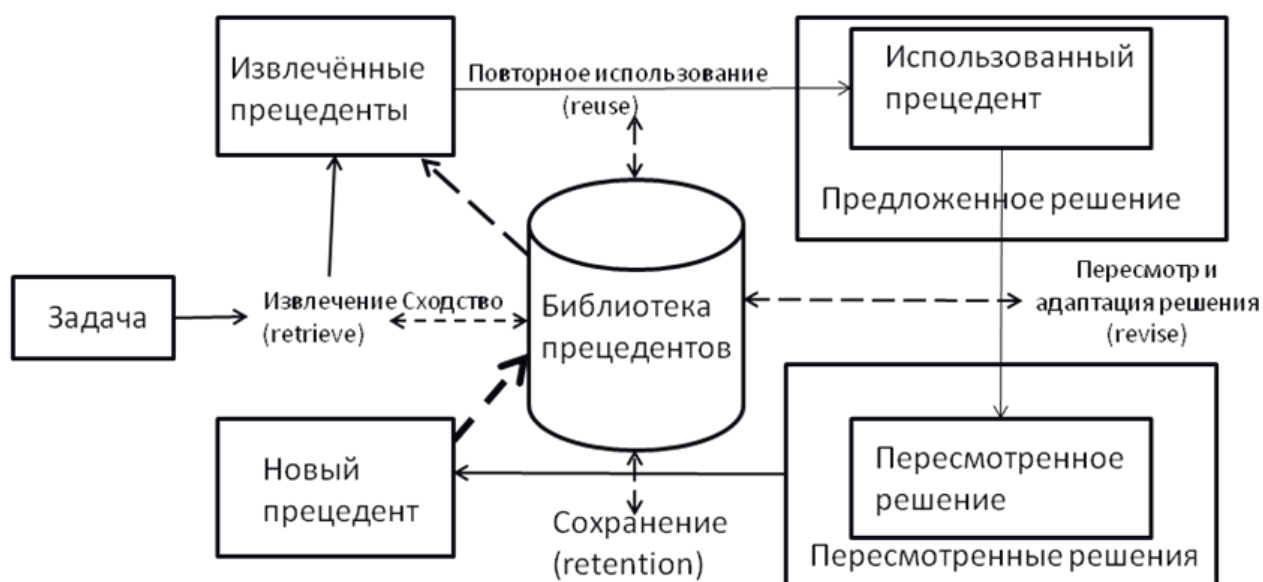


Рис. 1. CBR-цикл

Обозначение на рис.1:

- **retrieve** – извлечение наиболее соответствующего (подобного) прецедента (или прецедентов) для сложившейся ситуации из библиотеки прецедентов (БП);

- **reuse** – повторное использование извлечённого прецедента для попытки решения текущей проблемы (задачи);

- **revise** – пересмотр и адаптация в случае необходимости полученного решения в соответствии с текущей проблемой (задачей);

- **retention** – сохранение вновь принятого решения как части нового прецедента.

Последние два этапа в CBR-цикле могут исключаться и выполняться экспертом или лицом, принимающим решение (ЛПР).

В общем случае модель представления прецедента включает описание ситуации и решение для данной ситуации: $CASE = (Situation, Solution, Result)$ [3,4], где *Situation* – ситуация, описывающая данный прецедент, *Solution* - решение (например, реверсировать вентилятор главного проветривания (ВГП)), *Result* – результат применения данного решения, который может включать список выполненных действий, дополнительные комментарии и ссылки на другие прецеденты, а также в некоторых случаях может приводиться обоснования выбора данного решения и возможные альтернативы. Различия способов представления прецедентов заключаются в разных способах описания указанных компонент.

Прецеденты могут быть представлены в виде записей в БД, концептуальных графов, семантических сетей, древовидных структур, предикатов, фреймов, рисунков и мультимедийной информации.

В большинстве случаев для представления прецедентов достаточно простого параметрического представления в виде набора параметров с конкретными значениями α и β , связанных посредством сетевых структур, $CASE = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, R)$, где

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – параметры аварийной ситуации, описывающих данный прецедент: ($\alpha_1 \in A_1, \alpha_2 \in A_2, \dots, \alpha_n \in A_n$), здесь n – количество аварийных параметров (рис.2).

R – решения (рекомендации руководителя аварийных работ (РАР)). В свою очередь $R = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m), (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ – воздействия, направленные на ликвидацию аварий. Здесь ($\beta_1 \in B_1, \beta_2 \in B_2, \dots, \beta_m \in B_m$), m – количество разновидностей возможных управляющих воздействий (рис.2).

Для решения поставленных задач необходимо построить специализированную систему поддержки принятия решений (СППР), которая образуется из математических моделей и аппаратно – программных средств реализации прецедентного метода принятия решений [4].

Построение СППР прецедентного типа в данном случае предполагает решение следующих задач:

- разработка способа представления знаний о ситуации и возможных решениях;
- разработка метода идентификации и адаптации решений;
- разработка метода хранения, индексации и поиска соответствующих прецедентов.

Прецедент представляет собой структуру, состоящую: из описания проблемы, характеризующую ситуацию, сложившейся на объекте управления в момент активизации прецедента; решения, содержащего список возможных вариантов принятия решений; список сил и средств, связанных с решением данной проблемы.

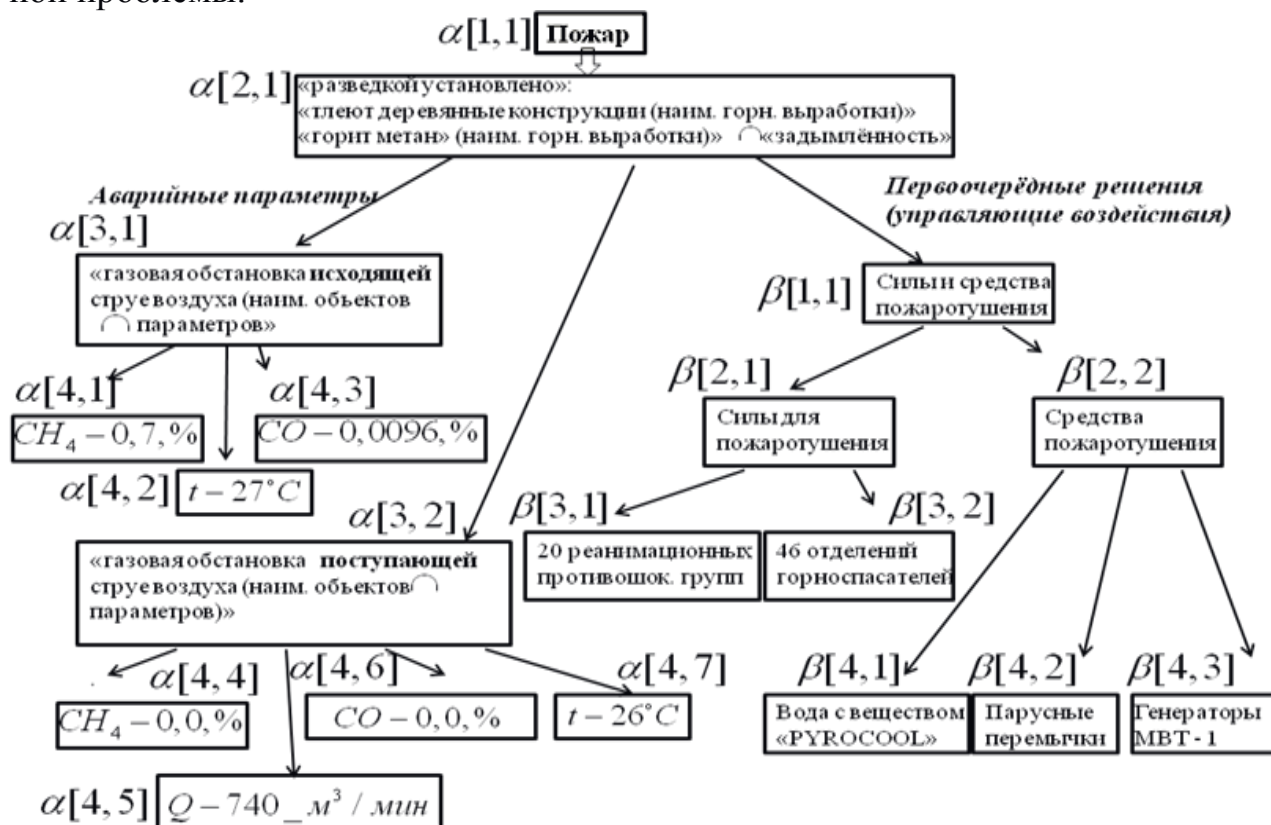


Рис. 2. Структура фрагмента данных о пожаре на шахте «Известий» 04.09.2009 г.

Реализация прототипа CBR-системы

Предлагаемый подход реализован в прототипе CBR-системы (рис.3). Программная реализация этой системы выполнена с использованием языка C++ и среды программирования MS Visual Studio 2010, а также с использованием редактора онтологий Protégé.

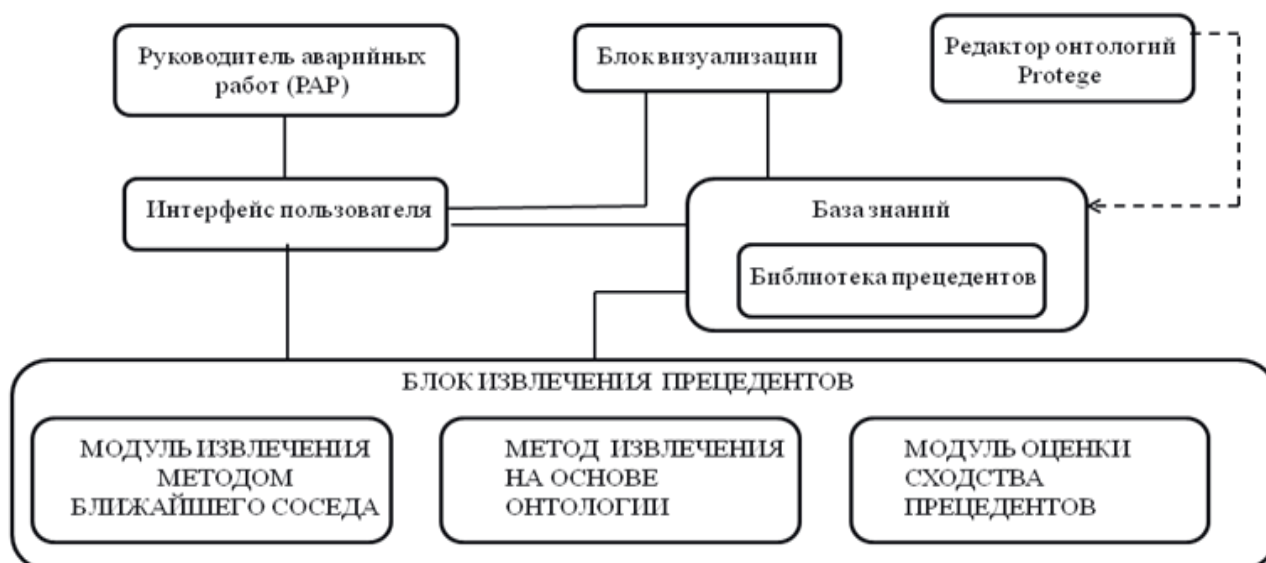


Рис. 3. Архитектура интеллектуальной системы принятия решений при ликвидации аварий на шахтах

В некоторых случаях такого представления бывает недостаточно, так как имеются ограничения, связанные с выразительными возможностями параметрической модели представления прецедентов. При таком представлении трудно обеспечить учёт зависимости между параметрами прецедента (например, величины взаимовлияния, причинно-следственные отношения, временные показатели и т. п.).

Одним из возможных способов решения этой проблемы является представления прецедентов с использованием онтологий предметной области [5].

Представление прецедентов (аварийных ситуаций на шахтах) посредством онтологии предметной области

Наиболее распространённым определением онтологии считается понятие данное Губертом: «Онтология – это спецификация концептуализации».

Определение онтологии как формального представления предметной области (ПрО), построенного на базе концептуализации, предполагает выделение её трёх взаимосвязанных компонентов:

таксономии терминов; описания смысла терминов; правил использования и обработки терминов. Таким образом, модель онтологии I задаёт тройка.

Поэтому $O = (X, R, F)$, где X – конечное множество концептов (терминов, понятий), которые представляют онтологию; R – конечное множество отношений между концептами; F – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах: «И, ИЛИ, ЕСЛИ – ТО и т. п. отношениях».

Выбор онтологии для представления прецедентов обусловлен рядом важных достоинств, отличающих её от других моделей представления знаний. Использование онтологии для представления прецедентов позволяет задать сложную структуру прецедента, включающую данные разных типов, и обеспечить естественность представления структурированных знаний, а также достаточно простое их обновление в относительно однородной среде. Последнее свойство особенно важно для интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) при ликвидации аварий на шахтах, ориентированные на открытые и динамические ПрО. Онтология содержит знания по ПрО, которые используются для поддержки СВР-цикла, а также онтология задаёт структуру прецедента и обеспечивает его хранение. Знания о ПрО и модель прецедентов описываются в виде иерархии концептов онтологии, а каждый прецедент из БП в виде иерархии экземпляров концептов, связанных отношениями языка описания онтологий для Semantic Web (OWL).

Метод аналогии и прецедентов на основе структурного отображения

Теория структурного отображения (*SMT – structure mapping theory*) позволяет формализовать некоторый набор неявных ограничений, которыми пользуется человек, оперируя такими понятиями, как аналогия и подобие. Согласно SMT предполагается, что аналогия является отображением знаний одной области (базы) в другую область (цель), базирующимся на системе отношений. Эти отношения имеются между объектами базовой области и объектами целевой области. Кроме того, человек (ЛПР) предпочитает оперировать некоторой целостной системой взаимосвязанных глубинных отношений, а не простым набором поверхностных и слабо связанных фактов. Сходство прецедентов в данном случае определяется следующим образом.

Локальная мера сходства для отношения «is-a»

При поиске ближайшего прецедента используются отношения типа «класс-класс» («is-a») (структурная идентификация) и «часть-целое» («part-of») (параметрическая идентификация). Локальная мера сходства для отношения «is-a» определяется выражением (1).

$$Sim_{is-a}(q, p) = \frac{|\alpha[i, j]_n^q \cap \alpha[i, j]_k^p|}{|\alpha[i, j]_n^q \cup \alpha[i, j]_k^p|} \quad (1)$$

где $\alpha[i, j]_n^q, \alpha[i, j]_k^p$ - атрибуты сравниваемых экземпляров с совпадающими названиями и типами (см. рис.3); i – номер атрибута в слое сети; j – номер слоя в сети; q – атрибуты текущей аварийной обстановки (запрос); p – атрибуты прецедентов уже имевших место на шахтах; $f(sim_i)$ - функция сравнения простых атрибутов предопределённых типов T ; $T = \{ "string", "integer", "float", "boolean" \}$.

Локальная мера сходства для отношения «part-of»:

ний) k не равно числу атрибутов n экземпляра аварийной ситуации; Δ – период действия оперативного плана по ликвидации аварии.

Свёрнутые импликации для этого случая выглядят следующим образом:

$$\Delta\alpha[i_s, j_s]_{(1)} \Leftarrow \gamma_{i,j}\Delta\beta[i_p, j_p]_{(1)};$$

$$\Delta\alpha[i_s, j_s]_{(2)} \Leftarrow \gamma_{i,j}\Delta\beta[i_p, j_p]_{(1)} \cap \gamma_{i,j}\Delta\beta[i_p, j_p]_{(2)};$$

$$\Delta\alpha[i_s, j_s]_{(t)} \Leftarrow \gamma_{i,j}\Delta\beta[i_p, j_p]_{(1)} \cap \gamma_{i,j}\Delta\beta[i_p, j_p]_{(2)} \cap \dots \cap \gamma_{i,j}\Delta\beta[i_p, j_p]_{(u)},$$

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

Для двух решений и одного регулируемого параметра система импликаций (5) будет выглядеть следующим образом:

$$if \{\Delta b[i_p, j_p]_{(1)}\} \Rightarrow then \{\gamma_{i,j(1)} + \gamma_{i,j(2)} + \gamma_{i,j(1)} \times \gamma_{i,j(2)}\} \times [\Delta\alpha[i_s, j_s]_{(1)} \cap \Delta\alpha[i_s, j_s]_{(2)}], \quad (5)$$

где $\Delta b[i_p, j_p]_{(1)}$ – решение (№1) в прецеденте, $\Delta\alpha[i_s, j_s]_{(2)}$ – 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 (см. рис.2); j – номер слоя в сети; i – 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 (5) определяются необходимые решения $\Delta\beta[i_p, j_p]_{(1)}$, направленные на изменения аварийных параметров $\Delta\alpha[i_s, j_s]$. Чем

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

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

$$\alpha[i, j]_o = \left| \alpha[i, j]_k^p - (\alpha[i, j]_k^p \cap \alpha[i, j]_k^q) \right|,$$

где $\alpha[i, j]_p, \alpha[i, j]_q$ – объекты с атрибутами в онтологии, входящие во множество A_p, A_q ;

На основании регрессионных связей $\alpha[i, j]_o$ с $\beta[n, k]$ устанавливаются, по множеству исследуемых прецедентов, необходимые решения, направленные на ликвидацию пожаров.

Работа реализованного прототипа CBR- системы рассмотрена на примере решения задачи принятия решений при ликвидации аварий на шахтах с использованием онтологии прецедентов, построенной по данным штаба ГВГСС Украины. Выбранный из онтологии для принятия решения ближайший прецедент (прототип) позволяет вычислить оценки сходства его с текущей аварийно ситуацией из базы прецедентов. Руководитель аварийных работ имеет возможность выбрать наиболее подходящий прецедент исходя из двух оценок сходства по структуре (на основе онтологии предметной области) или по методу ближайшего соседа.

Вывод. Для реализации интеллектуальной системы поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах в данной работе реализован адаптированный прототип CBR- системы, разработаны способы адаптации и модификации прецедентов. А также методы установления структурного и параметрического соответствия прецедентов и установления ближайших соседей в базе знаний системы, что позволило повысить оперативность и точность решений принимаемых руководителем аварийных работ.

Список литературы

1. Алексеев А.М. Определение меры сходства возможных аварийных ситуаций на шахтах и рудниках / А.М. Алексеев, А.Н. Коваленко // Современные направления теоретических и прикладных исследований: Сб. научн. тр. межд. науч.-практ. конф., 16-27 березня 2009 р., Одесский национальный морской университет. – 2009. – С. 30-32.
2. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009 №2. – С 45 – 57.
3. Слесарев В.В. Система интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации последствий аварий на шахтах / В.В. Слесарев, А.Н. Коваленко, А.М. Алексеев // Зб. наук. праць НГУ. – 2007 – №28. – С. 67–75.
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.
5. 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.
6. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009 №2. – С 45 – 57.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мецєряковим Л.І.
Надійшла до редакції 23.10.2014*