

УДК 004.896

К.В. ГОЛОВАНЬ*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ВЫСОКОУРОВНЕВЫЕ МОДЕЛИ АНАЛИЗА, ОБРАБОТКИ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ**

Показана рациональность применения визуальных высокоуровневых моделей анализа, обработки и извлечения знаний. Разработаны алгоритмы поведения и механизмы взаимодействия типовых интеллектуальных элементов. Приведен пример высокоуровневой знаниеориентированной модели управления защитным потенциалом «труба-земля» в области электрохимической защиты газопроводов от коррозии.

интегрированные экспертные системы принятия решений, инструментальные средства проектирования экспертных систем, модели представления знаний, механизмы логического вывода

Введение

Существующие в настоящее время методологии проектирования экспертных систем (ЭС) обладают существенным ограничением: требуют от эксперта предметной области и инженера по знаниям (когнитолога) представлять знания сразу в выбранном формализме представления (продукционными правилами, логикой предикатов, фреймами и т.д.). Однако, как показывает накопленный опыт, интерпретационные модели с таким уровнем формализации представления тяжело использовать в процессе анализа, обработки и приобретения знаний [1].

В связи с этим, для автоматизации процесса разработки ЭС предлагается построение визуальных моделей, направленных на представление, обработку и получение новых знаний, которые позволяют содержать систему понятий на более высоком уровне абстракции и создавать визуальные образы процессов управления и принятия решений, которые имеют многоуровневый, иерархический и многоцелевой характер.

Визуальные высокоуровневые модели анализа, обработки и извлечения знаний строятся на основе синтеза типовых интеллектуальных функциональных блоков, позволяющих решать задачи аналитического и логического характера, а также задачи,

связанные с абстрагированием, конкретизацией, классификацией и нахождением закономерностей.

Библиотека типовых интеллектуальных элементов анализа и извлечения знаний разработана на основе базовых источников знаний методологии KADS [1, 2] и основных понятий методологии UML и включает следующие основные блоки: «вычислить аналитически», «вычислить логически», «вычислить логико-аналитически», «сравнить», «специфицировать», «абстрагировать», «классифицировать по правилам», «классифицировать методом кластеризации», «оценить методом регрессии», «искать в базе фактов» и др.

Для каждого типового элемента были описаны входные и выходные параметры, алгоритмы поведения и механизмы их взаимодействия с другими элементами библиотеки.

При этом в соответствии с логикой построения модели и на основании описанных механизмов поведения и взаимодействия элементов при работе с ЭС происходит активация отдельных блоков модели.

База знаний ЭС при таком подходе является предельно структурированной за счет рубрицированного и фрагментарного представления знаний внутри каждого из типовых блоков, что значительно упрощает проверку базы знаний (БЗ) на полноту и на непротиворечивость правил.

Представление и классификация типовых интеллектуальных элементов

Каждый типовой интеллектуальный элемент представляет собой некоторый функциональный блок со множеством входов $\{IN\}$ и множеством выходов $\{OUT\}$. Механизм поведения такого блока определяется его типом (рис. 1).

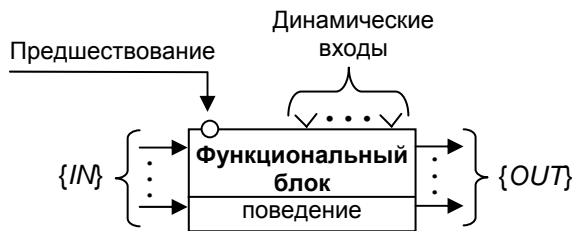


Рис. 1. Представление типового интеллектуального элемента

Все типовые блоки, используемые при построении визуальной модели, можно условно разделить на пять классов:

- 1) возвращающие значение (атрибута или переменной) («назначить значение», «вычислить логически», «вычислить аналитически», «вычислить логико-аналитически», «искать в базе фактов»);
- 2) возвращающие аналитическую зависимость («оценить методом регрессии»);
- 3) возвращающие обобщенные понятия ПО (классы) («абстрагировать», «специфицировать»);
- 4) возвращающие результат операции («сравнить»);
- 5) управляющие ветвлением модели («классифицировать по правилам», «классифицировать методом кластеризации»).

При этом при построении высокоуровневой модели анализа, обработки и извлечения знаний используются два типа отношений между функциональными блоками – «выход-вход» и «предшествование».

Отношение «выход-вход» связывает выход предыдущего функционального блока модели с входом последующего и показывает, что результат, полу-

ченный предыдущим блоком, непосредственно используется последующим, т.е. данная связь задает динамическое поведение блока. В отличие от связи «выход-вход», связь «предшествование» характеризует лишь логическую последовательность активации функциональных блоков. Однако связь «предшествование» все же подразумевает, что данные, полученные в результате выполнения предыдущего блока, будут использованы последующим блоком. В данном случае связь между отдельными функциональными блоками модели осуществляется через общую базу фактов (БФ). Функциональный блок получает исходные данные для решения в общей БФ, и в результате выполнения задачи в БФ будут добавлены новые данные. Вход связи «предшествование» обозначается знаком «○» и для него возможно задание объединения связей по «И» или по «ИЛИ».

Блоки «вычислить логически» и «вычислить аналитически» при таком подходе могут иметь вложенную структуру и быть разложены на последовательность элементарных типовых задач, связанных между собой элементами «И» и «ИЛИ». Последовательность активации вложенных блоков, заданная связями «предшествование», не противоречит активации по содержимому базы фактов, а лишь позволяет рационально формализовать ход решения логической или аналитической задачи.

Поведение типовых интеллектуальных элементов может быть задано тремя различными способами.

1) Статическое (задается непосредственно в редакторе поведения), например, системы продукций, описывающих поведение блоков «вычислить логически» или «классифицировать по правилам». (Поведение таких блоков, как правило, описывается ссылками на системы продукций БЗ).

2) Динамическое (поступает с выхода предыдущего блока), например, на вход блока «назначить значение» может поступать значение с блоков, воз-

вращающих значение, («вычислить логически», «вычислить аналитически», «искать в БФ») или на вход блока «вычислить аналитически» может поступать аналитическая зависимость с блока «оценить методом регрессии».

3) Статическое скрытое (пользовательские откомпилированные модули DLL или блок «оценить методом регрессии»), например, задание собственного поведения функционального блока в случае, если применение типового блока не рационально или в принципе невозможно (сложные алгоритмы поиска в БФ или применение нелинейной регрессии). Однако в этом случае поведение данного элемента модели будет скрыто, и сам элемент будет представлять таким образом «черный ящик».

Разработка алгоритмов поведения типовых интеллектуальных элементов

Рассмотрим назначение и алгоритмы работы каждого из предлагаемых функциональных блоков.

1. На входы функционального блока «назначить значение» поступает некоторый объект Ob_i из всего множества объектов $\{Ob\}$ предметной области (ПО) и один из атрибутов A данного объекта из всего множества атрибутов $\{A_i\}$ данного объекта. Поведение функционального блока состоит в присвоении данному атрибуту некоторого заранее определенного значения, которое либо задано статически, либо динамически поступает с элементов «вычислить логически» или «вычислить аналитически».

2. На входы функционального блока «вычислить аналитически» поступает некоторый объект Ob_i из всего множества объектов $\{Ob\}$ ПО и один из атрибутов A данного объекта из всего множества атрибутов $\{A_i\}$ данного объекта. Поведение функционального блока состоит в присвоении данному атрибуту некоторого значения, получаемого в результате выполнения заданного в блоке аналитического выражения. Атрибут и значение аналитического

выражения должны иметь один и тот же тип данных. Примером работы функционального блока является вычисление значения атрибута по формуле.

Блок «вычислить аналитически» может состоять из вложенных блоков «вычислить аналитически», когда для вычисления значения некоторого атрибута требуется решить аналитическую задачу, состоящую из последовательности аналитических операций.

Если блок «вычислить аналитически» имеет вложенную структуру, то для каждого из элементов внутри блока может быть задано свое поведение, причем поведение каждого из вложенных блоков может быть разнотипным (рис. 2).

Пунктирные линии связи между вложенными элементами блока обозначают связь «предшество-

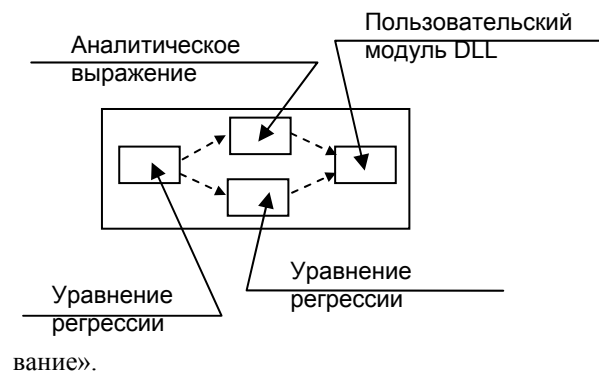


Рис. 2. Вложенная структура элемента «вычислить аналитически»

Аналитические выражения могут включать следующие арифметические и алгебраические операции: «+» – сложение; «-» – вычитание; «*» – умножение; «/» – деление; POWER – возведение в степень; LN – взятие натурального логарифма; а также системные константы.

Если для написания аналитического выражения данных функций недостаточно, необходимо написать собственные модули DLL.

3. На входы функционального блока «вычислить логически» поступает некоторый объект Ob_i из всего множества объектов $\{Ob\}$ ПО и один из атрибутов A данного объекта из всего множества атрибутов

$\{Ai\}$ данного объекта.

Поведение блока описывается системой продукций (либо ссылками на системы продукций БЗ), позволяющей при помощи алгоритма прямого либо обратного логического вывода определить значение атрибута объекта.

На вход «механизм разрешения конфликтов» подаются следующие значения:

- «0» – выбор первого правила (поиск в ширину);
- «1» – выбор последнего правила (поиск в глубину).

На вход «тип вывода» подаются следующие значения:

- «0» – механизм прямого вывода;
- «1» – механизм обратного вывода.

Блок «вычислить логически» может состоять из вложенных блоков «вычислить логически», когда для вычисления значения некоторого атрибута требуется решить логическую задачу, которая может быть представлена в виде набора более простых логических задач.

4. На входы функционального блока «вычислить логико-аналитически» поступает некоторый объект Obi из всего множества объектов $\{Ob\}$ ПО и один из атрибутов A данного объекта из всего множества атрибутов $\{Ai\}$ данного объекта.

Поведение блока описывается системой продукций, позволяющей при помощи алгоритма прямого либо обратного логического вывода определить значение атрибута A объекта Obi , а также множеством аналитических выражений, которые могут использоваться в процессе логического вывода.

Входы «механизм разрешения конфликтов» и «тип вывода» аналогичны входам блока «вычислить логически».

Блок «вычислить логико-аналитически» может состоять из вложенных блоков «вычислить логически» и «вычислить аналитически», когда для вычисления значения некоторого атрибута требуется решить ряд логических и аналитических задач.

5. На входы функционального блока «сравнить» поступает некоторый объект Obi из всего множества объектов $\{Ob\}$ ПО и один из атрибутов A данного объекта из всего множества атрибутов $\{Ai\}$ данного объекта, а также некоторый объект Obj из всего множества объектов $\{Ob\}$ ПО и один из атрибутов AE данного объекта из всего множества атрибутов $\{Aj\}$ данного объекта, значение которого считается эталонным и с которым необходимо сравнить значение атрибута A . На выходе блока формируется результат операции сравнения из всего множества результатов операции $\{OP\} = (=, <, >, <, \Delta)$. На вход «тип результата» подаются следующие значения:

– «0» – на выходе блока формируется Δ -разность между эталонным значением и значением A (только для параметров, имеющих целый или вещественный тип);

– «1» – на выходе блока формируется элемент «>», «<» или «=» из множества $\{OP\}$;

– «2» – на выходе блока формируется элемент «=>» или «<>» из множества $\{OP\}$.

6. На входы функционального блока «специфицировать» поступает некоторый класс Cli из всего множества классов $\{Cl\}$ ПО, требующий спецификации, и множество дополнительных атрибутов $\{Ai\}$, уточняющих данный класс. На выходе функционального блока формируется новый класс Clj , имеющий, по крайней мере, на один атрибут больше, чем исходный. После этой операции исходное множество классов $\{Cl\}$ дополняется новым элементом Clj , который связан с исходным классом Cli отношением вида «класс-подкласс».

7. На входы функционального блока «абстрагировать» поступает некоторый класс Cli из всего множества классов $\{Cl\}$ ПО, требующий обобщения, и множество атрибутов данного класса $\{Ai\}$, при удалении которых рассматриваемый класс Clj можно будет считать некоторым более абстрактным классом Clj ПО. На выходе функционального блока

формируется новый класс Cl_j , имеющий, по крайней мере, на один атрибут меньше, чем исходный. После этой операции исходное множество классов $\{Cl\}$ дополняется новым элементом Cl_j , который связан с исходным классом Cl_i отношением вида «класс-подкласс».

Таким образом, операции «специфицировать» и «абстрагировать» являются взаимобратными.

8. На вход функционального блока «классифицировать по правилам» поступает некоторый объект Ob_i из всего множества объектов $\{Ob\}$ ПО и множество атрибутов $\{Aj\}$ данного объекта, по которым необходимо выполнить классификацию (множество $\{Aj\}$ является подмножеством всего множества атрибутов $\{Ai\}$ данного объекта).

Поведение блока описывается множеством продукционных правил классификации $\{Pr\}$. При этом множество правил классификации $\{Pr\}$ должно составлять так называемую полную группу. Например, если A_1 и A_2 – элементы множества атрибутов $\{Aj\}$ имеют логический тип, то множество правил классификации $\{Pr\}$ может иметь вид:

{ЕСЛИ A_1 И A_2 ТО КЛАСС_А | ЕСЛИ НЕ A_1 И A_2 ТО КЛАСС_Б | ЕСЛИ A_1 И НЕ A_2 ТО КЛАСС_В | ЕСЛИ НЕ A_1 И НЕ A_2 ТО КЛАСС_Г}

Данное множество правил классификации представляет собой полную группу, так как охватывает все множество возможных ситуаций $\{S\}$.

Число элементов множества $\{Pr\}$ определяет количество выходов функционального блока. Правила при этом являются взаимоисключающими, т.е. в определенный момент времени лишь одно правило из множества $\{Pr\}$ может быть активным. Каждое отдельное правило классификации непосредственно связано с одним и только одним выходом функционального блока (i -ое правило из множества $\{Pr\}$ соответствует i -му выходу блока).

9. Функциональный блок «классифицировать методом кластеризации» используется в случае, когда затруднительно или невозможно непосредственно

указать правила классификации объектов. Назначение входов данного блока аналогично назначению входов блока «классифицировать по правилам».

За каждым из выходов функционального блока должен быть закреплен эталонный представитель каждого класса, т.е. объект с типичными для данного класса значениями атрибутов. Нахождение эталонного объекта для класса выполняется экспертом ПО и, как правило, не вызывает трудностей. Гораздо сложнее классифицировать объект, который не является типичным представителем определенного класса и который невозможно сразу отнести к одному из классов. Классификация таких объектов выполняется на основе агломеративно-иерархического метода [3].

По формуле (1) находится евклидово расстояние от классифицируемого объекта до всех эталонных объектов. Используемый в блоке метод классификации учитывает важность каждого атрибута и позволяет использовать качественные оценки атрибутов. Считается, что объект принадлежит к тому же классу, что и тот эталонный объект, расстояние до которого оказалось минимальным. Аналогично блоку «классифицировать по правилам» в определенный момент времени активным может оказаться только один из выходов блока

$$d_{ij} = \sqrt{z_k \sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где d_{ij} – евклидово расстояние между i -м и j -м объектами; x_{ik} – значение k -го признака для i -го объекта; z_k – важность k -го признака.

10. На вход функционального блока «оценить методом регрессии» поступает некоторый объект Ob_i из всего множества объектов $\{Ob\}$ ПО и один из атрибутов Ai данного объекта Ob_i , а также некоторый объект Obj из всего множества объектов $\{Ob\}$ ПО и один из атрибутов Aj данного объекта Obj . Оба атрибута имеют списковый тип, т.е. фактически значением атрибута является список значений. Необходимо найти некоторую аналитическую зависи-

мость между значениями атрибутов рассматриваемых объектов.

Аналитическая зависимость между значениями атрибутов находится в этом случае на основании метода парной линейной регрессии [4, 5].

Данный блок предполагает линейную зависимость вида $y = a + bx$ между атрибутами и находит коэффициенты линейной регрессии по формуле (2):

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}; \quad b = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}. \quad (2)$$

В случае, когда эксперт ПО заранее знает, что зависимость между атрибутами нелинейная, необходимо аппроксимировать данную зависимость кусочно-линейной функцией.

В этом случае при построении модели необходимо использовать блок «классифицировать по правилам» (рис. 3), в котором можно задавать промежутки разбиения для линейной регрессии. При этом, очевидно, точность линейной аппроксимации будет зависеть от количества участков разбиения исходной функции.



Рис. 3. Фрагмент знаниеориентированной модели аппроксимации

Другим методом решения проблемы является использование других функций регрессии, однако, в любом случае, для обеспечения достаточной точности вычисления методом регрессии необходимо заранее знать характер зависимости между параметрами, иначе погрешность вычисления может быть недопустимой.

В случае, когда один из атрибутов объекта ПО зависит от нескольких параметров, необходимо использовать уравнения множественной регрессии, описанной в работах [4, 5].

11. Функциональный элемент «искать в БФ» используется, когда необходимо найти значения одних фактов по значениям других фактов не путем логического вывода, а в результате поиска по БФ. Под БФ в работе понимается часть БД, которая непосредственно взята для означивания правил.

Например, в БФ имеется факт того, что на 105-124 км газопровода тип грунта – черноземный, а также факт, что некоторая установка катодной защиты (УКЗ) находится на 112,5 км данного газопровода. Однако непосредственно факта того, что в районе данной УКЗ тип грунта – черноземный в БФ нет. Для получения данного факта требуется использование специального поискового элемента. Поиск по БФ управляется продукционной системой.

На вход функционального блока «искать в БФ» поступает некоторое множество объектов $\{Ob_i\}$ из всего множества объектов $\{Ob\}$ ПО, искомым атрибут A одного из объектов множества $\{Ob_i\}$ и множество атрибутов $\{A_j\}$ рассматриваемых объектов, которые участвуют в процессе поиска (множество $\{A_j\}$ является подмножеством всего множества атрибутов рассматриваемых объектов $\{A_i\}$). Поведение блока описывается множеством продукционных правил поиска $\{Pr\}$. Поиск осуществляется по входному значению ключевого атрибута AK . На выходе блока на основании множества $\{Pr\}$ формируется значение AZ искомого атрибута.

Высокоуровневая знаниеориентированная модель управления защитным потенциалом

Задача управления защитным потенциалом (ЗП) «труба-земля» является одной из основных задач в области электрохимической защиты (ЭХЗ) газопроводов от коррозии. ЭХЗ от коррозии выполняется путем размещения УКЗ вдоль газопроводов.

Рассмотрим знаниеориентированную модель управления ЗП «труба-земля», построенную на основе библиотеки типовых интеллектуальных элементов (рис. 4). На входы интеллектуальных элементов № 1 – 4 «Искать в БФ» поступает информация о том, на каком километре газопровода расположена рассматриваемая УКЗ. По данному факту в БФ находятся следующие факты для данного участка газопровода:

- 1) тип грунта;
- 2) наличие надземных переходов;
- 3) тип изоляции;
- 4) уровень грунтовых вод (УГВ).

На вход интеллектуального элемента № 5 «вычислить аналитически» поступает информация о температуре газа на соседних КС (T_1 и T_2), расстоянии между соседними КС (L) и расстояние от соседней КС до точки измерения (a). Поведение блока задается аналитическим выражением

$$T_1 - a / (L \cdot (T_1 - T_2)),$$

позволяющим определить температуру газа в точке нахождения УКЗ.

Поведение блока № 6 описывается системами продукций, позволяющими определить оптимальное значение ЗП «труба-земля» для данного участка газопровода.

При этом очевидным преимуществом такого подхода является то, что механизм логического вывода на продукциях использует систему продукций не всей базы знаний ЭС, а конкретной системы продукций в пределах определенного блока.

Результатом выполнения блока № 6 является оптимальное значение ЗП «труба-земля». Полученное оптимальное значение ЗП «труба-земля» поступает на вход функционального блока № 7 «сравнить». На другой вход блока поступает текущее значение ЗП «труба-земля», которое может быть получено в результате дистанционного мониторинга. Результатом выполнения блока «сравнить» является разность между оптимальным и текущим зна-

чениями ЗП «труба-земля» (Δ потенциалов).

Полученное расхождение Δ поступает на вход функционального блока № 8 «классифицировать по правилам». Поведение блока описывается следующей системой продукций:

- 1) IF (Δ потенциалов $\geq -0,1$) \wedge (Δ потенциалов $\leq 0,1$);
- 2) IF (Δ потенциалов $< -0,1$) \vee (Δ потенциалов $> 0,1$).

Очевидно, что данное подмножество продукций $\{Pr\}$ составляет полную группу, т.е. охватывает все множество возможных ситуаций $\{S\}$.

Срабатывание правила 1 означает, что текущее значение ЗП «труба-земля» достаточно близко к оптимальному значению, и регулирование УКЗ можно не проводить. Рассматриваемая УКЗ может быть в настоящий момент времени отнесена к классу УКЗ, не требующих регулирования, и пользователю будет выдано сообщение о том, что ЗП «труба-земля» в норме. Срабатывание правила 2 означает, что текущее значение ЗП «труба-земля» необходимо отрегулировать так, чтобы оно стало более близким к оптимальному значению. Рассматриваемая УКЗ может быть в настоящий момент времени отнесена к классу УКЗ, требующих регулирования.

После определения того, что рассматриваемая УКЗ относится к классу УКЗ, требующих регулирования ЗП «труба-земля», необходимо определить, возможно ли дистанционное управление данной УКЗ. Таким образом, необходимо уточнить, или специфицировать, рассматриваемое понятие.

Результатом работы функционального элемента № 9 («специфицировать») является понятие, обладающее дополнительным атрибутом «Дистанционное регулирование», показывающим возможно ли управление УКЗ в дистанционном режиме. Данный атрибут имеет логический тип и принимает значения ИСТИНА или ЛОЖЬ. Полученное от эксперта или из БФ значение атрибута «Дистанционное регулирование» поступает на вход элемента № 10 «Классифицировать по правилам».

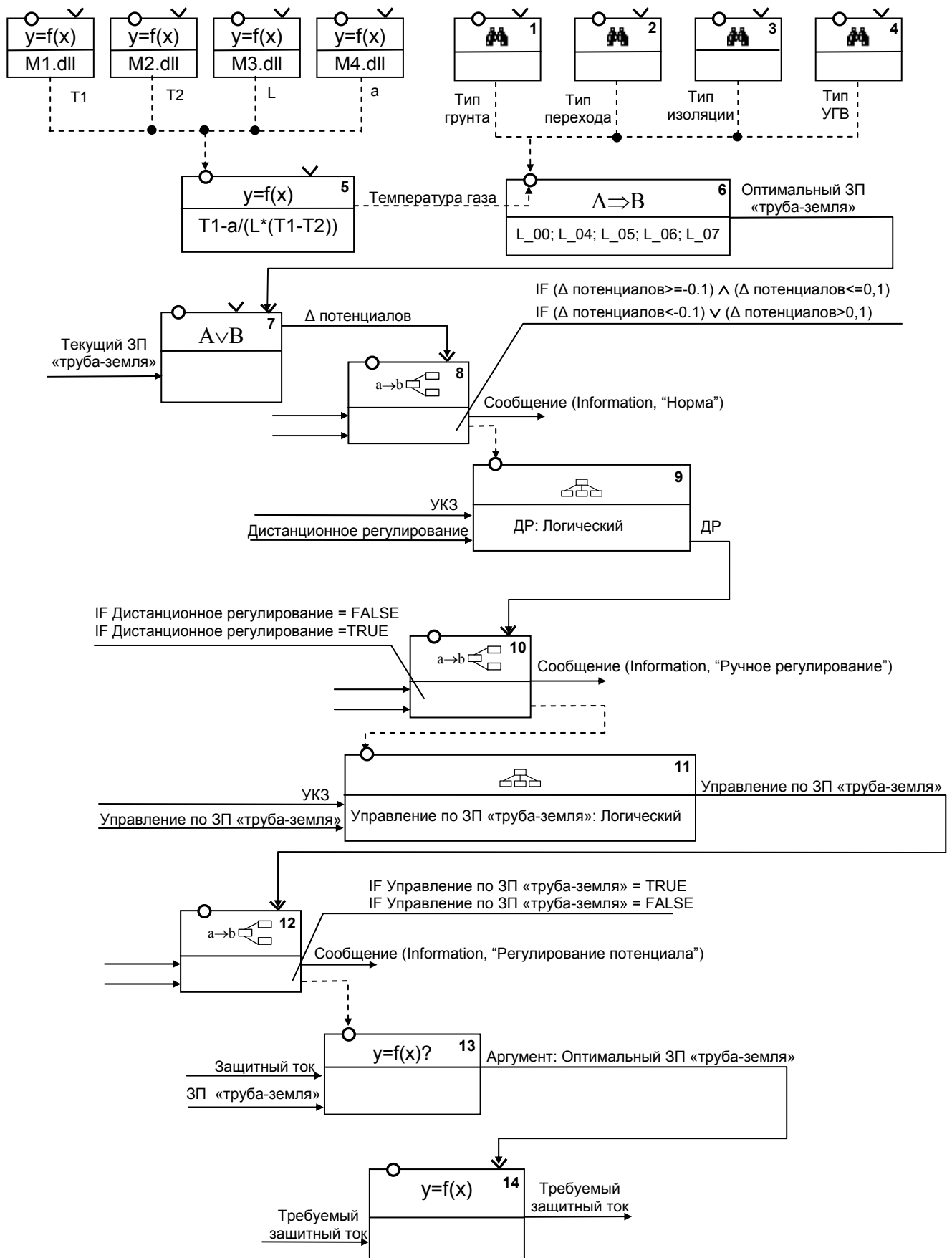


Рис. 4. Высокоуровневая знаниеориентированная модель управления ЗП «труба-земля»

Поведение блока описывается следующей системой продукций:

- 1) IF Дистанционное регулирование = FALSE;
- 2) IF Дистанционное регулирование = TRUE.

Данное подмножество продукций $\{Pr\}$ также составляет полную группу.

Срабатывание правила 1 означает, что регулирование УКЗ невозможно провести в дистанционном режиме и необходимо выполнить ручное регулирование ЗП «труба-земля». Рассматриваемая УКЗ может быть отнесена к классу УКЗ ручного регулирования.

Срабатывание правила 2 означает, что регулирование ЗП «труба-земля» для данной УКЗ возможно провести в дистанционном режиме. Рассматриваемая УКЗ может быть отнесена к классу УКЗ дистанционного регулирования.

Если срабатывает правило 2 и управление УКЗ возможно в дистанционном режиме, то необходимо уточнить, возможно ли управление УКЗ непосредственно по ЗП «труба-земля», или необходимо управлять ЗП «труба-земля» опосредованно, меняя текущее значение защитного тока УКЗ. Для этого необходимо специфицировать рассматриваемое понятие в блоке № 11.

В блоке № 11 «специфицировать» происходит добавление атрибута «Управление по ЗП «труба-земля»». Данный атрибут имеет логический тип и принимает значения ИСТИНА или ЛОЖЬ.

В блоке № 12 «классифицировать по правилам» происходит классификация УКЗ по значению атрибута «Управление по ЗП «труба-земля»». Поведение блока описывается следующей системой продукций:

- 1) IF Управление по ЗП «труба-земля» = TRUE;
- 2) IF Управление по ЗП «труба-земля» = FALSE.

Срабатывание правила 1 означает, что регулирование ЗП «труба-земля» может быть выполнено непосредственно. Рассматриваемая УКЗ может быть отнесена к классу УКЗ, управляемых ЗП «труба-

земля».

Срабатывание правила 2 означает, что регулирование ЗП «труба-земля» может быть выполнено лишь опосредованно через регулирование защитного тока. Рассматриваемая УКЗ может быть отнесена к классу УКЗ, управляемых защитным током (или напряжением).

В случае, когда управление ЗП «труба-земля» возможно путем регулирования защитного тока, необходимо определить требуемое значение защитного тока для установки необходимого значения ЗП «труба-земля».

Определение требуемого значения защитного тока УКЗ проводится в блоке № 13 «оценить». Значение требуемого защитного тока невозможно проинформировать сразу в блоке «вычислить аналитически», так как не существует однозначного аналитического выражения для нахождения значения защитного тока по заданному значению ЗП «труба-земля». Это связано со значительным количеством как внешних, так и внутренних факторов, влияющих на значение ЗП «труба-земля».

Таким образом, необходимо найти некоторую адекватную аналитическую зависимость между значением защитного тока и ЗП «труба-земля». Эта зависимость находится методом парной линейной регрессии на основании предыдущих значений защитного тока УКЗ и соответствующих значений ЗП «труба-земля», которые поступают на соответствующие входы блока. Результатом выполнения функционального блока № 13 «оценить» является аналитическая зависимость между ЗП «труба-земля» и защитным током УКЗ. Полученная аналитическая зависимость поступает на вход функционального элемента № 14 «вычислить аналитически».

В блоке № 14 рассчитывается требуемое значение защитного тока УКЗ. После этого оператору выдается сообщение о том, какое значение защитного тока необходимо выдать на рассматриваемую

УКЗ с целью обеспечения оптимального значения ЗП «труба-земля».

Блок № 6 (рис. 4) может быть представлен в виде последовательности логических задач, показанных на рис. 5.

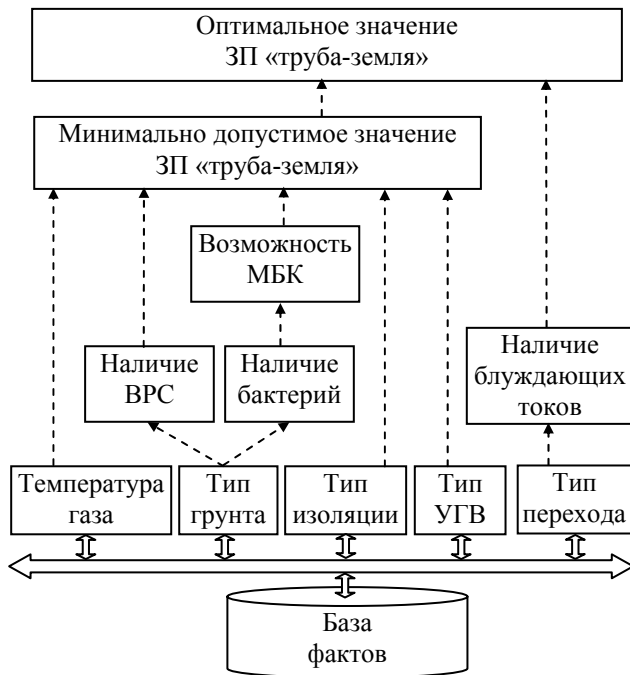


Рис. 5. Нахождение оптимального ЗП «труба-земля»

Из рисунка видно, что факты, определяющие наличие водорастворимых солей (ВРС) и наличие бактерий, определяются на основании информации о типе грунта в районе прокладки газопровода. Возможность микробиологической коррозии (МБК) определяется на основании факта «наличие бактерий». Наличие блуждающих токов определяется в зависимости от типа переходов на данном участке газопровода (линий электропередачи (ЛЭП), переходов железной дороги и др.). Минимально допустимый ЗП «труба-земля» определяется на основе температуры газа, наличия ВРС, возможности МБК, типа изоляции и уровня грунтовых вод. Оптимальный ЗП «труба-земля» определяется на основе минимального ЗП «труба-земля» и факта наличия (или отсутствия) блуждающих токов.

Заключение

В работе рассмотрены вопросы формализации знаний на высоком уровне с применением визуальных моделей анализа, обработки и извлечения знаний. Разработаны алгоритмы поведения и взаимодействия типовых интеллектуальных элементов.

Преимуществом таких моделей является не только возможность рационально формализовать решение некоторой задачи на высоком уровне, но также активность самой модели: активация блоков происходит в процессе работы с ЭС в соответствии с логикой построения модели.

Библиотека типовых интеллектуальных блоков позволяет решать широкий круг задач управления и принятия решений, однако, в случае необходимости, имеется возможность написания собственных сложных алгоритмов работы блоков.

Литература

1. Wielinga B., Schreiber A., Breuker J. KADS: A Modeling Approach To Knowledge Engineering, Knowledge acquisition, Esprit project. – Report No. 5248 KADS-II. – 1992. – Vol. 4, No. 1.
2. Schreiber. G, Wielinga. B, Breuker. J. KADS: A Principle Approach To Knowledge-Based System Development. – Academic Press, London, 1993.
3. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. – М.: Статистика, 1977. – 398 с.
4. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 2002. – 566 с.
5. Алберт А. Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание. – М.: Наука, 1977. – 322 с.

Поступила в редакцию 11.01.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Э.Г. Петров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.