

УДК 004.891.001.63

**К. В. ГОЛОВАНЬ***Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», Україна*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОУРОВНЕВЫХ ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ

*Проанализированы вопросы проектирования интегрированных экспертных систем принятия решений. Рассмотрены перспективы использования гибридных моделей представления знаний. В качестве модели представления знаний о предметной области выбрана высокоуровневая знаниеориентированная модель, позволяющая описать процессы анализа, извлечения и обработки знаний в виде взаимодействия типовых функциональных блоков. Описаны процессы формализации знаний на основе выбранной модели представления. Сформулированы основные преимущества выбранного способа формализации знаний. Рассмотрены основные этапы создания экспертных систем и их ключевые особенности.*

**Ключевые слова:** экспертные системы, модели представления знаний, гибридные модели.

### Введение

В настоящее время экспертные системы (ЭС) находят широкое применение для принятия управленческих решений в трудноформализуемых предметных областях. Это обуславливается необходимостью учета значительного числа динамически изменяющихся факторов, неполнотой и неточностью информации о рассматриваемых процессах, а также вероятностным характером самих процессов.

Чаще всего для представления различных аспектов знаний в ЭС используют традиционные (предикатные, продукционные, фреймовые) модели [1], а также известные методологии анализа, обработки и извлечения предметных знаний, такие как Task Structures, Role-Limiting Methods, Method-to-Task, KADS и CommonKADS [2]. На основе таких проработанных математических аппаратов строятся ЭС для конкретной предметной области, а также инструментальные средства проектирования, позволяющие разрабатывать ЭС принятия решений различного назначения и уровня управления.

Однако в настоящее время по-прежнему актуальными являются проблемы формализации и структуризации знаний, организации взаимодействия принципиально различных моделей и уровней представления знаний, построения гибридных моделей, а также сложности, связанные с извлечением, верификацией и обработкой знаний, автоматизацией заполнения баз знаний, тестированием и отладкой готовых ЭС.

Для решения перечисленных проблем в работах [3, 4] был предложен математический аппарат, который позволяет представлять, обрабатывать и извлекать новые знания на основе концепции высокоуровневой знаниеориентированной модели.

### Постановка задачи

В работе [3] предложена высокоуровневая модель для представления знаний о предметной области, которая построена на принципах блочной структуризации и включает в себя набор взаимодействующих функциональных блоков (ФБ). Каждый из ФБ ориентирован на решение одной из типовых задач предметной области, в частности, задач аналитического и логического характера, абстрагирования, конкретизации, классификации и нахождения закономерностей [5-7].

Однако для полноценного знаниеориентированного моделирования объектов и процессов предметной области очевидно, что помимо предложенной концепции интеллектуальных ФБ, составляющих верхний уровень представления знаний, необходимо организовать их эффективное взаимодействие с моделями представления знаний нижнего уровня, которые могут быть построены на основе логики предикатов, продукционных моделей, фреймов и т.д. Перспективным направлением в настоящее время является использование так называемых гибридных моделей представления знаний, что дает возможность, во-первых, описать максимально широкий спектр знаний о предметной области, а во-вторых, организовать обмен знаниями между различными компонентами ЭС, использующими различные парадигмы представления и получения экспертных знаний. В качестве такой гибридной модели для низкоуровневой формализации знаний в [4] предложено использование продукционно-фреймовой системы. При этом структурный аспект знаний выражается в виде фреймов, а поведенческий аспект, характеризующий динамику функционирования объектов и процессов предметной области

ти, представлен продукционными системами прямого и обратного вывода, сгруппированными вокруг соответствующих слотов фреймов и ФБ.

Таким образом, при выводе решения в ЭС происходит динамическое взаимодействие трех различных компонентов базы знаний – высокоуровневых знаниеориентированных моделей, объектной фреймовой иерархии и продукционных систем.

В связи с этим целью данной работы является анализ основных этапов проектирования интегрированных ЭС принятия решений, а также описание особенностей формализации знаний на основе концепции высокоуровневой знаниеориентированной модели на всех этапах разработки ЭС.

### Содержание основных этапов разработки ЭС принятия решений

В соответствии с [8-10] разработка ЭС включает в себя пять основных этапов: идентификацию, концептуализацию, формализацию, реализацию и тестирование.

На этапе идентификации эксперт предметной области формулирует проблему, определяет круг задач и вопросов, решаемых ЭС, и набор требований, предъявляемых к разрабатываемой ЭС.

В данной работе предлагается рассмотреть процесс проектирования ЭС на примере ЭС принятия решений по управлению электрохимической защитой (ЭХЗ) трубопроводов от коррозии. Основными задачами данной ЭС является выявление потенциально опасных участков трубопроводов (так называемые зоны недозащиты и перезащиты трубопровода), а также нахождение значений требуемых управляющих воздействий, как правило, силы тока установок катодной защиты (УКЗ) для обеспечения максимально эффективного режима защиты.

На этапе концептуализации моделируется предметная область (описываются классы, объекты и отношения вида «класс-подкласс», «класс-объект» и «часть-целое»). При этом при описании классов, как правило, осуществляется их связь с базой данных и устанавливается соответствие между атрибутами классов и полями таблиц базы данных. После создания такой концептуальной модели знаний генератор базы знаний автоматически выполняет построение соответствующей фреймовой иерархии.

В нашем примере описание фрейма, представляющего собой управление магистральными газопроводами (УМГ) может выглядеть следующим образом:  $\{ \langle \text{УМГ} \rangle \langle \text{Название} \rangle \langle \text{Значение слота} \rangle \langle \text{СОСТОИТ ИЗ} \rangle \langle \text{Значение слота} \rangle \}$ , где  $\langle \text{СОСТОИТ ИЗ} \rangle$  - список линейно-производственных управлений магистральными газопроводами (ЛПУМГ), принадлежащих данному УМГ.

На рис. 1 представлен фрагмент иерархии фреймов для рассматриваемой предметной области.

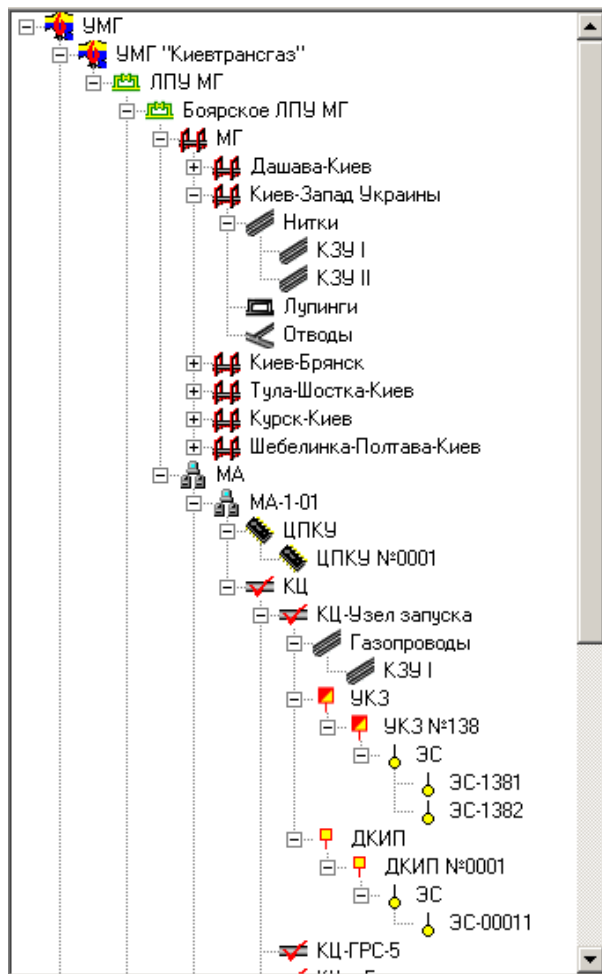


Рис. 1. Фрагмент иерархии фреймов для рассматриваемой предметной области

На этапе формализации происходит разработка функциональных знаниеориентированных моделей для исследуемой предметной области. Поведенческий аспект знаний в предлагаемой ЭС принятия управленческих решений представлен продукционными системами прямого и обратного вывода, а также аналитическими выражениями, описывающими динамику процессов функционирования и взаимодействия объектов предметной области. Основные механизмы такого взаимодействия представлены на рис. 2. Связь между отдельными ФБ модели и единицами знаний нижнего уровня представления (продукционными системами и аналитическими выражениями) осуществляется при помощи механизма указателей. Применение такого подхода позволяет избежать избыточности при описании знаний, а также позволяет легко модифицировать существующие и добавлять новые знания в базу знаний (БЗ).

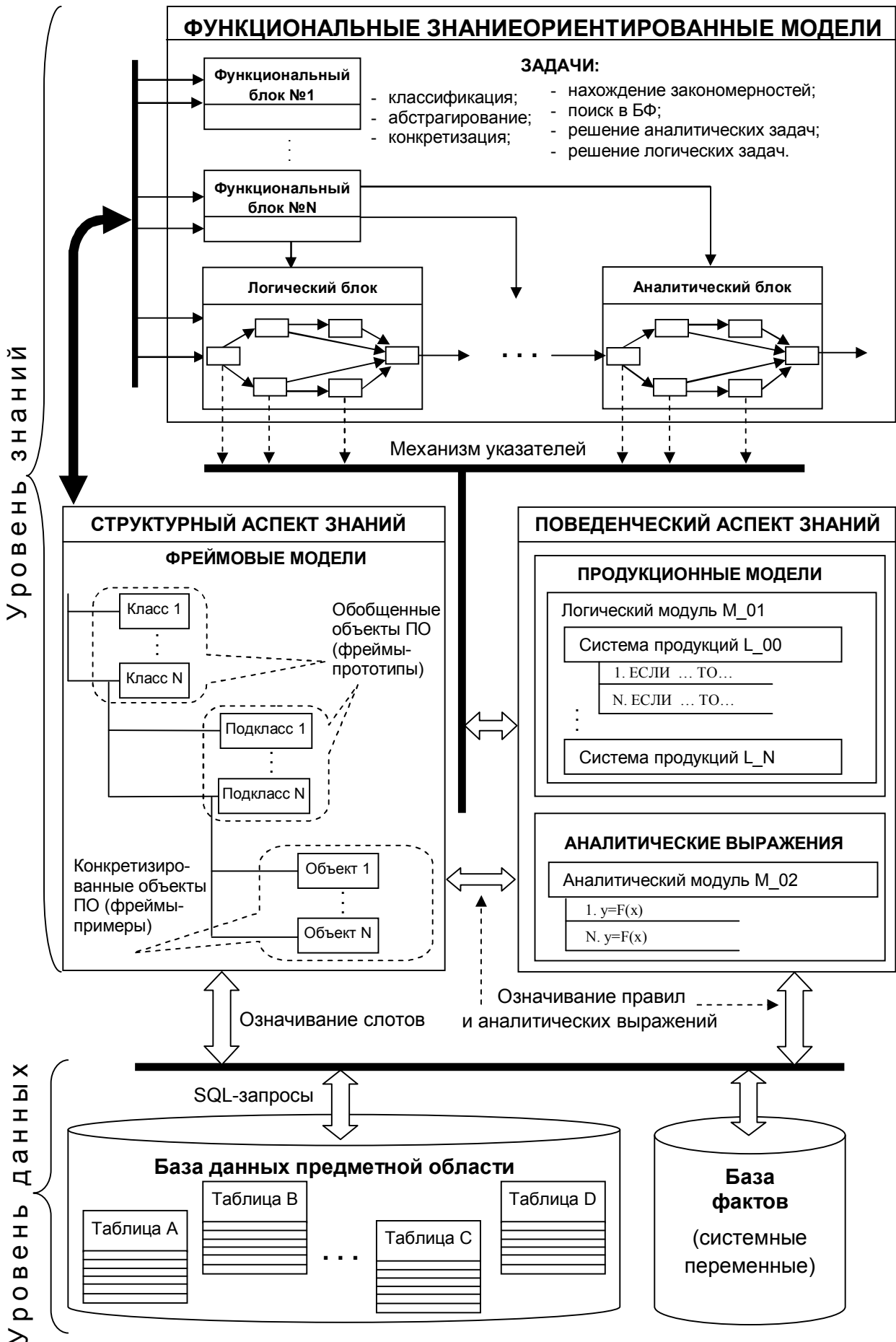


Рис. 2. Механизм взаимодействия между различными компонентами БЗ

Это означает, что различные ФБ высокоуровневой знаниеориентированной модели могут использовать общие системы продукций и аналитические выражения без дублирования их в БЗ. При этом в случае необходимости изменения некоторого правила или выражения в БЗ, модификацию достаточно произвести лишь единожды. ФБ в процессе активации связывается с требуемой системой продукций или аналитическим выражением по ссылке и, таким образом, всегда использует актуальную (обновленную) информацию.

Таким образом, происходит группировка систем продукций и аналитических выражений вокруг определенных ФБ и, следовательно, соответствующих фреймов и слотов. Означивание конкретных продукционных правил и аналитических выражений осуществляется по двум направлениям: через означивание системных переменных ЭС, хранящихся в базе фактов, и через означивание слотов фреймов объектной сети, которые используются в механизме логического вывода.

При этом каждый типовой интеллектуальный элемент такой модели представляет собой некоторый функциональный блок со множеством входов  $\{IN\}$  и множеством выходов  $\{OUT\}$ . Механизм поведения такого блока определяется его типом. Все типовые блоки, используемые при построении функциональной знаниеориентированной модели, можно условно разделить на пять различных 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 предметной области (классы) («абстрагировать», «специфицировать»).
- 4) Возвращающие результат операции («сравнить»).
- 5) Управляющие ветвлением модели («классифицировать по правилам», «классифицировать методом кластеризации»).

Далее разработчик ЭС осуществляет связь между входами и выходами данных функциональных блоков модели и классами и атрибутами структурной модели предметной области, а также частично задает поведение некоторых ФБ. При этом поведение определенных ФБ на данном этапе все еще остается незадаанным, так как написание систем продукций и аналитических выражений выполняется уже на следующем этапе.

Фрагмент функциональной знаниеориентированной модели для управления УКЗ по защитному

потенциалу (ЗП) «труба-земля» представлен на рис. 3. Полностью данная модель представлена в [3].

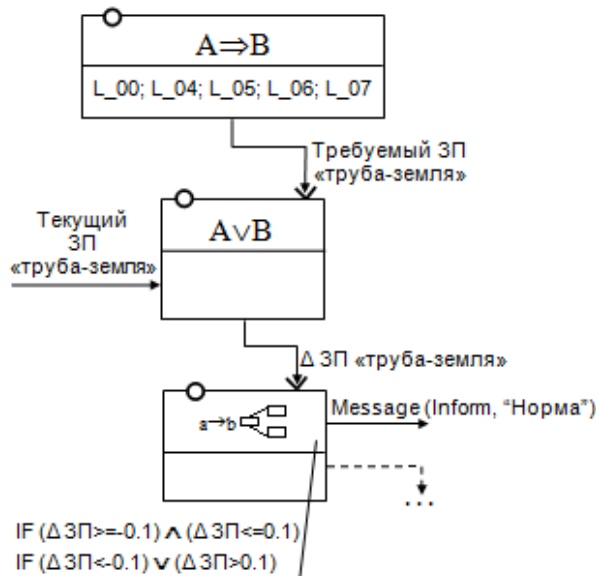


Рис. 3. Фрагмент высокоуровневой знаниеориентированной модели для рассматриваемой предметной области

На этапе реализации происходит наполнение базы знаний моделями знаний на основе продукций (возможно, при участии инженера по знаниям) и аналитическими выражениями с помощью соответствующих редакторов и их привязка к интеллектуальным блокам функциональной знаниеориентированной модели. Привязка организуется с применением механизма ссылок, как было описано ранее, что позволяет избежать избыточности описания систем продукций и легко осуществлять модификацию как отдельных правил в системе продукций, так и целых продукционных систем.

В качестве примера, описана система продукций для определения текущего состояния электрода сравнения УКЗ:

1.  $IF E\_P\_TZ < min\_ZP\_TZ \Rightarrow ST1$
2.  $IF (E\_P\_TZ \geq min\_ZP\_TZ) \& (E\_P\_TZ \leq max\_ZP\_TZ) \Rightarrow ST2$
3.  $IF E\_P\_TZ > max\_ZP\_TZ \Rightarrow ST3,$

где  $E\_P\_TZ$  – текущее значение потенциала “труба-земля”, которое определяется непосредственно из базы фактов;  $min\_ZP\_TZ$  – минимальное значение потенциала “труба-земля”,  $max\_ZP\_TZ$  – максимальное значение потенциала “труба-земля”, которые определяются системой продукций;  $ST1$  – состояние электрода сравнения – “недозащита”;  $ST2$  – состояние электрода сравнения – “норма”;  $ST3$  – состояние электрода сравнения – “перезащита”.

На етапі тестування проходить перевірка коректності роботи ЕС при вирішенні виможних завдань, виявлення помилок, допущених на різних етапах проектування, і їх коректування з можливим поверненням на будь-якій з попередніх етапів.

В процесі налагодки моделі можливо використовувати основні механізми стандартних налагоджувачів класических інтегрованих серед розробки програмних засобів (режими Trace Into, Trace Over, точки зупинки, перегляд значень змінних і т.д.).

При цьому використовується компілятор ЕС і спеціальний модуль налагодки, який реалізує поетапний режим роботи ЕС з можливістю візуального спостереження за активацією окремих функціональних блоків, ходом логічного виводу, спрацюванням окремих виробничих правил, використовуваних для класифікації, рішенням аналітичних завдань і др.

В режимі роботи з ЕС високоуровнева знаньєорієнтована модель активується і відбувається перехід від блоку до блоку згідно побудованої структури моделі.

При цьому фрейми-приклади як би проходять по певному «конвеєру», роль якого і виконує побудована модель.

В результаті визначені слоти фреймів отримують нові значення, т.е. відбувається їх означення. Фреймова модель динамічно перестраюється в процесі виводу рішень, що показано на рис. 4.

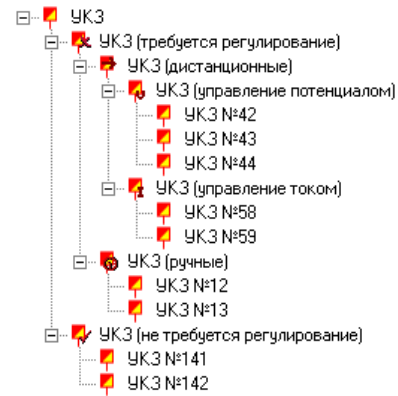


Рис. 4. Динамічне перестроєння фреймової ієрархії в процесі виводу рішення в ЕС

На рис. 5 представлена отримана ЕС прийняття рішень по управлінню ЕХЗ трубопроводів від корозії, побудована на основі використання функціональної знаньєорієнтованої моделі.

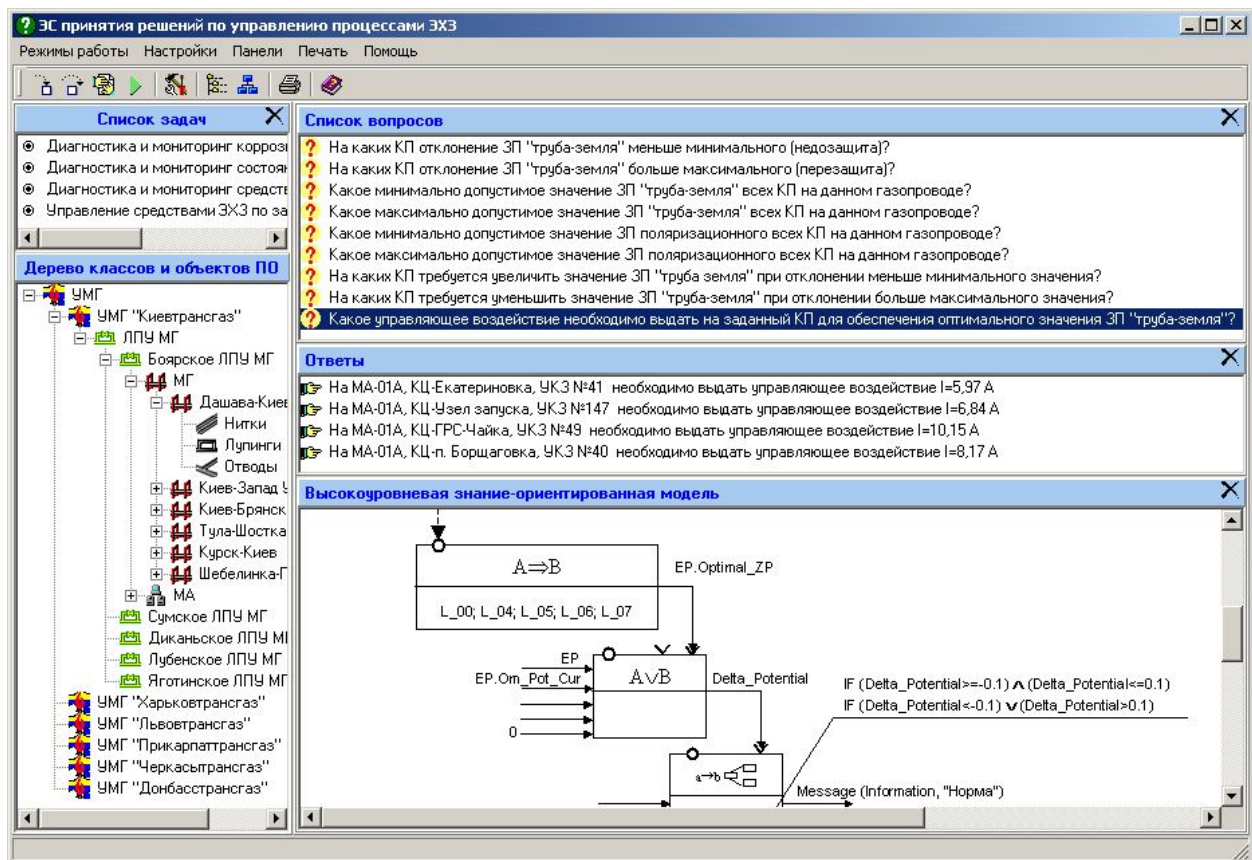


Рис. 5. Приклад готової експертної системи



В процессе работы пользователь (диспетчер линейно-производственного управления либо оператор) выбирает определенную задачу из списка доступных задач (например, управление средствами ЭХЗ). Для данной задачи был предварительно составлен список возможных вопросов.

При поиске ответа на вопрос автоматически активируется функциональная знаниеориентированная модель и в процессе взаимодействия ФБ между собой и с фреймовой моделью происходит вывод решения. В данном случае система рекомендует оператору выдать определенные управляющие воздействия на УКЗ. Зачастую, такие ЭС работают совместно со SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) системами. В этом случае оператор имеет возможность со своего рабочего места в дистанционном режиме выдать необходимое управляющее воздействие через используемую систему связи.

### Редактор функциональных знаниеориентированных моделей при построении ЭС

Одним из основных компонентов, используемых при проектировании ЭС принятия решений на основе выбранного формализма

представления и обработки знаний, является редактор функциональных знаниеориентированных моделей. В нем на основе типовых ФБ строится визуальное представление процесса решения задачи для соответствующей предметной области. При этом в процессе вывода решения в ЭС текущий блок активируется, показывается его внутренняя структура и процесс работы в динамике (например, сработавшее правило-продукция, значение аналитического выражения и т.д.), что существенно повышает эффективность процесса отладки модели.

Все типовые ФБ, представленные в [3], могут быть перемещены в поле для редактирования и соединены между собой линиями связи (отношениями). Внутреннее представление ФБ редактируется встроенными редакторами (например, редакторами продукционных правил, аналитических выражений и др.). Вся информация при этом заносится в строго структурированную БЗ.

В этом же редакторе происходит привязка входов и выходов ФБ к соответствующим элементам фреймовой иерархии (фреймам-прототипам, фреймам-примерам, слотам фреймов), а также к переменным (описанным в специальном редакторе глобальных и локальных переменных).

Визуальное представление данного редактора показано на рис. 6.

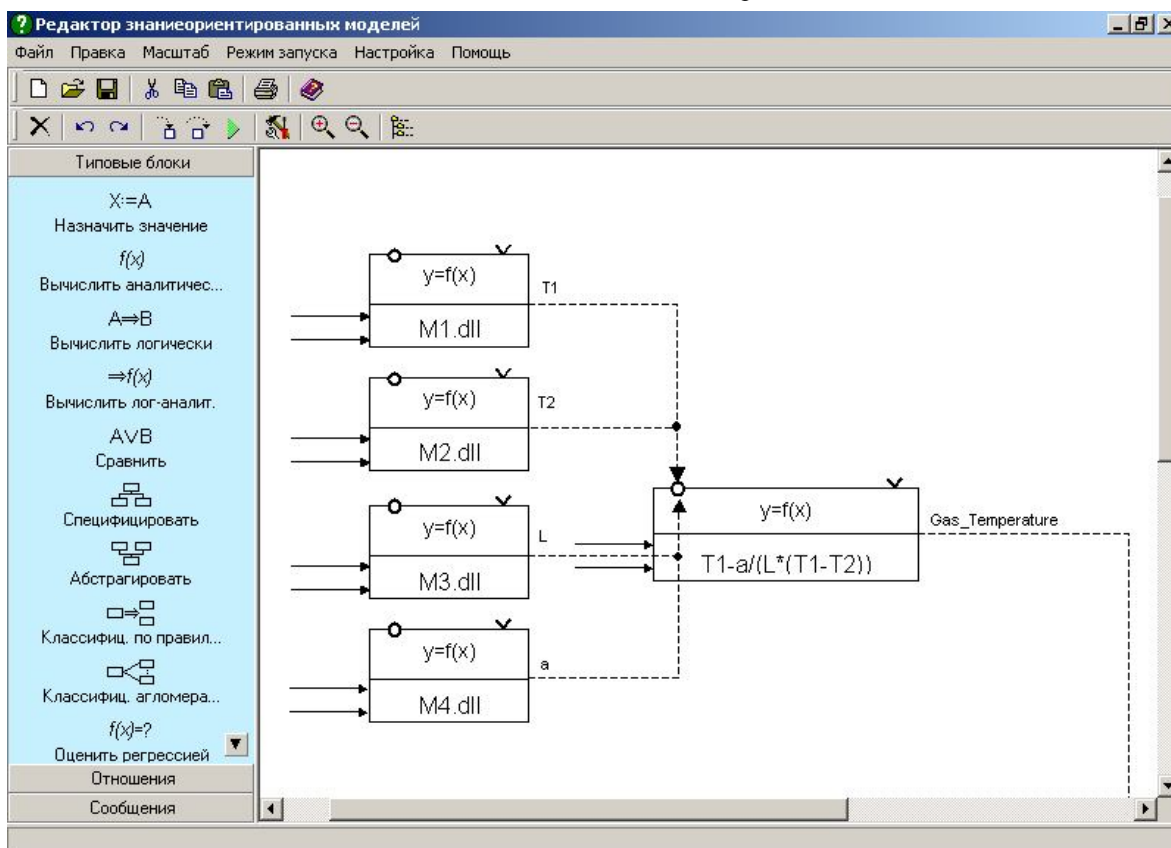


Рис. 6. Редактор знаниеориентированных моделей

## Заключення

В роботі проведена структуризація знань у предметній області на основі взаємодії високоуровневої і продукційно-фреймової моделей. В якості предметної області вибрана актуальна в нинішнє час сфера управління процесами ЕХЗ трубопроводів від корозії. При цьому розглянуті механізми взаємодії між типовими ФБ високоуровневої знанієорієнтованої моделі і продукційними і фреймовими компонентами знань.

Предельна структуризованість БЗ за рахунок її модульної організації в формі окремих знанієорієнтованих компонентів дозволяє зручно представляти і обробляти знання, уникнути надлишковості описання знань, а також оперативно вносити зміни в базу знань.

Таким чином, в статті отримано подальше розв'язання продукційно-фреймова модель представлення знань, за рахунок використання високоуровневої моделі для визначення значення слотів фреймів і динамічної трансформації фреймової моделі в процесі роботи з ЕС, що дозволяє підвищити ефективність процесу обробки знань при виводі управлінських рішень.

Дальнішим розвитком даної роботи є розширення бібліотеки типових ФБ для рішення більш широкого кола завдань предметної області, використання сервіс-орієнтованої архітектури SOA і представлення окремих ФБ в формі сервісів на сервері додатків, а також перехід до Web-орієнтованому проектуванню ЕС.

## Література

1. Chen, C. *Representing Scientific Knowledge: The Role of Uncertainty [Text]* / C. Chen, M. Song // Springer, 2017. – 375 p.
2. *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology [Text]* / G. Schreiber, H. Akkermans, A. Anjewierden, R. de Hoog, N. Shadbolt, W. V. de Velde, B. Wielinga // MIT Press, 2000. – 455 p.
3. Головань, К. В. *Високоуровневі моделі аналізу, обробки і вилучення знань в процесі розробки експертних систем [Текст]* / К. В. Головань. *Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – Вип. 1 (13) – X: ХАІ, 2006. – С. 46–55.*
4. Прохоров, А. В. *Структуризація знань на основі високоуровневих і продукційно-фреймових моделей в експертних системах прийняття управлінських рішень [Текст]* / А. В. Прохоров, К. В. Головань // *Системи обробки інформації. – Вип. 6 (55). – X: Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2006. – С. 153–157.*
5. Hastie, T. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction [Text]* / T. Hastie,

R. Tibshirani, J. Friedman // Springer, 2009. – 767 p.

6. Bramer, M. *Principles of Data Mining [Text]* / M. Bramer // Springer-Verlag, 2016. – 541 p.

7. *Advances in Knowledge Discovery and Management: Volume 7 [Text]* / B. Pinaud, F. Guillet, B. Cremilleux, C. de Runz // Springer, 2017. – 147 p.

8. Ertel, W. *Introduction to Artificial Intelligence [Text]* / W. Ertel // Springer, 2017. – 370 p.

9. Kaplan, J. *Artificial Intelligence: What Everyone Needs to Know [Text]* / J. Kaplan // Oxford University Press, 2016. – 192 p.

10. J. González, E. Artificial Intelligence Resources in Control and Automation Engineering [Text] / E. J. González, L. Acosta Sánchez, A. F. Hamilton Castro // Bentham Science Publishers, 2012. – 204 p.

## References

1. Chen, C., Song, M. *Representing Scientific Knowledge: The Role of Uncertainty. Springer, 2017. 375 p.*
2. Schreiber, G., Akkermans H., Anjewierden A., de Hoog R., Shadbolt N., de Velde W. V., Wielinga B. *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology. MIT Press, 2000. 455 p.*
3. Golovan', K. V. *Vysokourovnevye modeli analiza, obrabotki i izvlecheniya znaniy v protsesse razrabotki ekspertnykh sistem [High-level models for knowledge analysis, processing and mining in the process of expert system development]. Radioelektronnye i komp'yuternye sistemy – Radioelectronic and computer systems, 2006, no. 13, pp. 46-55.*
4. Prokhorov, A. V., Golovan', K. V. *Strukturizatsiya znaniy na osnove vysokourovnevykh i produktsionno-freimovykh modelei v ekspertnykh sistemakh prinyatiya upravlencheskikh reshenii [Knowledge structurization on the basis of high-level and production-frame models in control decision-making expert systems]. Sistemy obrobky informatsiyi – Information processing systems, 2006, no. 6 (55), pp. 153–157.*
5. Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer, 2009. 767 p.*
6. Bramer, M. *Principles of Data Mining. Springer-Verlag, 2016. 541 p.*
7. Pinaud, B., Guillet, F., Cremilleux, B., de Runz C. *Advances in Knowledge Discovery and Management: Volume 7. Springer, 2017. 147 p.*
8. Ertel, W. *Introduction to Artificial Intelligence. Springer, 2017. 370 p.*
9. Kaplan, J. *Artificial Intelligence: What Everyone Needs to Know. Oxford University Press, 2016. 192 p.*
10. J. González, E., Acosta Sánchez, L., Hamilton Castro, A. F., *Artificial Intelligence Resources in Control and Automation Engineering. Bentham Science Publishers, 2012. 204 p.*

*Поступила в редакцію 17.01.2018, рассмотрена на редколлегии 14.02.2018*

## ПРОЕКТУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИСОКОРІВНЕВИХ ЗНАННЯОРІЄНТОВАНИХ МОДЕЛЕЙ

*К. В. Головань*

Проаналізовано питання проектування інтегрованих експертних систем прийняття рішень. Розглянуто перспективи використання гібридних моделей подання знань. У якості моделі подання знань про предметну галузь обрано високорівневу знанняорієнтовану модель, що дозволяє описати процеси аналізу, видобутку та обробки знань у вигляді взаємодії типових функціональних блоків. Описано процеси формалізації знань на основі обраної моделі подання. Сформульовано основні переваги обраного засобу формалізації знань. Розглянуто основні етапи створення експертних систем та їх ключові особливості.

**Ключові слова:** експертні системи, моделі подання знань, гібридні моделі.

## EXPERT SYSTEM DESIGN ON THE BASIS OF HIGH-LEVEL KNOWLEDGE ORIENTED MODELS

*K. V. Golovan*

The main points related to the design of the integrated decision supported expert systems are analyzed in the paper. The perspectives of hybrid knowledge representation model are considered. In order to represent the domain knowledge it is proposed to use a high level knowledge oriented model that makes it possible to describe the processes of analysis, mining, and processing of domain knowledge in a form of interaction of some typical predefined functional blocks. The main advantages of the developed functional knowledge-oriented model are: modularity (representation of monitoring, diagnostics and control processes of complex technological systems and objects in a form of separate knowledge-oriented components interaction); universality of the typical functional blocks library (solution of typical tasks, arising in the process of technological object control); adaptability (easy adaptation to a specific domain); openness (gives the user a possibility to set the custom behavior); activity (interaction of typical functional blocks with each other that makes it possible to automate the process of knowledge acquisition and processing and also interaction of functional blocks with a hybrid production-frame model that makes possible to increase the efficiency of knowledge procession during the decision making process). Every typical intelligent element is a functional block with a set of inputs {IN} and outputs {OUT}. The behavior of such block is defined by its purpose. The whole set of typical intelligent blocks that is used in construction of functional knowledge-oriented model according to the block purpose can be divided into several different classes. On the basis of the selected representation model the processes of knowledge formalization are described. The main advantages of the selected approach to formalize the domain knowledge are stated. On the basis of the represented instrumental tool structure the computer the system has been made. The main stages of expert system creation and their key features are considered. The editor of functional knowledge-oriented model has been presented. The basic functions of the editor are model visualization and debugging. Instrumental tool make possible to build control decision expert systems in different domains. The example of expert system in domain of electrochemical protection of pipelines from corrosion has been considered. The basic directions of possible updating of mathematical model and instrumental tools are described in conclusion.

**Keywords:** expert systems, knowledge representation models, hybrid models.

**Головань Константин Владиславович** – канд. техн. наук, доцент кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: kot\_81@ukr.net.

**Golovan Konstantin Vladislavovich** – PhD, Assistant Professor of Dept. of Information Control Systems, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: kot\_81@ukr.net.