

# Інформаційні технології

УДК 004.825

Д.Е. Василенко

*Кировоградская летная академия Национального авиационного университета, Кировоград*

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОПОЛНЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КОРРЕКТНОСТИ СТРУКТУР ЗНАНИЙ ОТКРЫТОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

*Разработка экспертных систем различного назначения сопряжена с необходимостью разработки базы знаний. Одним из важных свойств базы знаний является ее полнота. Полнота предполагает наличие как можно большего числа правил, фактов и правил манипулирования ними. Для достижения полноты огромное число правил вносится в базу знаний и есть большая вероятность внесения противоречивых, взаимоисключающих правил. Внесение таких правил приводит к некорректности либо отказу в принятии решений. Поэтому актуальной является задача разработки процедуры контроля непротиворечивости знаний в открытых экспертных системах.*

**Ключевые слова:** знания, база знаний, корректность знаний, экспертная система.

### Введение

Развитие интеллектуальных технологий обработки данных предполагает широкое внедрение экспертных систем в системы управления различного назначения. Одним из важнейших этапов разработки экспертной системы (ЭС) является разработка базы знаний (БЗ). Конечной целью формализации знаний является их представление на уровне модулей БЗ и программ ЭВМ [1]. Следовательно, наиболее полным и корректным, с этой точки зрения, будет являться контроль непротиворечивости именно на этом уровне.

Непротиворечивость базовых элементов формальной модели знаний [2, 3], не означает, что такими не будут являться более сложные конструкции, составленные из них и принадлежащие к знаниям различных уровней иерархии в БЗ. Семантическая интерпретация элементов формальной модели знаний (например структуры сетевых установок (СЦУ)) будет относиться к одному уровню иерархии знаний, структура, объединяющая их в рассматриваемую сеть, к другому. Поэтому в рамках межуровневых противоречий должны быть рассмотрены противоречия базовых элементов (отношений, целевых установок (ЦУ), объектов). Для этих элементов знаний необходимо проанализировать возможные источники возникновения противоречий и их следствия.

Необходимо отметить, что если для структурных элементов, по отношению к которым аппарат формализации формируются определенные правила (правила достижения целей, правила использования запаса воздействия ресурса и т.д.), источники возникновения противоречий выявить достаточно про-

сто, то в отношении объектов это сделать в явном виде сложно.

**Целью данной статьи** является разработка процедуры контроля непротиворечивости знаний для открытой экспертной системы реального времени

### Основная часть

**Разработка методики контроля непротиворечивости отношений между целевыми установками.** Представление отношений между ЦУ обобщенными отношениями следования определяют, в соответствии со свойствами отношений присоединения противоречий, необходимость анализа непротиворечивости всех составляющих этих отношений и их свойств.

К объектам контроля непротиворечивости необходимо отнести:

- правила, определяющие последовательность достижения целей, вытекающие из свойств отношений (строгость и порядок);
- правила, определяющие порядок формирования сложных отношений (правила ветвления сети);
- правила, определяющие порядок использования ресурсов;
- правила, определяющие порядок достижения целей по времени.

Следовательно, данная методика может быть представлена частными методиками контроля непротиворечивости соответствующих правил.

**Методика контроля непротиворечивости последовательности достижения целей.** В ряде работ показано, что для моделей, структура знаний которых представима в виде ориентированного графа, имеется возможность выявления противоре-

чивости последовательности достижения целей на основе анализа информации о структуре графа модели [4, 5, 10]. В частности, да СЦУ, объектом такого исследования может являться матрица инцидентности графа сетевой модели [6 – 8].

Показано [7, 5], что из свойств отношений между ЦУ (антисимметричность, антирефлексивность, транзитивность) следует, что наличие контуров графа сетевой модели свидетельствует о противоречивости этих отношений при рассмотрении порядка достижения целей. Под контуром, при этом, понимается конечный путь

$$\Theta = \{x_i, x_j, x_k, \dots, x_m\} \quad (1)$$

на графе, у которого совпадают конечная и начальная вершины, где  $x_p$ , ( $p = i..m$ ) – ЦУ, представленная на графе в виде конъюнктивной или дизъюнктивной вершины.

Существует ряд методов поиска контуров на ориентированном графе [7 – 9]. Однако, в одних - поиск контуров осуществляется без учета информации о процессе последовательного изменения структуры графа, для реализации других - требуются существенные затраты вычислительных ресурсов.

Предлагаемая методика базируется на анализе матрицы инцидентности графа сетевой модели, построенной для обобщенных отношений следования между ЦУ.

Необходимым условием дальнейшего анализа является нумерация ЦУ по уровням иерархии сети.

В основу методики положен разработанный метод поиска контуров на графе сетевой модели. Пусть для сетевой модели графа построена матрица инцидентности обобщенных отношений следования и нумерация ЦУ выполнена по уровням иерархии целей. Тогда для любой строки матрицы инцидентности, наличие элементов, обозначающих отношения следствия

в столбце с большим или равным номером, чем у элементов обозначающих отношения причины, свидетельствует о наличии контура в графе. Длина контура  $L_k$ , при этом определяется выражением:

$$L_k = |K_{x_i} - K_{x_j}| + 1,$$

где  $K_{x_i}, K_{x_j}$  – соответственно наименьший и наибольший уровни иерархии ЦУ, образующих контур.

Таким образом, для выявления противоречивости порядка достижения целей, достаточно проанализировать матрицу инцидентности графа сети с учетом приведенных выше рассуждений.

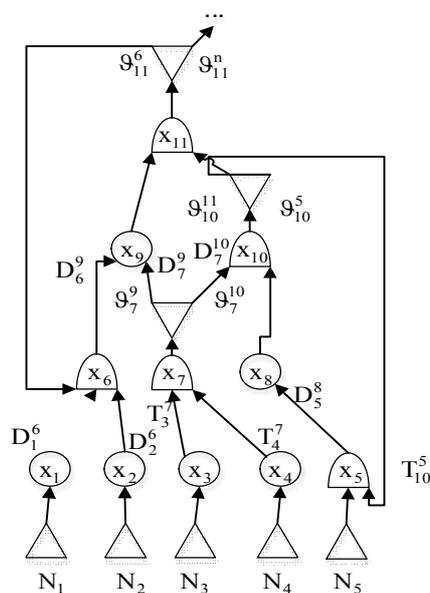
Существенным моментом в процессе устранения выявленных противоречивых отношений является их локализация.

Под локализацией противоречий будем понимать выявление и выделение множества противоречивых элементов знаний.

Локализация множества противоречивых отношений возможна посредством выделения граничных (контурообразующих) ЦУ на матрице инцидентности (например, вершин  $\{x_6, x_{11}\}$  для контура №1 и вершин  $\{x_5, x_{10}\}$  для контура №2 рис. 1), и последующего составления логической цепочки достижения целей в процессе образования контура.

Таким образом, методика контроля непротиворечивости последовательности достижения целей можно представить в следующем виде:

1. Формирование матрицы инцидентности графа сетевой модели. При этом осуществляется замена всех НУ на ЦУ «нулевого уровня».
2. Анализ матрицы инцидентности в соответствии с приведенными рассуждениями на наличие контуров графа сетевой модели.
3. При обнаружении контура - локализация контурообразующих вершин.



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		Pr	Pr	Pr	Pr	Pr						
1	S1						Pr					
2	S1						Pr					
3	S1							Pr				
4	S1							Pr				
5	S1								Pr		S1	
6		S1	S1							Pr		
7				S1	S1					Pr	Pr	
8						S1					Pr	
9							S1	S1				
10						Pr		S1	S1			
11							Pr			S1	S1	

Контур 1:  $\{x_6, x_9, x_{11}\}$ ;  
 Контур 2:  $\{x_5, x_8, x_{10}\}$ .

Рис. 1. Фрагмент противоречивой СЦУ и матрицы инцидентности графа сетевой модели

**Методика контролю непротиворечивости правил формирования сложных отношений**

Правила формирования сложных отношений определяют порядок ветвления сети. Следовательно, возможные противоречия здесь могут возить из-за неоднозначности заключений данных правил, что может привести к неоднозначности отношений следования и к изменению характера самих отношений.

Порядок выявления и локализации данных противоречий существенно облегчается ограниченным набором правил, определяющих множество следствий одной ЦУ. Правила, определяющие следствия других ЦУ, не могут влиять друг на друга вследствие независимости отношений. Правила формирования сложных отношений представлены продукциями вида

$$\exists O_a (\forall O_i \in O_a (\pi_j \equiv Y_m)) \Rightarrow (x_a \Rightarrow x_b),$$

где  $O_a$  - множество объектов анализа посылки;  $O_i, \pi_j, Y_m$  - соответственно объект анализа, признак, характеризующий некоторое свойство объекта и его значение, определяющее истинность посылки;  $x_a, x_b$  - соответственно предшествующая и последующая ЦУ. Содержанием операций продукционной посылки является анализ состояния некоторого объекта, значений признаков прагматической уценки ситуации и т.д. на соответствие его некоторому значению. Следовательно, в соответствии со свойствами отношений присоединения противоречий, наличие в множестве рассматриваемых правил одинаковой посылки и различных заключений может привести к противоречию, т.е. если  $\{P_i\}, i=1...n$  - множество посылок,  $\{S_k\}, j=1...m$  - множество заключений правила  $Q_r$  ветвления сети, определяющего условные отношения г-й ЦУ, то данное правило является противоречивым:

$$\exists i \exists j \left( \begin{aligned} &(P_j \rightarrow S_i) \wedge (P_j \rightarrow S_j) \wedge \\ &\wedge (P_i \equiv P_j) \wedge (S_i \neq S_j) \end{aligned} \right) \rightarrow (\not\equiv Q_r). \quad (2)$$

Таким образом, методику выявления противоречий рассматриваемого вида (с учетом возможности существования множества правил, определяющих условия следования из одной ЦУ) можно сформулировать в виде последовательности правил:

1. Выделение правил ветвления сети, определяющих следование из i-й ЦУ k-го уровня иерархии к целям (k+1)-го уровня;
2. Выделение пересекающихся множеств объектов анализа в посылках отобранных правил;
3. Выделение в рассматриваемом множестве правил с различными заключениями;
4. Выделение множества противоречивых правил, для которых из одинаковых значений атрибутов объектов анализа в посылках следуют различные заключения.

Необходимо отметить, что выражение (2) справедливо для всех продукций и должно использоваться при контроле непротиворечивости всех соответствующим образом построенных правил в рамках рассматриваемого аппарата формализации.

**Методика контроля непротиворечивости правил использования ресурсов.** Фактические правила использования ресурсов составляются из соответствующих нормативных правил и определяются выражением

$$\forall k \exists R_k \Rightarrow \left( \text{Pr}_u^\Phi \equiv \bigcup_k \bigcap_m \left( \begin{aligned} &[N_i(R_k)], \\ &[P_{3u}(R_k)], N_{3kq} \end{aligned} \right) / \{Y_{pj}\} \right).$$

Противоречия в данном случае могут возникать при использовании одного фактического правила пересечения нескольких взаимоисключающих нормативных правил (их конъюнктивной комбинации). Пусть  $R_{ih} = \{R_f^H\}, (f=1...m)$  - подмножество нормативных правил, конъюнктивно образующих h-ое фактическое правило  $R_{ih}^\Phi$  расходования источников воздействия i-го ресурса. Имеется нормативно установленное множество  $M^3 = \{M_l^3\}, (l=1...p)$  групп взаимоисключающих правил использования источников воздействий,  $M_l^3 = \{R_{lq}^3\}, (q=1...u)$ . Тогда условие противоречивости фактического правила расхода источников воздействий k-го ресурса будет иметь вид:

$$\exists i \exists j \left( \begin{aligned} &(R_i \in R_{kh}) \wedge (R_j \in R_{kh}) \wedge \\ &\wedge (R_i \in M_l^3) \wedge (R_j \in M_l^3) \end{aligned} \right) \rightarrow (\not\equiv R_{jk}^\Phi). \quad (3)$$

Методика контроля непротиворечивости правил использования ресурсов может быть сформулирована следующим образом:

1. Анализ правил в соответствии с (3)/
2. Формирование на этапе разработки взаимоисключающих групп нормативных правил расходования источников воздействий/
3. Анализ в процессе пополнения знаний на принадлежность составных частей фактических правил расхода источников воздействий, образующих конъюнктивную комбинацию, одной из взаимоисключающих групп нормативных правил.

**Контроль непротиворечивости достижения целей по времени.** Анализа правил, определяющих порядок достижения ЦУ по времени, корректно возможен только при проведении логического вывода в процессе эксплуатации. Реальные затраты времени на достижение тех или иных целей становятся определяемыми только после означивания некоторого набора НУ, проведения планирования расхода ресурсов и выработки плана действий. Проверка в данном случае может быть выполнена по анализу ранних и

поздних сроков наступления событий, определяющих достижение заданных целей и сравнение их и нормативными [2]. Условие корректности достижения целей по времени будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^n t_i^n \leq t_{\text{пред}},$$

где  $t_i^n$  - поздние сроки наступления событий достижения целей, определяемых выбранным вариантом решения,  $t_{\text{пред}}$  - предельное нормативное время реализации решения.

**Методика контроля непротиворечивости описаний целевых установок.** Целевые установки, как структурные элементы знаний, обладают важным свойством, определяющим направления контроля непротиворечивости описаний ЦУ. Это - индивидуальность ЦУ. Корректно составленная сеть не должна содержать двух одинаковых ЦУ, находящихся на разных уровнях иерархии, так как в этом случае возможно нарушение свойства антирефлексивности отношений. Методика контроля непротиворечивости описаний ЦУ может быть представлена так:

1. Анализ МСЦУ на наличие одинаковых адресов ЦУ в различных столбцах (для стратегии прямого логического вывода), или в строках (при реализации стратегии обратного логического вывода)/

2. Наличие одинаковых значений указателей адресов свидетельствует об использовании на различных уровнях иерархии сети одних и тех же ЦУ, что приводит к противоречивости описаний целей.

**Методика контроля непротиворечивости описаний целевых объектов.** ЦУ включает описание некоторого множества целевых объектов, изменение состояния которых и определяет факт достижения цели. В процессе пополнения знаний в рамках одной ЦУ возможно формирование описаний одного объекта. Но достижение ЦУ может определяться различными его состояниями. Это может привести в процессе логического вывода к противоречивому толкованию содержания ЦУ.

Пусть в процессе формализации  $q$ -й ЦУ используется описание некоторого множества объектов  $O_q = \{O_{q1}\}$ . Достижение цели определяется множеством состояний  $C_q = \{\xi_{qj}^t\}$  объектов, принадлежащих  $O_q$ . Тогда условие противоречивости описаний объектов в рамках одной ЦУ будет иметь вид:

$$\exists i \exists j ((O_i \in O_q) \wedge (\xi_{qi}^t \neq \xi_{qj}^t)) \rightarrow (\Leftrightarrow C_q). \quad (4)$$

**Контроль полноты базы знаний.** Объектами контроля полноты ФТ:

- правила, определяющие последовательность достижения целей;
- правила, определяющие порядок формирования сложных отношений;

- правила, определяющие порядок использования ресурсов;

- правила, определяющие порядок достижения целей по времени.

Контроль полноты описаний последовательности достижения целей предполагает проверку возможности достижения конечных целей системы при любом логически истинном наборе исходных посылок. То есть, для каждой ЦУ должно быть определено множество НУ, необходимых и достаточных условий ее достижения, следствие (целей, для которых данная ЦУ является одним из условий достижения истинности). Несоблюдение одного из перечисленных требований приводит к появлению неопределенных по условиям достижения ЦУ (при отсутствии необходимых и достаточных условий достижения) – «изолированных», «висящих», либо «тупиковых» ЦУ. В любом из данных случаев возможно возникновение ситуаций, при которых невозможно достижение конечных целей системы. При наличии «изолированных» вершин возможно возникновение ситуации, когда данная цель является актуальной, но вследствие отсутствия отношений с другими ЦУ - недостижима данный вид неполноты знаний приводит к возникновению априорных межаспектных противоречий.

Возникновение «изолированных», «висящих» и «тупиковых» ЦУ возможно, на основе анализа матрицы инцидентий графа сетевой модели, построенной для обобщенных отношений следования. Особенностью построения данной матрицы для рассматриваемого анализа является построение ее для всего набора ЦУ и НУ (отсутствие «нулевой» ЦУ). Это является необходимым условием выявления неполноты включения в СЦУ начальных условий. Неопределенность условий достижения какой-либо ЦУ приводит к тому, что для «тупиковой» цели  $x_i$  отсутствуют отношения следствия, для «висящих» вершин - отношения причины, «изолированных» целей или НУ - отношения и следствия и причины. Таким образом, отсутствие в матрицы инцидентий в строке  $i$ -й ЦУ (за исключением нулевой ЦУ и конечных целей) пары отношений (причины и следствия) свидетельствует о неполноте описаний последовательности достижения целей (рис. 2, цели  $\{x_4, x_5, x_{10}\}$ , НУ  $N_3$ ). В отношении высших целей системы и НУ анализ полноты должен производиться только на наличие «изолированных» вершин. Данное утверждение следует из содержания матрицы инцидентий графа сетевой модели.

Контроль полноты правил формирования сложных отношений, правил использования ресурсов, правил достижения целей по времени должен осуществляться в отношении наличия в составе указанных правил объектов анализа в посылках и элементов следствия в заключениях. Признаки, подлежащие анализу в посылках, должны быть определены в БД, в виде соответствующих полей записей.

Контур 1

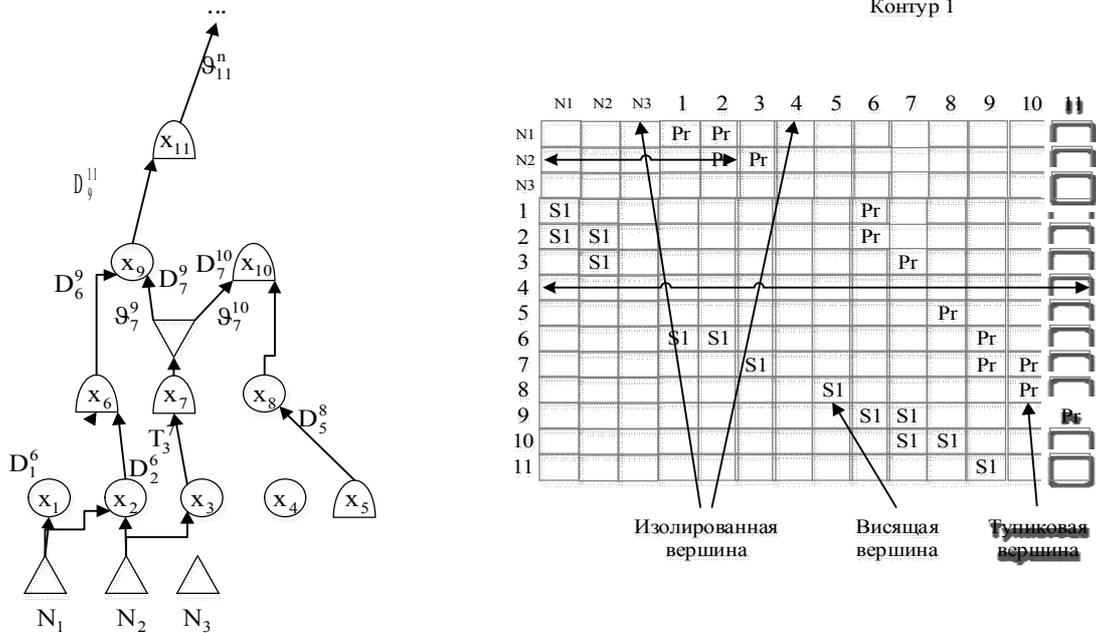


Рис. 2. Фрагмент неполной структуры целевых установок и матрицы инцидентий графа сетевой модели

Условие полноты для данных правил может быть сформулировано следующим образом. Пусть имеется правило  $P_i$ , подлежащее проверке на полноту описания. В послылке  $\Pi_i$  правила осуществляется анализ значений подмножества признаков  $\{w_j\}$ , ( $j = 1 \dots n$ ) интерпретация которых должна осуществляться на множестве  $\{z(w_{ij})\}$  полей записей БД. В заключении данного правила определяется следствие в отношении множества  $\{O_q\}$  элементов. Описание будет полным, если выполняется условие:

$$\forall w_{ij} (\exists \{z(w_{ij})\}) \rightarrow (P_i \in P), \quad (5)$$

где  $P$  – множество правил, удовлетворяющих условию полноты.

Полнота формализации целей и объектов должна предусматривать их описание в рамках всех аспектов знаний. С этой точки зрения наиболее важным является наличие описаний прагматического аспекта знаний при интерпретации цели в СЦУ. Таким образом, анализ полноты описания ЦУ должен предусматривать наличие и корректность всех составляющих элементов описания цели в соответствии с ее представлением АФ [4, 11]. Описание объектов осуществляется в рамках ЦУ, следовательно, анализ полноты описаний ЦУ будет охватывать соответствующий анализ описаний объектов.

Таким образом структура разработанного метода пополнения и контроля корректности структур знаний открытой экспертной системы реального времени представлена на рис. 3.

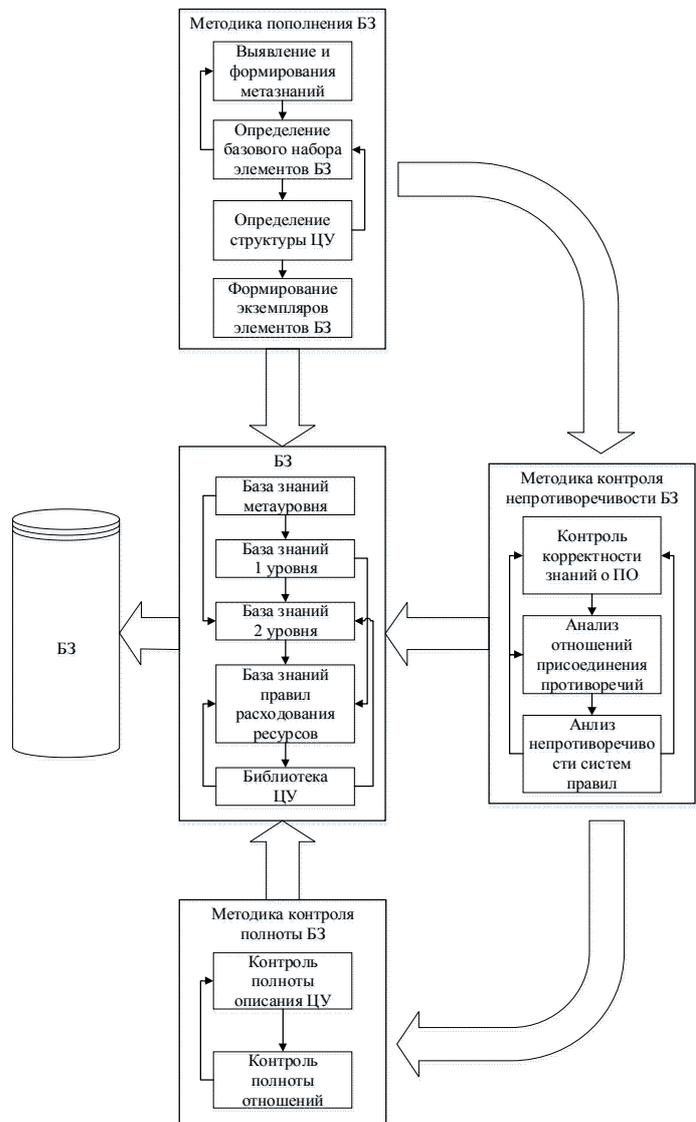


Рис. 3. Структура метода пополнения и контроля корректности базы знаний открытой экспертной системы реального времени

## Заключення

1. Применение иерархического принципа в построении БЗ ОЭС позволяет учесть закономерности ПО, формализуемые на различных уровнях управления при разном уровне общности используемых на этих уровнях знаний.

2. Последовательное пополнение иерархической БЗ на различных этапах ее эксплуатации и условий ее применения позволяют существенно процесс адаптации ОЭС к решению конкретных задач. Разработанные методики пополнения БЗ различных уровней иерархии позволяют реализовать процесс пополнения БЗ на этапе эксплуатации без изменения функциональных свойств системы управления неподготовленными в отношении инженерии знаний пользователями.

3. Анализ свойств условных отношений присоединения противоречий позволяют определить методологическую основу анализа различных структур знаний на непротиворечивость.

4. Разработанные методики анализа позволяют выявлять некорректности структур знаний в рамках описаний различных аспектов, уровней иерархии и теорий.

5. Предложенные методики отличаются простотой реализации, отсутствием сложных преобразований и вычислений, что предопределяет их доступность для алгоритмизации и программирования. Незначительная продолжительность анализа позволяет использовать разработанные методики в интерактивном режиме реального масштаба времени.

движением / Д.Е. Василенко, Д.Н. Обидин, П.Г. Бердник, В.Н. Руденко // Системи озброєння і військова техніка. — 2016. — № 3 (47). — С. 44-49.

2. Василенко Д.Е. Разработка процедуры контроля непротиворечивости знаний для открытой экспертной системы реального времени / Д.Е. Василенко, Д.Н. Обидин, П.Г. Бердник // Системи обробки інформації. — Х.: ХУПС, 2016. — № 9 (146). — С. 90-93.

3. Искусственный интеллект. Справочник в 3-х книгах. Книга 2. Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова. — М.: Радио и связь.-1990. — 304 с.

4. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров, Б.Н. Судаков, А.В. Мишин. — Харьков: ХВУ, 1993. — 446 с.

5. Object-Oriented Analysis and Design with Applications (3rd Edition) Grady Booch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engle, Bobbi J. Young, Jim Conallen, Kelli A. Houston. — 720 p.

6. Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software Eric Evans. — 442 p.

7. Vaughn Vernon Implementing Domain-Driven Design / Vaughn Vernon «ВИЛЬЯМС», 2016. — 688 p/

8. Когнітивний підхід до розробки інформаційних моделей в системах підтримки прийняття рішень / М.А. Павленко, В.К. Медведєв, П.Г. Бердник, С.В. Міхасьов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2016. — № 2 (23). — С. 138-141.

9. Гибридная модель знаний для распознавания ситуаций в воздушном пространстве / М.А. Павленко, А.И. Тимочко, Н.А. Королюк, М.Ю. Гусак // Автоматика и вычислительная техника. — Рига: АВТ, 2014. — Вып. 5, vol. 49. — С. 16-25.

## Список литературы

Надійшла до редколегії 2.09.2016

1. Василенко Д.Е. Метод формализации знания в открытой экспертной системе реального времени в автоматизированных системах управления воздушным

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ПОПОВНЕННЯ І КОНТРОЛЮ КОРЕКТНОСТІ СТРУКТУР ЗНАТЬ ВІДКРИТОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Д.Є. Василенко

Розробка експертних систем різного призначення пов'язана з необхідністю розробки бази знань. Однією з важливих властивостей бази знань є її повнота. Повнота передбачає наявність якомога більшої кількості правил, фактів і правил маніпулювання ними. Для досягнення повноти величезне число правил вноситься в базу знань і є велика ймовірність внесення суперечливих, взаємовиключних правил. Внесення таких правил призводить до некоректності чи відмови у прийнятті рішень. Тому актуальною є задача розробки процедури контролю несуперечності знань у відкритих експертних системах.

**Ключові слова:** знання, база знань, коректність знань, експертна система.

## DEVELOPMENT OF METHODS FOR DEPOSITING AND CONTROL STRUCTURES PROPER KNOWLEDGE OF EXPERT SYSTEM OPEN LIVE

D.E. Vasilenko

Development of expert systems for various purposes is associated with the need to develop a knowledge base. One of the important properties of the base of knowledge is its completeness. Completeness implies the existence of an increasing number of rules, facts and rules to manipulate them. In order to achieve the fullness of a great number of rules introduced in the knowledge base and have a high probability of making contradictory and mutually exclusive rules. Adding to these rules leads to incorrect or denial decisions. Therefore, the actual problem is the development of consistency control procedures Knowledge in open systems expertise.

**Keywords:** knowledge, knowledge base, correct knowledge, expert system.