

© Максимов А.И.  
Maksimov A.I.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА В ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

### INFERENCE PROCEDURE IN DIAGNOSTIC SYSTEMS

**Аннотация.** В работе рассмотрен подход к организации логического вывода в системах диагностического типа, в основе которого использованы алгебраические методы моделирования рассуждений. Возможности рассмотренного подхода сопоставлены с организацией логического вывода в продукционных системах, реализованных в среде CLIPS.

**Annotation..** This paper considers an approach to inference procedure in diagnostic systems, which is based on algebraic methods for modeling reasoning. The possibilities of this approach are compared to the organization of inference in production systems implemented in CLIPS environment.

**Ключевые слова.** Экспертные системы, базы знаний, диагностические системы, организация логического вывода, моделирование рассуждений, среда CLIPS, продукционное представление знаний, алгебраические методы представления знаний.

**Key words.** Expert systems, knowledge bases, diagnostic systems, inference procedure, modeling of reasoning, CLIPS environment, production rule system, algebraic methods for knowledge representation.

#### Введение

Одними из наиболее распространенных приложений технологии экспертных систем (ЭС) являются диагностические системы, назначение которых – обнаружение источников неисправностей по результатам наблюдений за поведением контролируемой системы (технической или биологической). В эту категорию входит широкий спектр задач в самых различных предметных областях - медицине, механике, электронике и т.д. [1]. Эффективность функционирования диагностических ЭС в существенной степени зависит от способов организации логического вывода, эффективность которого, в свою очередь, определяется способом представления знаний, используемым для формального представления экспертной информации в компьютерной системе. Основными способами представления знаний в интеллектуальных системах являются правила продукций, семантические сети и сети фреймов, формальные логические модели и др. Наиболее распространенным и практически значимым в проблематике построения диагностических систем является продукционный способ представления

знаний. Данный способ получил широкое распространение благодаря наглядности и естественности нотации, что является важным требованием для практики создания и сопровождения реальных систем. Однако реализация логического вывода, базирующаяся на использовании данного представления знаний, не имеет достаточно строго формального обоснования и существенно зависит от искусства построения эффективных программных реализаций. В связи с этим представляет интерес рассмотреть другой, нетрадиционный способ представления знаний, основанный на использовании алгебраического подхода к моделированию рассуждений и аппарата так называемых E-структур [2], использование которых позволяет решить задачу организации логического вывода в диагностических системах не менее наглядно, но в тоже время формально более строго.

Для сопоставления возможностей организации логического вывода с помощью E-структур с возможностями продукционных диагностических систем можно воспользоваться данными небольшого известного примера построения системы технической диагностики, ре-

---

Максимов Андрей Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории автоматизированных систем управления НИИ СП им. Н.В. Склифосовского, доцент кафедры электронных документов, архивов и технологий РГГУ, тел. 8-903-215-81-91.

Maksimov Andrey Ivanovich – Ph.D. of technical sciences, Senior staff scientist, Laboratory for Automatic Control Systems, Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine; Assistant professor, Department of Electronic Documents, Archives and Technology, Russian State University for the Humanities, tel. 8-903-215-81-91.

ализация которой в среде CLIPS достаточно подробно рассматривается в работе [3].

### 1. Представление знаний и организация логического вывода в среде CLIPS

Среда CLIPS, разработанная в Центре космических исследований NASA (США), является одним из достаточно удобных и развитых инструментальных средств построения продукционных экспертных систем. Организация логического вывода в данной инструментальной среде построена в соответствии с особенностями продукционной модели знаний и основными положениями логического вывода в продукционных системах [1].

Основными конструкциями для представления знаний в среде CLIPS являются факты и правила. Факты предназначены для использования в правилах и являются одной из основных форм представления информации в CLIPS. С помощью правил определяются действия, которые необходимо выполнить в случае возникновения некоторой ситуации.

Перейдем к рассмотрению примера построения системы технической диагностики, исходные положения которого заключаются в том, что требуется определить неисправность автомобильного двигателя, экспертные заключения о возможных состояниях которого редуцированы в следующих положениях [3].

1. Двигатель обычно находится в одном из трех состояний: он может работать нормально, работать неудовлетворительно или не заводиться.

2. Если двигатель работает нормально, то это означает, что его ротор нормально вращается, система зажигания и аккумулятор находятся в норме и никакого ремонта не требуется.

3. Если двигатель запускается, но работает ненормально, то это говорит, по крайней мере, о том, что аккумулятор в порядке.

4. Если двигатель не запускается, то нужно узнать, вращается ли ротор. Если ротор вращается, но при этом двигатель не заводится, то это может говорить о наличии плохой искры в системе зажигания. Если двигатель даже не пытается заводиться, то это говорит о том, что искры нет в принципе.

5. Если двигатель не заводится, но его ротор вращается, нужно проверить наличие топлива. Если топлива нет – то, скорей всего, для “ремонта” машины нужно просто заправиться.

6. Если двигатель не заводится, нужно проверить, заряжен ли аккумулятор и, если нет, то следует его зарядить.

7. Если двигатель не заводится и существует вероятность плохой искры в системе зажигания, то необходимо проверить контакты. Контакты могут быть в одном из трех состояний: чистые, опаленные и загрязненные. В случае опаленных контактов их необходимо заменить, в случае, если контакты загрязненные, их достаточно просто почистить.

8. Если двигатель не заводится, искры нет и аккумулятор заряжен, то нужно проверить катушку зажигания на электрическую проводимость. В случае если ток не проходит через катушку, то ее необходимо заменить. Если катушка зажигания в порядке, значит необходимо заменить распределительные провода.

9. Если двигатель запускается, но при этом ведет себя инертно, не сразу реагирует на подачу топлива, то необходимо прочистить топливную систему.

10. Если двигатель запускается, но происходят перебои с зажиганием, то это говорит о наличии плохой искры в системе зажигания и для устранения этой неисправности надо отрегулировать зазоры между контактами.

11. Если двигатель запускается и стучит, то необходимо отрегулировать зажигание.

12. Если двигатель запускается, но не развивает нормальной мощности, то это может говорить об опаленных или загрязненных контактах.

13. Возможны ситуации, когда состояние двигателя нельзя описать перечисленными факторами и машине может потребоваться более детальный анализ состояния.

Некоторые факты, определяющие состояние диагностируемого объекта (т.е. автомобильного двигателя), представлены в табл. 1. Рекомендации по ремонту можно представить в виде значения факта Repair (требуемый ремонт). Некоторые значения данного факта представлены в табл. 2.

Рассмотрим пример реализации логического вывода в подобной экспертной системе. Пусть, например, о состоянии двигателя известно следующее:

- двигатель заводится;
- двигатель работает не удовлетворительно;
- двигатель плохо реагирует на подачу топлива.

Фрагмент CLIPS-реализации подобной экспертной системы, включающий правила, актуальные относительно указанных исходных данных, выглядит следующим образом.

```
(defrule Правило 1 "Определить, заводится ли двигатель?"
(not (working-state-engine ?))
(not (repair ?))
=>
(if (yes_no_question "Двигатель заводится (да/нет)? ")
```

Таблица 1

**Факты, описывающие состояние двигателя**

Описание факта в нотации CLIPS	Пояснение
Wrking-state-engine normal	Нормальная работа двигателя
Working-state-engine unsatisfactory	Неудовлетворительная работа двигателя
Wrking-state-engine start	Двигатель заводится
Working-state-engine does-not-start	Двигатель не заводится
Sark-state-engine normal	Зажигание в порядке
Sark-state-engine irregular-spark	Искра нерегулярна
Sark-state-engine does-not-spark	Искры нет
Charge-state-battery charged	Аккумулятор заряжен
Carge-state-battery dead	Аккумулятор разряжен
Smptom-engine low-output	Низкая мощность двигателя
Symptom-engine not-low-output	Нрмальная мощность двигателя

Таблица 2

**Значения факта Repair (рекомендации по ремонту)**

Описание факта в нотации CLIPS	Пояснение
Repair "Add gas;	Добавить топливо;
Repair "Charge the battery";	Зарядить аккумулятор;
Repair "Point gap adjustment";	Отрегулировать зазоры между контактами;
Repair "Clean the fuel line";	Прочистить линию подачи топлива;
Repair "Clean the points";	Почистить контакты;
Repair "No repair needed"	Ремонт не требуется

```

then (assert (working state engine start))
else (assert (working state engine does notstart)))
(defrule Правило 2 "Определить состояние двигателя"
(working state engine start)
(not (repair ?))
=>
(if (yes_no_question "Двигатель работает нормально
(да/нет)? ")
then (assert (working state engine normal))
else (assert (working state engine unsatisfactory))))
(defrule Правило 3 "Определить необходимость ре-
монта"
(working state engine normal)
=>
(assert (repair "No repair needed")))
(defrule Правило 3 "Определить инертность двигателя"
(working state engine unsatisfactory)
(not (repair ?))
=>
(if (yes_no_question "Двигатель плохо реагирует на по-
дачу топлива (да/нет)? ")

```

```

then (assert (repair "Clean the fuel line")))).

```

Представленный фрагмент ЭС содержит четыре правила, определение каждого из которых начинается ключевым словом defrule. Левая и правая части правил разделяются символом "=>". Реализация логического вывода в этом случае имеет следующий вид. Поскольку в первом цикле работы ЭС в рабочей памяти отсутствуют значения фактов (не определены факты) "working state engine" и "repair", выбирается первое правило, так как его левая часть удовлетворяет исходным условиям. Посредством функции yes\_no\_question система задает вопрос: "Двигатель запускается (да/нет)?". Ответом на этот вопрос в соответствии с исходными данными является значение "да", поэтому в рабочую память командой assert заносится факт "working state engine start" (т.е. двигатель заводится). В следующем цикле логического вывода вновь анализируется состояние рабочей памяти. Поскольку теперь среди фактов рабочей памяти присутствует факт "working state engine start", то система активизирует Правило 2, результат применения которого порождает следующий вопрос: "Двигатель работает нормаль-

но (да/нет)? ". Ответ на этот вопрос (по исходным данным) имеет значение "нет", поэтому в рабочую память командой assert заносится факт "working state engine unsatisfactory" (т.е. состояние двигателя неудовлетворительное). Далее вновь анализируется состояние рабочей памяти. Поскольку теперь среди фактов рабочей памяти присутствует факт "working state engine unsatisfactory", то ЭС активизирует Правило 4 ("Определить инертность-двигателя"), в результате применения которого ЭС задает очередной вопрос: "Двигатель плохо реагирует на подачу топлива (да/нет)?". Ответом на этот вопрос, в соответствии с исходными данными, является значение "да", в результате чего ЭС завершает работу выдачей рекомендации по ремонту: "Clean the fuel line" (т.е. "Прочистить линию подачи топлива").

Как уже отмечалось, эффективность логического вывода в системах продукционного типа существенно зависит от программной реализации системы, что, в свою очередь, очень сильно зависит от опыта и квалификации конкретных разработчиков ЭС (инженеров по знаниям, программистов). В крупных, сложных ЭС варианты реализации систем, разработанных специалистами средней и высокой квалификации, могут различаться очень значительно. Покажем эту особенность построения продукционных ЭС на рассматриваемом примере, т.е. приведем еще один вариант реализации продукционных правил для рассматриваемого случая, в котором с помощью использования более изящной программной конструкции количество правил сокращено.

Рассматриваемый фрагмент ЭС в данном случае выглядит следующим образом.

```
(defrule Правило 1 "Определить состояние двигателя"
(not (working state engine ?))
(not (repair ?))
=>
(if (yes_no_question "Двигатель заводится (да/нет)? ")
then
(if (yes_no_question "Двигатель работает нормально (да/нет)? ")
then (assert (working state engine normal))
else (assert (working state engine unsatisfactory)))
else
(assert (working state engine does not start))))
(defrule Правило 2 "Определить необходимость-ремонта"
(working state engine normal)
=>
(assert (repair "No repair needed")))
(defrule Правило 3 "Определить инертность двигателя"
```

```
(working state engine unsatisfactory)
```

```
(not (repair ?))
```

```
=>
```

```
(if (yes_no_question "Двигатель плохо реагирует на подачу топлива (да/нет)? ")
```

```
then (assert (repair "Clean the fuel line"))))
```

Последовательность применения (активизации) правил для данного варианта приводить не будем, так как она прослеживается аналогично рассмотренной в первом варианте реализации логического вывода. В данной реализации правило «Определить состояние двигателя» построено таким образом, что отпадает необходимость наличия правила «Определить-заводится ли-двигатель», и, таким образом, для рассматриваемого фрагмента ЭС число правил сокращается (в данном случае с 4 до 3). Как уже отмечалось, в реальных, крупных и сложных ЭС подобные различия могут быть очень значительны, следствием чего являются значительные различия в эффективности (производительности) логического вывода, что особенно ощутимо для продукционных баз знаний большого объема.

Перейдем теперь к рассмотрению другого подхода к организации логического вывода в диагностических системах с использованием аппарата так называемых E-структур.

## 2. Представление знаний с использованием алгебраических методов моделирования рассуждений

В работе [2] рассмотрены возможности моделирования естественных рассуждений и предложен некоторый инструментарий анализа структур, базовым элементом которых является суждение. Прежде чем перейти к рассмотрению прикладных аспектов использования указанного аппарата для организации логического вывода в диагностических системах, рассмотрим основные понятия и положения данного подхода, суть которых заключается в следующем.

Алгебру множеств можно рассматривать как алгебраическую систему с множеством операций  $\{-, \cap, \cup\}$  и множеством отношений  $\{\subset, \subseteq, =\}$ . Свойством данной системы является то, что все операции в ней являются полными. Обобщением алгебры множеств может служить алгебраическая система, в которой некоторые операции являются частичными. Новая математическая структура, названная *E-структурой*, является обобщением алгебры множеств, у которой полной является только операция *дополнения*.

Рассмотрим конечную систему  $S$  множеств

$$S = \langle \emptyset, S_1, S_2, \dots, S_n, \neg S_1, \neg S_2, \dots, \neg S_n, U \rangle, \quad (1)$$

в которой  $S_i$  и  $\neg S_i$  могут быть как конечными, так и бесконечными множествами (символом “ $\neg$ ” обозначено дополнение соответствующего множества). Универсум  $U$  определяется соотношением

$$\bigcup_{i=1}^n S_i \subseteq U.$$

При этом элементный состав множеств, содержащихся в  $S_i$  или в  $\neg S_i$ , может быть неизвестен. Пусть в системе  $S$  задана произвольная совокупность соотношений вида

$$X_k \subseteq \bigcap_{t \in I} X_t, \quad (2)$$

где  $I = \{1, 2, \dots, n\}$  — множество индексов в каждом из предложений типа (2) все индексы  $k, t \in I$  попарно различны,  $X_i$  — один из элементов множества  $\{S_i, \neg S_i\}$  для любого  $i \in I$ .  $E$ -структурой называется система множеств типа (1), заданная конечной совокупностью соотношений типа (2), которые называются суждениями. Исходные суждения, с помощью которых определяется конкретная структура, называются посылками.

Можно проследить соответствие между компонентами  $E$ -структуры и некоторыми логическими понятиями. Элементы множества символов

$$V = \{S_1, S_2, \dots, S_n, \neg S_1, \neg S_2, \dots, \neg S_n\}$$

являются базовыми терминами (при этом  $\neg S_i$  соответствует отрицанию  $S_i$ ); элементы множества символов  $\{\emptyset, U\}$  являются константами — они соответствуют логическим константам *False* и *True*. Соотношения типа (2) в  $E$ -структуре являются обобщением известных в традиционной логике типов суждений. В частности, суждению “Все  $S_i$  есть  $S_k$ ” соответствует соотношение  $S_i \subseteq S_k$ , а суждению “Все  $S_i$  не есть  $S_k$ ” — соотношение  $S_i \subseteq \neg S_k$ . В качестве суждений  $E$ -структуры допускаются соотношения, которые не соответствуют ни одному из известных в аристотелевской силлогистике типов суждений, например, соотношение  $\neg S_2 \subseteq (S_1 \cap \neg S_3)$ .

Одно из свойств  $E$ -структур заключается в том, что каждое суждение типа (2) может быть сведено к совокупности элементарных суждений типа

$$X_i \subseteq X_k, \text{ где } X_i \in \{S_i, \neg S_i\}, X_k \in \{S_k, \neg S_k\},$$

в которых содержатся по два термина. В силу этого систему суждений, заданных в посылках, можно представить в виде графа, в котором каждая ориентированная дуга  $X_i \rightarrow X_k$  соответствует соотношению включения между парами множеств или соотношению между субъектами и предикатами в традиционных суждениях. Каждую конкретную  $E$ -структуру можно рассматривать как аксиоматическую систему, в которой посылки играют роль аксиом, а правила вывода определены в соответствии с законами этой системы. Правилами вывода  $E$ -структуры являются:

- *правило контрапозиции:*

$$\forall (X, Y): (X \subseteq Y) \rightarrow (\neg Y \subseteq \neg X);$$

- *правило транзитивности:*

$$\forall (X, Y, Z): (X \subseteq Y) \& (Y \subseteq Z) \rightarrow (X \subseteq Z).$$

Рассмотрим пример  $E$ -структуры. Пусть на некотором универсуме  $U$  выделены литералы (термины), которые обозначим  $P, Q, T, R$ , представляющие собой некоторые множества на рассматриваемом универсуме. Отрицания этих литералов (терминов) соответственно обозначены как  $\neg P, \neg Q, \neg T, \neg R$ . Пусть соотношения между данными литералами заданы некоторыми посылками:  $T \subseteq R; P \subseteq \neg Q; \neg Q \subseteq \neg R$ . Таким образом определена  $E$ -структура, состоящая из системы множеств

$$\{\emptyset, U, P, Q, T, R, \neg P, \neg Q, \neg T, \neg R\}$$

и некоторых отношений включения между этими множествами, содержащихся в представленных посылках.

Поясним сказанное. Так, для предметной области медицины в качестве универсума  $U$  можно взять все множество клинических случаев проявления той или иной патологии. При этом в отдельное множество  $T$  можно выделить множество, представляющее клинические случаи, в которых наблюдается повышенная температура (соответственно  $\neg T$  в этом случае представляет собой множество клинических случаев, в которых не наблюдается повышение температуры); в отдельное множество  $R$  можно выделить множество, представляющее клинические случаи, в которых наблюдается наличие какого-либо воспалительного процесса; и т.д.

### 3. Организация логического вывода в диагностических системах с использованием $E$ -структур

Перейдем к рассмотрению прикладных аспектов использования  $E$ -структур в части построения логического вывода в диагностических системах. Для этого воспользуемся исходными данными описанного выше примера диагностики неисправностей автомобильного двигателя и покажем возможность решения данной задачи с помощью аппарата  $E$ -структур.

Описанные выше возможные состояния двигателя представим в понятиях и конструкциях рассматриваемого аппарата. Выделим следующие термины (литералы):

$R_1$  — нормальная работа двигателя (здесь и далее в изложении будет использоваться сокращенное наименование терминов, но при этом следует помнить, что каждый термин представляет собой множество; для данного термина имеется в виду множество случаев нормальной работы двигателя);

$R_2$  — двигатель запускается (заводится);

$R_3$  – двигатель развивает нормальную мощность;  
 $R_4$  – нормальное состояние системы зажигания;  
 $R_5$  – нормальное состояние аккумулятора;  
 $R_6$  – нормальное состояние искры;  
 $R_7$  – нормальное состояние катушки зажигания;  
 $R_8$  – нормальное состояние распределительных

проводов;

$R_9$  – нормальное состояние контактов;  
 $R_{10}$  – контакты не загрязнены;  
 $R_{11}$  – контакты не опалены.

Соответственно отрицания этих терминов:

$\neg R_1, \neg R_2, \neg R_3, \neg R_4, \neg R_5, \neg R_6, \neg R_7, \neg R_8, \neg R_9, \neg R_{10}, \neg R_{11}$ ,

смысл которых очевиден, а именно:

$\neg R_1$  – не нормальная работа двигателя;

$\neg R_2$  – двигатель не запускается; ... и т.д.

Условия нормальной работы двигателя, записанные в виде  $E$ -структур, представляются следующим образом:

$$R_1 \subseteq R_2 \cap R_3 \cap R_4 \cap R_5;$$

$$R_4 \subseteq R_7 \cap R_8;$$

$$R_6 \subseteq R_4 \cap R_5;$$

$$R_3 \subseteq R_9;$$

$$R_9 \subseteq R_{10} \cap R_{11}.$$

Таким образом, в терминах рассматриваемого аппарата определена система отношений, которую можно рассматривать как модель данной предметной области (ПО) диагностики неисправностей автомобильного двигателя.

Пусть теперь о состоянии двигателя известно следующее:

- двигатель не заводится;
- аккумулятор в норме;
- искры нет.

В рассматриваемой модели ПО это идентифицируется следующим набором терминов:

$$\neg R_2, \neg R_5, \neg R_6.$$

Применяя метод анализа  $E$ -структур к рассматриваемой системе отношений, получаем все возможные выводы, а именно:

$$R_1 \subseteq R_7 \cap R_8 \cap R_9 \cap R_{10} \cap R_{11};$$

$$\neg R_2 \subseteq \neg R_1;$$

$$R_3 \subseteq R_{10} \cap R_{11};$$

$$\neg R_3 \subseteq \neg R_1;$$

$$\neg R_4 \subseteq \neg R_1 \text{ и } \neg R_6;$$

$$\neg R_5 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_6;$$

$$R_6 \subseteq R_7 \cap R_8;$$

$$\neg R_7 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_4 \cap \neg R_6;$$

$$\neg R_8 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_4 \cap \neg R_6;$$

$$\neg R_9 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_3 \cap \neg R_9;$$

$$\neg R_{10} \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_3 \cap \neg R_9;$$

$$\neg R_{11} \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_3 \cap \neg R_9.$$

Добавляя к полученным выводам исходные посылки, получаем:

$$R_1 \subseteq R_2 \cap R_3 \cap R_4 \cap R_5;$$

$$R_4 \subseteq R_7 \cap R_8;$$

$$R_6 \subseteq R_4 \cap R_5;$$

$$R_3 \subseteq R_9;$$

$$R_9 \subseteq R_{10} \cap R_{11};$$

$$R_1 \subseteq R_7 \cap R_8 \cap R_9 \cap R_{10} \cap R_{11};$$

$$\neg R_2 \subseteq \neg R_1;$$

$$R_3 \subseteq R_{10} \cap R_{11};$$

$$\neg R_3 \subseteq \neg R_1;$$

$$\neg R_4 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_6;$$

$$\neg R_5 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_6;$$

$$R_6 \subseteq R_7 \cap R_8;$$

$$\neg R_7 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_4 \cap \neg R_6;$$

$$\neg R_8 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_4 \cap \neg R_6;$$

$$\neg R_9 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_3 \cap \neg R_9;$$

$$\neg R_{10} \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_3 \cap \neg R_9;$$

$$\neg R_{11} \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_3 \cap \neg R_9.$$

Сопоставим полученные соотношения с исходными данными. Значение  $\neg R_6$  присутствует в соотношениях:

$$\neg R_4 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_6;$$

$$\neg R_5 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_6;$$

$$\neg R_7 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_4 \cap \neg R_6;$$

$$\neg R_8 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_4 \cap \neg R_6,$$

что означает:

при неисправности системы зажигания:

- двигатель неисправен;
- искры нет.

при неисправности аккумулятора:

- двигатель неисправен;
- искры нет.

при неисправности катушки:

- двигатель неисправен;
- система зажигания неисправна;
- искры нет;

при неисправности в распределительных проводах:

- двигатель неисправен;
- система зажигания неисправна;
- искры нет.

Соотношение  $\neg R_5 \subseteq \neg R_1 \cap \neg R_6$  отбрасываем, так как оно противоречит исходным данным, согласно которым аккумулятор в норме.

Таким образом, имеем следующие варианты возможных неисправностей:

- неисправность системы зажигания;
  - неисправность катушки;
  - неисправность в распределительных проводах.
- Учитывая соотношение  $R_4 \subseteq R_7 \cap R_8$ , актуальными

оставляем выводы:

- неисправность катушки;
- неисправность в распределительных проводах.

Окончательный вывод системы может звучать следующим образом: “Для устранения неисправности в работе двигателя необходимо проверить катушку и распределительные провода”.

### Заключение

Сопоставление возможностей организации логического вывода при использовании аппарата  $E$ -структур с аналогичными возможностями продукционного подхода позволяет сделать следующие выводы.

Подход, основанный на использовании  $E$ -структур, отличается существенно большей формальной строгостью. Заметим, что недостаток формальной строгости в построении продукционных ЭС является одним из наиболее критичных факторов, сдерживающих широкое распространение данной интеллектуальной информационной технологии. Как было показано при рассмотрении примеров реализации логического вывода в среде CLIPS, построение продукционных ЭС является в большей степени искусством и соответственно очень сильно зависит от квалификации разработчиков ЭС. В отличие от этого организация логического вывода с исполь-

зованием алгебраических методов моделирования рассуждений, являясь формально более строгой, позволяет перевести разработку диагностических ЭС из разряда достаточно сложного искусства в разряд регулярных, формально обоснованных технологических процедур, реализация которых практически не зависит от опыта и квалификации разработчиков и требует только корректного выполнения простых, понятных и строго формализованных действий, подавляющее большинство которых можно автоматизировать.

Кроме этого, следует отметить, что использование рассмотренного аппарата в сравнении с традиционными способами организации логического вывода позволяет в ряде приложений получить более эффективные решения. Так, например, в системах технической диагностики использование данного аппарата позволяет (по сравнению с обычной практикой) сократить объём экспериментальных исследований, которые, как правило, сопряжены со значительными затратами ресурсов на увеличение количества информационных каналов и их использование для получения достоверной диагностической информации [4,5].

Таким образом, рассмотренный подход к реализации логического вывода имеет право дополнить спектр существующих подходов и использоваться для соответствующего класса задач, одним из которых являются задачи организации логического вывода в диагностических системах.

### Литература

1. Джексон П. Введение в экспертные системы. – М., СПб, Киев: "Вильямс", 2001.
2. Кулик БА, Романов ЛН. Алгебраический подход к моделированию и анализу естественных рассуждений на основе  $E$ -структур. // Интеллектуальное управление: новые интеллектуальные технологии в задачах управления (ИСП'99). – Труды Международной конференции, Переславль-Залесский, 6–9 декабря 1999 г. М.: Наука. Физматлит, 1999. С. 50м54.
3. Частиков АП, Гаврилова ТА, Белов ДЛ. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. – СПб: БХВ-Петербург, 2003.
4. Нестеров ВЕ. Комплексная методика оценки и контроля эксплуатационной безопасности космического ракетного комплекса. – Двойные технологии, № 3, 2007.
5. Чернявский ГИ, Беркетов ГА, Истомин ВВ. Индивидуальный прогноз остаточного ресурса сложных технических систем на основе контроля изменений диагностических параметров. – Двойные технологии, № 4, 2005.

Материал поступил в редакцию 10. 02. 2009г.