

УДК 004.8(075)

А.Б. ЛЕЩЕНКО<sup>1</sup>, А.А. СИОРА<sup>2</sup>, Ю.А. ЛЕЩЕНКО<sup>1</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *ЗАО «Радий», Украина***РАЗРАБОТКА ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
В ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Рассмотрены модели представления знаний при построении подсистемы контроля приборостроительного производства.

представление знаний, контроль производства, формальное описание производства

**Введение. Постановка задачи**

В связи с широким применением в промышленности микропроцессоров, больших интегральных схем (БИС) и аналоговых интегральных схем повышенной сложности возникли проблемы, связанные с резким увеличением требуемого объема контрольно-диагностических операций, составляющих около 50% общей трудоемкости изготовления изделий.

На различных этапах технологического процесса (входной контроль электрорадиоэлементов (ЭРЭ), сборка, пайка печатного узла (ПУ), формовка и комплектование ЭРЭ) появляются разнообразные дефекты и в любых сочетаниях. Анализ статистических данных возникновения производственных дефектов [1 - 3] во время технологического процесса изготовления ПУ показал, что эти дефекты значительно увеличивают стоимость производства, ухудшают качество и надежность радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Анализ технологического процесса производства ПУ показал [1], что в среднем 12—16% ПУ, поступающих на операцию регулировки или функционального контроля, являются дефектными и требуют определенного ремонта. При этом наблюдается следующее распределение потока дефектов на отдельных этапах технологического процесса (в процентах к общему количеству ПУ):

входной контроль ЭРЭ ..... 1,9-3,2;  
подготовка и формовка ЭРЭ ..... 0,8-1;  
комплектование ..... 0,9-1,2;  
сборка ..... 3-4;

пайка ..... 5-6;  
межоперационные перемещения ..... 0,4-0,6.

На рис. 1 представлена диаграмма относительно распределения дефектов, обнаруженных при проверке ПУ. Из диаграммы видно, что большинство дефектов возникает в процессе производства ПУ, а дефекты самих ЭРЭ незначительны и составляют около 5%.

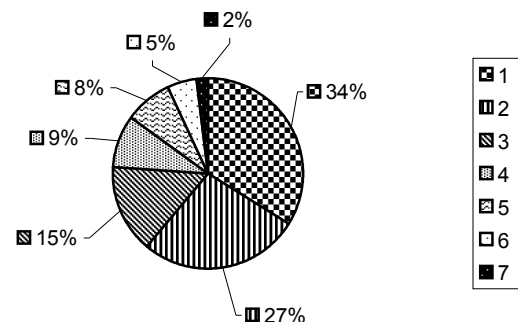


Рис. 1. Диаграмма распределения дефектов:

1 - короткое замыкание печатных проводников и ЭРЭ; 2 - обрывы печатных проводников и ЭРЭ; 3 - неправильная ориентация ЭРЭ; 4 - пропущенные ЭРЭ; 5 - ЭРЭ установлены не в соответствии со спецификацией; 6 - дефектные ЭРЭ; 7 - прочие дефекты

Каждый дефект может быть вызван одной из следующих причин: ошибками в конструкторской и технологической документации, нарушением технологического процесса изготовления печатных плат, наличием на предприятии статистических методов входного контроля ЭРЭ, нарушением технологического процесса подготовки ЭРЭ к сборке (лужение, формовка и комплектование), нарушении

ем условий хранения и транспортировки, низкой квалификацией производственного персонала, психофизиологическим состоянием производственного персонала.

Стоимость выявления дефектной ИС на четырех этапах контроля (входного контроля, контроля сборки, внутрисхемного и функционального контроля) возрастает на каждом этапе на порядок (от 0,3 до 300 дол.). Наиболее «дорогими» являются скрытые дефекты, выявление которых возможно только при эксплуатации РЭА и которые в конечном счете ухудшают такой основной показатель надежности, как безотказность. Примерами скрытых дефектов, т.е. дефектов, которые невозможно выявить при функциональном контроле (эти дефекты могут проявиться лишь на периодических испытаниях, проводящихся для отобранной партии продукции [4]), могут быть неустановленные защитные диоды, несоответствующие сопротивления ограничительных резисторов, неправильная установка прецизионного и обычного стабилитронов и т. п.

Затраты средств на обнаружение и устранение дефектов возрастают примерно в 10 раз на каждом последующем технологическом этапе производства РЭА [5]. Значительную трудоемкость при наладке РЭА имеет процесс поиска дефектов. Обычно к наладке печатных узлов и блоков РЭА привлекаются высококвалифицированные специалисты, которые осуществляют отладку, основываясь на своем опыте и интуиции. Подобные работы близки к наиболее сложным видам умственной деятельности человека. Это можно объяснить тем, что каждый шаг поиска дефекта при наладке требует анализа результатов предшествующих опытов, а затем принятия решений о дальнейших действиях. С ростом сложности и увеличением выпуска РЭА такой подход дает неудовлетворительные результаты.

Кроме того, поиск дефектов, основанный на знании принципа работы устройства и его правильного функционирования, производится при номинальных рабочих режимах, что значительно снижает надежность РЭА. В некоторых случаях наладчик ПУ, не отыскав неисправности, достигает требуемых пара-

метров за счет подбора номиналов или регулировки, не соответствующей технологии.

Для сокращения времени поиска дефектов, которое может составлять несколько часов, регулировщик может производить излишнее количество паек, а в отдельных случаях подрезку печатных проводников, что также значительно ухудшает качество ПУ. Многократные сочленения регулируемого ПУ приводят к сокращению срока службы разъемного соединения. В конечном счете ухудшаются надежность и качество РЭА, а также сокращается срок ее службы.

Выявление указанных дефектов традиционными методами (визуальный контроль, ручная прозвонка, функциональный контроль) не дает желаемых результатов. Кроме того, все возрастающая стоимость, сложность печатных узлов, плотность компоновки ЭРЭ на них, а также появление дорогостоящих интегральных схем (ИС) делают недопустимым применение традиционных методов контроля печатных узлов.

В большинстве случаев отказы проявляются на этапе испытания. Причины приведены выше. Для повышения оперативности поиска дефектов и определения способов их устранения необходимо идентифицировать несоответствие и определить причины их появления.

Причины появления дефектов представляют собой конечное множество. В настоящее время причины возникновения дефектов определяются специалистами (экспертами). Но это требует большого количества высококвалифицированных специалистов на всех этапах производства РЭА.

В силу того, что имеет место повторяемость дефектов, предлагается использовать систему поддержки принятия решений (СППР) со способностью накапливать знания о дефектах и наиболее вероятных причинах их появления, что позволяет повысить оперативность выявления повторяющихся дефектов. При этом пользователи таких систем могут иметь существенно низкую квалификацию в области диагностики.

## 2. Структура знаний системы поддержки принятия решений для управления качеством

Разработка подсистемы поддержки принятия решений для анализа и контроля качества приборостроительного производства требует от разработчика правильного выбора модели представления знаний и адекватного представления моделируемой области.

Представление знаний и поиск решений образуют ядро любой системы искусственного интеллекта. Модель представления знаний отражает существенные характеристики решаемой задачи и обеспечивает соответствующей информацией процедуры, выполняющие поиск решений. Эффективность применения той или иной модели позволяет в достаточной мере отражать все интересующие детали предметной области задачи, а также быть достаточно эффективной с точки зрения поиска решений.

Анализ существующих знаниеориентированных моделей организации структур баз данных (БД) и знаний (БЗ) для выявления неисправностей показал, что наиболее простой формой организации данных является древовидная структура, т.к. она соответствует естественному иерархическому представлению единиц информации для процессов производства, проектирования, технологической подготовки и выполнения тестовых работ [9]. Например, для выявления неисправности любой тест разбивается на причины возникновения неисправности, причина неисправности - на способы устранения, способы - на средства и виды обеспечения восстановительных работ (ВР).

Отметим, что основным недостатком существующих моделей иерархических структур является реализация поисковых операций только в одном направлении от корня дерева к листьям. Для реализации подсистемы предложена сеть фреймов, которая представляет собой модернизированную иерархическую структуру данных с расширенным количеством связей, операций поиска и обработки информации.

Знания о ВР имеют декларативно-процедурный характер. Такое представление задается в виде фактов, правил манипулирования фактами и информации, управляющей процессом применения правил. Таким образом, представление знаний о ВР в дальнейшем будем определять в виде

$$W^* = \langle W, O, R, U \rangle,$$

где  $W = \langle I, T, Z \rangle$  - представление знаний о предметной области,  $I$  - множество конкретных фактов,  $T$  - множество допустимых конструкций,  $Z$  - отношение между  $I$  и  $T$ ;

$O = \{ O_i, O_i \}$  - множество операций, заданных на  $W$ ;

$R = \{ R_j \}$  - множество правил манипулирования  $W$ ,

$R_j : \alpha(I_j) \rightarrow O(W_i) * \dots * O(W_i) ; I_i \subseteq I ; W_k \subseteq W ; k = \overline{1, l} ;$

$$\alpha = \{ \wedge, \vee, \rightarrow, ', = \};$$

$U = (W, R)$  - структура, управляющая применением правил  $R$  в  $W$ .

Элементами множества  $I$  при заданных  $C, N, S$  являются множества экзфреймов  $FR$ . Элементарный экзфрейм имеет вид  $FR = \langle C, N \rangle$ , где  $C$  - множество констант,  $N$  - множество внешних имен фреймов. Сложный экзфрейм имеет вид

$$FR = \langle [C, ] S_1 : F_1, \dots, S_m : F_m, N \rangle, S_i \in S,$$

где  $S$  - множество имен терминалов,  $F$  ( $j = \overline{1, m}$ ) - экзфреймы.

В качестве модели представления знаний для описания основных атрибутов БЗ и БД восстановительных работ была принята концепция фреймов в виде иерархической структуры [9]. Иерархичность достигается тем, что один из слотов фрейма отводится для ссылки на предыдущий фрейм. Таким образом, обеспечивается "вложенность" фреймов, которая позволяет организовать механизм наследования свойств, что приводит к экономии внешней памяти.

Таким образом, фрейм системы  $FR$  (рис. 2) декомпозируется в иерархическое дерево подфреймов  $f_i \in FR, i = \overline{1, n}$ . Каждый подфрейм (субфрейм) отражает определенные свойства:

$$FR = (f_1, f_2, f_3, f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}, f_{15}, f_{16}, f_{17}),$$

$$f_1 = (f_2, f_3, f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}, f_{15}, f_{16}, f_{17}),$$

$$f_2 = (f_3, f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}, f_{15}, f_{16}, f_{17}),$$

$$f_3 = (f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}, f_{15}, f_{16}, f_{17}),$$

где  $f_1$  - субфрейм шкафов;  $f_2$  - субфрейм блоков;  $f_3$  - субфрейм модулей;  $f_{11}$  - субфрейм программного обеспечения;  $f_{12}$  - субфрейм деталей;  $f_{13}$  - субфрейм покупных изделий;  $f_{14}$  - субфрейм крепежа;  $f_{15}$  - субфрейм интерфейсов;  $f_{16}$  - субфрейм технологических процессов сборки;  $f_{17}$  - субфрейм технологических процессов испытаний.

Нижний уровень дерева  $FR$  составляют терминальные фреймы  $f_i$ . Ввод данных в  $f_i$  происходит по прототипу фрейма (протофрейму)  $f_r$  в экземпляре фрейма (экзфрейм)  $f_e$ . Каждому терминальному субфрейму знаний соответствует фрейм данных  $d_p$ , который однозначно определяет протофрейм данных. Ввод данных в протофрейм данных  $d_p$  образует экзфрейм данных  $d_e$ . Совокупность фрейма знаний и связанных с ним фреймов данных образует модель фрейма понятия  $AP\ FR = (f, d)$ .

Ввод информации в субфрейм знаниями осуществляется в интерактивном режиме, где пользователь пошагово описывает характеристики проверок, определяет их порядок применения.

Операции поиска на фрейме организуются с помощью индикаторного пути (ИП) в виде последовательности заданных значений ключей (как простого, так и составного из нескольких значений слотов). Особенностью предложенной структуры и набора операций является возможность создания любой иерархической древовидной структуры, которая динамически изменяется в результате использования БД и БЗ.

Производство и испытание системы и элементов системы проходит по определенному алгоритму. Этот процесс можно представить графически в виде дерева вывода или в виде продукции (рис. 3), где ВПТР – выбор принципиального технического решения, РПС – разработка принципиальных схем, РМС – разработка, ПС – производство систем. После каждой операции в случае обнаружения несоответствия возможен возврат (пунктирная линия).

СППР включает в себя следующие основные компоненты: базу продукционных правил; базу данных (рабочую память); интерпретатор.

Множество продукционных правил образует базу правил, каждое из которых представляет собой обособленный фрагмент знаний о проектировании, производстве и испытании определенного элемента изделия.

Посылка правила часто рассматривается как образец. *Образец* - это некоторая информационная структура, определяющая обобщенную ситуацию (условие, состояние и т.п.) окружающей действительности, при которой активизируется правило, например отказ.

Рабочая память (глобальная база данных) отражает конкретные ситуации (состояния, условия), возникающие в процессе создания ЭРА.

Интерпретатор реализует логический вывод. Процесс вывода является циклическим и называется *поиском по образцу*. Текущее состояние моделируемой предметной области отражается в рабочей памяти в виде совокупности образов, каждый из которых представляется фактами. Рабочая память инициализируется фактами, описывающими задачу. Затем система выбирает те правила, для которых образцы, представляемые предпосылками правил, сопоставимы с образами в рабочей памяти. Данные правила образуют *конфликтное* множество. Все правила, входящие в конфликтное множество, могут быть активизированы. В соответствии с выбранным механизмом разрешения конфликта активизируется одно из правил. Выполнение действия, содержащегося в заключении правила, приводит к изменению состояния рабочей памяти. Цикл управления выводом повторяется. Процесс вывода завершается, когда не окажется правил, посылки которых сопоставимы с образами рабочей памяти (рис. 4).

Вывод функционирует даже при недостатке информации. Полученное решение может быть не точным, но система не останавливается из-за того, что отсутствует какая-либо часть входной информации.

Управляющий компонент определяет порядок применения правил и выполняет четыре функции:

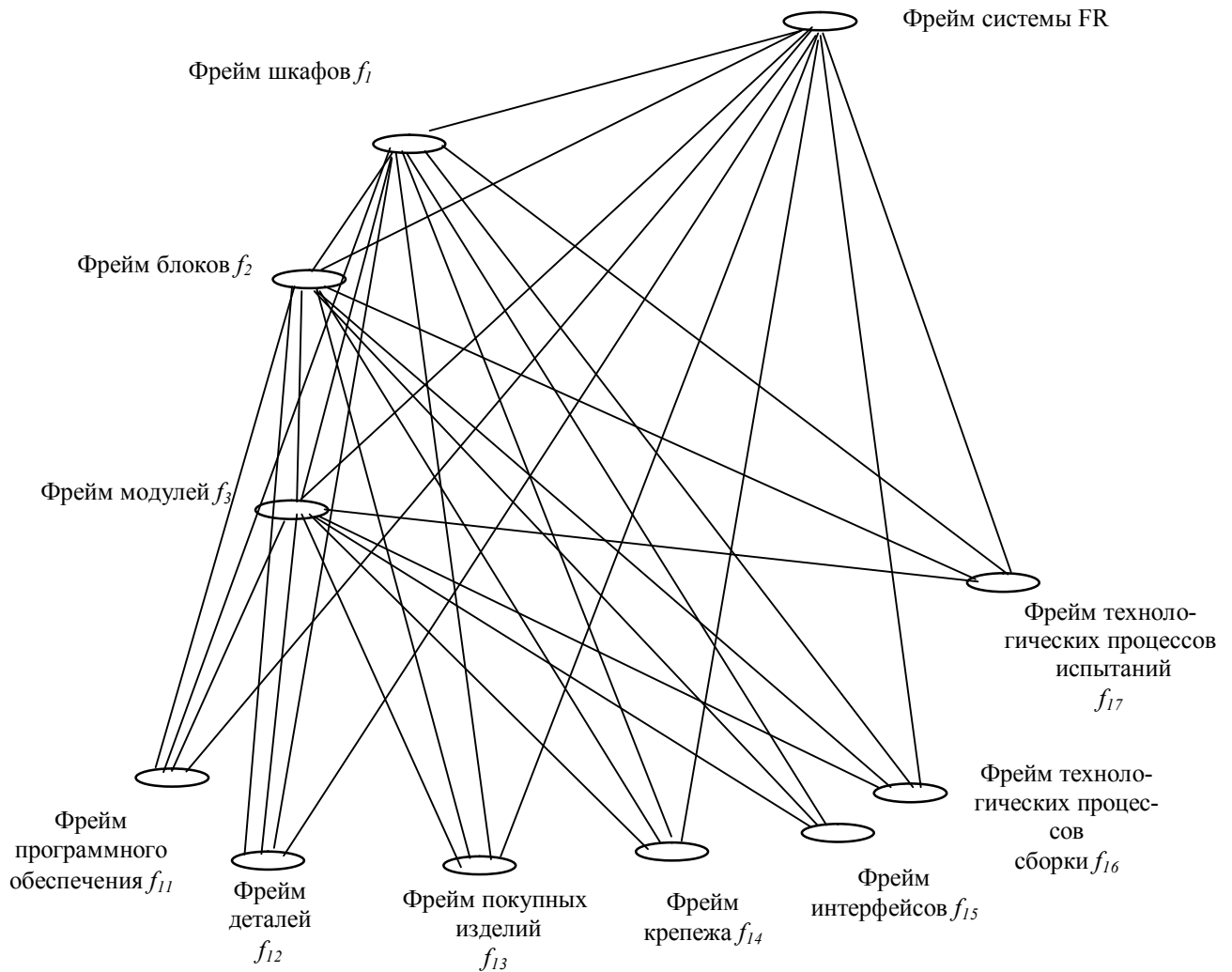


Рис. 2. Сеть фреймов обеспечения сборочных и испытательных работ

1. *Сопоставление* — образец правила сопоставляется с имеющимися фактами.

2. *Выбор* — если в конкретной ситуации может быть применено сразу несколько правил, то из них выбирается одно, наиболее подходящее по заданному критерию (разрешение конфликта).

3. *Срабатывание* — если образец правила при сопоставлении совпал с какими-либо фактами из рабочей памяти, то правило срабатывает.

4. *Действие* — рабочая память подвергается изменению путем добавления в нее заключения сработавшего правила. Если в правой части правила содержится указание на какое-либо действие, то оно выполняется.

Интерпретатор продукций работает циклически. В каждом цикле он просматривает все правила, чтобы выявить те, посылки которых совпадают с из-

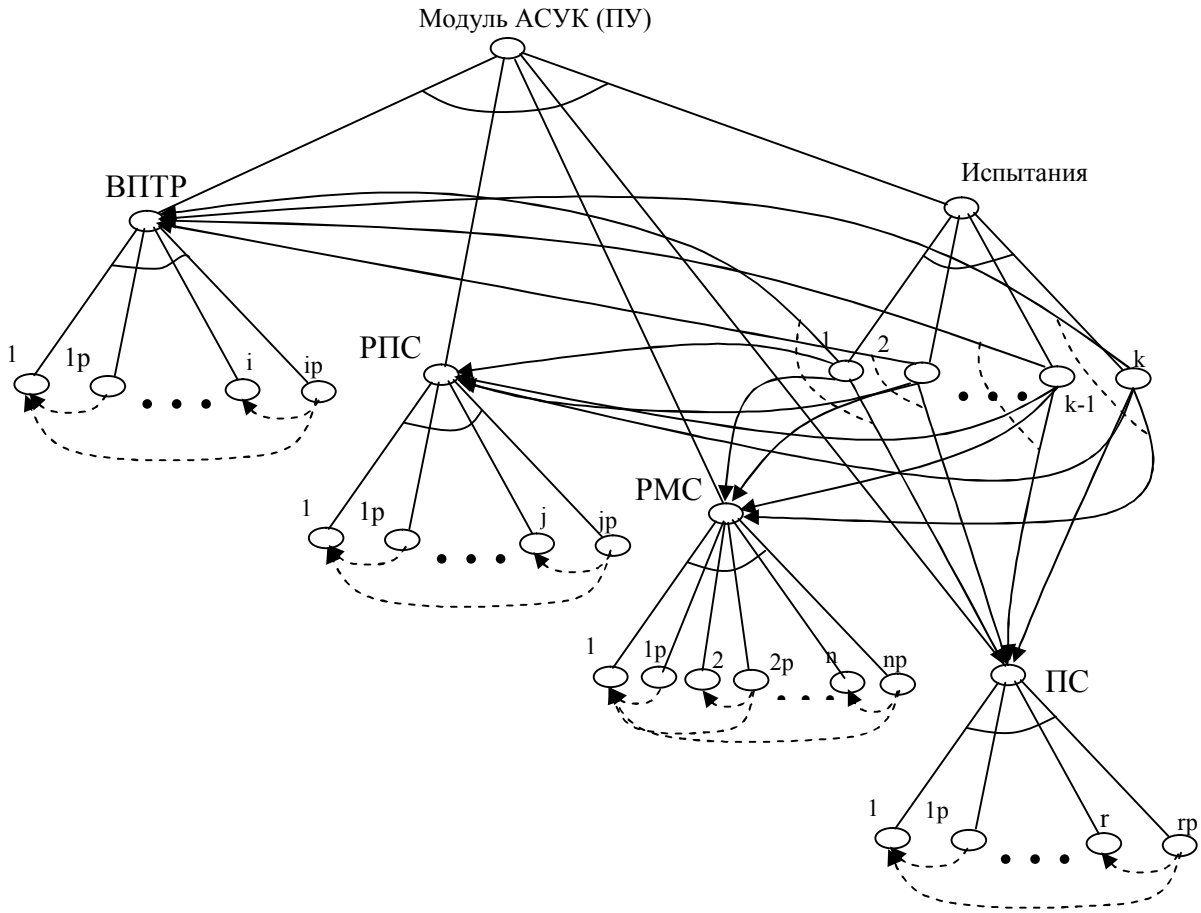
вестными на данный момент фактами из рабочей памяти. После выбора правило срабатывает, его заключение заносится в рабочую память, и затем цикл повторяется сначала.

В одном цикле может сработать только одно правило. Если несколько правил успешно сопоставлены с фактами, то интерпретатор производит выбор по определенному критерию единственного правила, которое срабатывает в данном цикле (см. рис. 4).

Таким образом, процесс вывода, основанный на поиске по образцу, состоит из четырех шагов:

- выбор образа (несоответствия);
- сопоставление образа с образцом и формирование конфликтного набора правил;
- разрешение конфликтов;
- выполнение правила.

Дерево вывода производства и испытания



Производство и испытания в виде продукций

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{A_{PC}^{PC} \wedge A_1^H, A_{PC}^{PC} \wedge \neg A_1^H, A_{PC}^{PC} \wedge \neg A_1^H, A_{PC}^{PC} \wedge \neg A_1^H, A_{PC}^{PC} \wedge \neg A_1^H}{A_{1u}^H, A_{ВПТР}^b, A_{RPC}^{RP}, A_{RMC}^{RM}, A_{PC}^{PC}} \\ \dots \\ \frac{A_{PC}^{PC} \wedge A_{1u}^H \wedge A_{2u}^H \wedge \dots \wedge A_{k-1}^H \wedge A_k^H, A_{PC}^{PC} \wedge A_{1u}^H \wedge A_{2u}^H \wedge \dots \wedge A_{k-1}^H \wedge \neg A_k^H, \dots}{A_u^H, A_{ВПТР}^b, \dots, A_{PC}^{PC}} \end{array} \right.$$

Рис. 3. Фрагмент формализованного описания производства и испытания

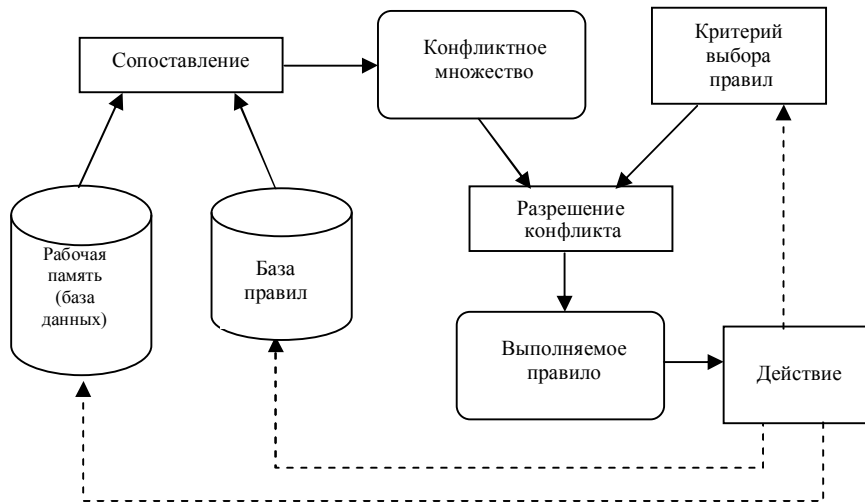


Рис. 4. Работа интерпретатора СППР

Порядок активизации правил конфликтного множества определяется выбранной стратегией разрешения конфликтов. В некоторых системах конфликтное множество правил представлялось в виде упорядоченного списка. При этом конфликтные правила дописывались в конец этого списка. Простые стратегии разрешения конфликтов основаны на том, что выбирается либо первое, либо последнее правило, входящее в список. Выбор первого правила соответствует поиску в ширину, а выбор последнего (только что добавленного) - поиску в глубину. Во многих продукционных системах чаще всего применяют второй способ.

Другими принципами, используемыми при разрешении конфликтов, являются [10]: принцип "стопки книг"; принцип наиболее длинного условия; принцип метапродукций; принцип приоритетного выбора.

В случае приоритетного выбора с каждой продукцией связывается статический или динамический приоритет  $Pr$  [10], определяющий порядок ее активизаций:

$$Rnj: (Pr, Bc, A \Rightarrow B, Ac),$$

где  $Rnj$  - идентификатор  $j$ -продукции в  $n$ -наборе продукций;  $Pr$  - приоритет правила продукции;  $Bc$  - предусловие применимости ядра продукции, представляющее предикат, при выполнении которого активизируется ядро продукции;  $Ac$  - постусловия продукции, определяющие действия и процедуры, которые необходимо выполнить после выполнения ядра продукции.

### Заключение

Применение фреймовых и продукционных моделей в СППР существенно сокращает временные и финансовые затраты на устранение дефектов и повышает качество производства изделия РЭА. Кроме этого накопленная статистика по дефектам позволит делать выводы о необходимости совершенствования системы качества предприятия.

### Литература

1. Байда Н. П., Шпилевой В. Т. Автоматизация производственного контроля в системе управления качеством гибридных узлов ЭВМ // АСУ технологическими процессами в промышленности. - К.: Знание. - 1977. - С. 16 - 18.
2. Лестер Р. С. Автоматическая контрольно-измерительная аппаратура для автоматической диагностики неисправностей: Препр. / Хертфордшиф, Англия: VIII конгресс ИМЕКО (21 - 27 мая 1979, Москва, СССР). - 1979. - С. 35 - 48.
3. Baida N.P., Shpilevoy V.T. Component Diagnostics of Hybrid Printed Circuit Boards // Proc. 3rd Symp. Techn. Diagnostics (Moscow, October 3 - 5). 1983. - ИМЕКО Secretariat. Budapest. - 1985. - P. 355-363.
4. Видершайн М. Н. Производственный контроль параметров элементов цифровой автоматики. - М.: Машиностроение, 1974. - 328 с.
5. Байда Н. П., Шпилевой В. Т. Формализация процесса проектирования систем поэлементного диагностирования // Тез. докл. науч.-техн. семинара «Методы и средства контроля и диагностики РЭА и ЭВА», 24 -25 мая 1982 г. - Пенза, 1982. - С. 24 - 26.
6. Алиев Р.А., Абинеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. - М.: Радио и связь, 1990. - 264 с.
7. Кокорева Л.В., Перевозчикова О.Л., Ющенко Е.Л. Диалоговые системы и представление знаний: Справочное пособие. - К.: Наук. думка, 1992. - 448 с.
8. Приобретение знаний / Под ред. С. Осуги, Ю. Саэки; Пер. с япон. - М.: Мир, 1990. - 304 с.
9. Кесс Ю.Ю. Анализ и синтез фреймовых моделей АСУ. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 168 с.
10. Искусственный интеллект: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Радио и связь, 1990. - Кн. 2: Модели и методы. - 304 с.

Поступила в редакцию 14.12.03

**Рецензент:** канд. техн. наук, доц. Е.А. Дружинин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков