

УДК 621.317

Формирование диагностической информации в виде фрагментов электрических схем радиоэлектронной аппаратуры

Анисимов О.В.*, Курчидис В.А.**

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны,

Московский проспект, 28, Ярославль, 150001, Россия

**e-mail: qwaker@inbox.ru*

***e-mail: idahmer2@yandex.ru*

Аннотация

Работа посвящена разработке структуры и основных компонентов метода информационной поддержки обслуживающего персонала при использовании комплекта электрических схем в процессе восстановления радиоэлектронной аппаратуры. Выполнено формирование множеств предметных понятий и отношений, используемых при представлении информации на электрических схемах. Используя полученное множество понятий предметной области, разработана фреймовая модель радиоэлектронной аппаратуры. Предложен способ формирования предметно-графического объектного описания радиоэлектронной аппаратуры, которое осуществляет согласование предметного и графического представления электрических схем радиоэлектронной аппаратуры на основе определенных объектно-графических шаблонов, названных паттернами.

Для работы с паттернами разработана модель и структура схемно-ориентированных запросов, которая позволяет в понятиях и терминах электрических схем представить условия, описывающие требуемые схемные

фрагменты. Разработан естественно-подобный язык для формирования таких запросов, а также способ их интерпретации. Данный способ основан на грамматическом и понятийно-схемном анализе предложений запроса и позволяет сформировать диагностическую информацию в виде требуемого схемного фрагмент.

Ключевые слова: процесс диагностирования, концептуальная модель, восстановление радиоэлектронной аппаратуры

Введение

Актуальность темы исследований. Наиболее трудоемким процессом при восстановлении сложных технических комплексов (СТК), слабо поддающимся автоматизации, является процесс диагностирования радиоэлектронной аппаратуры в составе таких комплексов. Для трудно автоматизируемых операций процесса диагностирования важное значение имеет развитие средств информационной поддержки (СИП), обеспечивающих формирование необходимой диагностической информации для обслуживающего персонала.

Анализ практики эксплуатации СТК показывает, что среднее время восстановления РЭА значительно превышает требуемое значение. Использование СИП в системах технической эксплуатации способствует сокращению времени восстановления, что приводит к повышению комплексных эксплуатационных показателей изделия, таких, как коэффициент готовности и коэффициент технического использования [1; 2; 0]. Это определяет **важное практическое значение** исследований, направленных на сокращение времени восстановления РЭА

СТК за счет совершенствование методов и средств автоматизации систем информационной поддержки, и обосновывает их **актуальность**.

Существенный вклад в значение времени восстановления вносит время выполнения операций процесса технического диагностирования, которые связаны с формированием диагностической информации в необходимом виде по имеющейся совокупности эксплуатационных документов на РЭА. Одним из источников диагностической информации (ДИ) об элементах РЭА и связях между ними выступает комплект электрических схем. При использовании электрических схем в процессе диагностирования целесообразно формировать диагностическую информацию в виде фрагментов электрических схем (СФ) для определения мест и причин отказа РЭА. Формирование диагностической информации в виде фрагментов электрических схем требует значительных временных затрат в связи с необходимостью проведения анализа большого количества электрических схем разных видов и типов, содержащихся в эксплуатационной документации на РЭА СТК.

При этом следует отметить, что даже переход к электронной форме представления электрических схем в существующих системах информационной поддержки не обеспечивают существенного выигрыша по времени формирования ДИ в виде фрагментов электрических схем, что ограничивает возможности существующих СИП по сокращению продолжительности технического диагностирования и времени восстановления РЭА СТК. Это отражает наличие **практического противоречия** между необходимостью сокращения времени восстановления СТК и большими временными затратами на формирование

диагностической информации в виде фрагментов электрических схем при восстановлении РЭА.

Выявленное практическое противоречие обуславливает **цель работы**: сокращение времени восстановления СТК за счет уменьшения времени формирования диагностической информации в виде фрагментов электрических схем РЭА.

Необходимо отметить, что проблемным вопросам обеспечения и повышения эксплуатационных показателей посвящен ряд исследований, в которых предложены модели РЭА и методы, направленные на сокращение времени диагностирования радиоэлектронной аппаратуры за счет алгоритмизации выполнения операций локализации отказа, распознавания вида отказа на основе диагностической информации [1; 0]. Структура существующих моделей РЭА (структурных, функциональных, параметрических и т.д.) хорошо согласуется с традиционными запросными системами извлечения данных из реляционных баз и обеспечивает высокую эффективность применения средств автоматизации информационной поддержки при формировании диагностической информации (*ДИ*).

В работе под термином «формирование диагностической информации», понимается выборка (извлечение) и объединение в определенном интегрированном виде элементов данных по условиям, определяющим требования к *ДИ*, необходимой при восстановлении РЭА. При этом могут использоваться различные виды представления диагностической информации: графики, диаграммы, схемы, таблицы, текст и т.д.

Анализ показывает, что существующие модели РЭА и запросные системы малоэффективны при необходимости формирования *ДИ* в виде фрагментов электрических схем [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Формирование такой диагностической информации в виде фрагментов электрических схем (*СФ*) осуществляется по совокупности условий \hat{U} , определяющих в соответствии с целью диагностирования структурно-функциональные свойства элементов РЭА в предметных терминах и понятиях, используемых при описании элементов РЭА в комплекте электрических схем \hat{S} . Отсутствие методов и средств автоматического формирования диагностической информации в виде фрагментов электрических схем приводит к необходимости использования большого числа запросов для выборки необходимых данных, что ограничивает возможности СИП по уменьшению продолжительности диагностирования и, соответственно, времени восстановления РЭА СТК.

Это позволяет сформулировать **противоречие в науке**: необходимость совершенствования методов информационной поддержки процесса диагностирования РЭА СТК на основе концептуального подхода и отсутствие метода формирования диагностической информации в виде фрагментов электрических схем по условиям, задаваемым в предметных понятиях и терминах естественного языка на основе формализованного представления РЭА.

Для совершенствования существующих СИП предлагается выполнить переход к концептуальным моделям РЭА, что позволяет формально оперировать с элементами РЭА и их структурно-функциональными свойствами в предметных

терминах и понятиях естественного языка. Это повышает информационную емкость запросов в СИП и приводит к сокращению числа запросов на выборку данных, необходимых для формирования *ДИ*.

Представление РЭА на основе электрических схем \hat{S} в понятиях и терминах естественного языка характеризуется рядом особенностей, которые обуславливают выбор модели РЭА с использованием фреймов в качестве основы для разработки концептуального модельного представления $KM_{PЭА}$ [0]. Понятийная основа $KM_{PЭА}$ при таком подходе формируется посредством концептуального анализа содержания совокупности документов эксплуатационных документов $\hat{D} \subseteq \check{D}$, где \check{D} - множество нормативных и эксплуатационных документов.

Особенность рассматриваемого подхода к информационной поддержке процесса диагностирования состоит в том, что диагностическая информация *ДИ* формируется в виде фрагментов электрических схем $C\Phi$ на основе концептуального модельного представления $KM_{PЭА}$ радиоэлектронной аппаратуры, согласованного с эксплуатационной документацией \hat{D} , по условиям \hat{Y} , определяющим на естественно-подобном языке *ЯЗ* структурно-функциональные свойства элементов диагностируемой аппаратуры:

$$ДИ = C\Phi(\hat{Y}, ЯЗ, KM_{PЭА}, \hat{D}). \quad (3)$$

На основании вышеизложенного и в соответствии с поставленной целью, решается следующая **научная задача**: разработка метода формирования диагностической информации в виде фрагментов электрических схем на основе

согласованного с эксплуатационной документацией концептуального модельного представления радиоэлектронной аппаратуры по условиям, определяющим на естественно-подобном языке структурно-функциональные свойства элементов диагностируемой аппаратуры.

Это позволяет определить компоненты, которые в совокупности составляют основу для разработки нового метода формирования *ДИ* в виде фрагментов электрических схем РЭА при восстановлении СТК. Разработка такого метода связана с решением новой научной задачи, формальная постановка которой имеет следующий вид:

$$M: ДИ = C\Phi(\hat{Y}, ЯЗ, KM_{РЭА}, \hat{D}) : \downarrow T_B(t_{ou}^{C\Phi}), \text{при } \hat{D} \subseteq \check{D}. \quad (4)$$

где M – метод формирования диагностической информации в виде фрагментов электрических схем РЭА при восстановлении зенитного ракетного вооружения,

$t_{ou}^{C\Phi}$ – время формирования диагностической информации в виде фрагментов

электрических схем РЭА.

Структура метода формирования диагностической информации

в виде фрагментов электрических схем радиоэлектронной аппаратуры

Структура метода формирования диагностической информации, основана на использовании моделей и способов работы с ними, которые учитывают предметный, графический и языковой аспекты представления и использования электрических схем с целью формирования диагностической информации в виде фрагментов электрических схем при восстановлении РЭА.

На рисунке 1 приведена общая структура метода, показаны основные компоненты метода и связи между ними. Основу разработанной структуры метода составляет совокупность моделей и способов работы с ними, которые учитывают предметный, графический и языковой аспекты формализованного представления и формирования диагностической информации в виде фрагментов электрических схем при восстановлении радиоэлектронной аппаратуры.

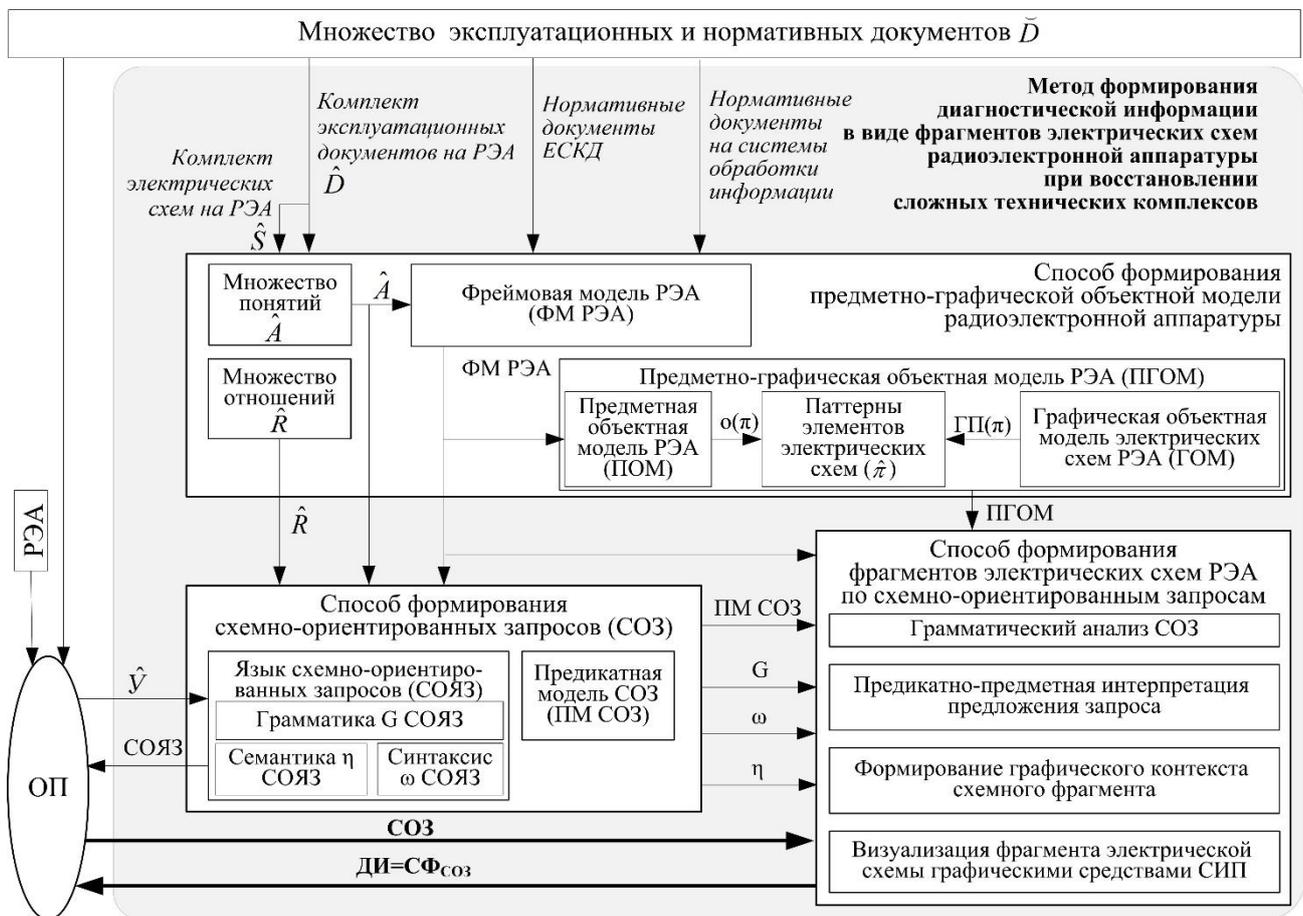


Рис. 1 — Общая структура метода формирования диагностической информации в виде фрагментов электрических схем радиоэлектронной аппаратуры

В соответствии с этим в разработанной структуре метода выделяется три компоненты, каждая из которых реализована в виде соответствующего способа.

Основной компонентой выступает способ формирования предметно-графической объектной модели радиоэлектронной аппаратуры. Он обеспечивает согласование концептуального и схемно-графического представления аппаратуры, выполненного в предметных понятиях и терминах естественного языка.

Разработанный метод основан на использовании запросов в системах информационной поддержки, в которых представление множества условий, определяющих структурно-функциональные свойства элементов радиоэлектронной аппаратуры осуществляется на естественно-подобном языке. Такие запросы предлагается называть схемно-ориентированными запросами, и способ формирования таких запросов выступает в качестве второй компоненты метода. Основой способа выступает предикатная модель, а также язык запросов, для которого разработана грамматика, синтаксис и семантика.

В качестве третьей компоненты метода выступает способ формирования фрагментов электрических схем, в котором осуществляется интеграция всех моделей, предложенных в работе. В этом способе на основе грамматического анализа и предикатно-предметной интерпретации схемно-ориентированного запроса формируется графический контекст фрагмента электрической схемы для его визуализации.

Способ формирования предметно-графической объектной модели радиоэлектронной аппаратуры

Способ формирования предметно-графической объектной модели радиоэлектронной аппаратуры направлен на решение задачи согласования понятийного и схемного представления РЭА. Данный способ представлен на

рисунке 2. В качестве исходного информационного ресурса в способе используется эксплуатационная документация \hat{D} , включающая комплект электрических схем $\hat{S} \subseteq \hat{D}$, а также нормативная документация ЕСКД на электрические схемы РЭА и системы обработки информации.

Концептуальный анализ электрических схем разных типов позволяет сформировать множества понятий \hat{A} и отношений \hat{R} , используемых при описании структурных и функциональных элементов РЭА. Формирование фреймов структурных элементов РЭА основывается на учете сущностного, ролевого и сценарного аспектов представления схемных элементов в предметных понятиях. В соответствии с этим фреймовую модель ФМ РЭА целесообразно формировать на основе множеств фреймов трех видов: фреймов-экземпляров Φ^1 , фреймов-ролей Φ^2 и фреймов-сценариев Φ^3 , причем для каждого вида фрейма правила построения имеют свои особенности: $\text{ФМ РЭА} = \Phi^1 \cup \Phi^2 \cup \Phi^3$ [0].

Фреймовая модель ФМ РЭА позволяет в предметных понятиях РЭА и электрических схем представить структурную, функциональную, идентификационную и параметрическую модели РЭА. Однако фреймовая модель не содержит средств, которые предназначены для графического объектного описания РЭА в виде электрической схемы. При этом следует отметить, что по своей структуре фреймовая модель хорошо согласуется с объектно-ориентированным подходом к моделированию и может быть использована для предметного объектного описания РЭА.

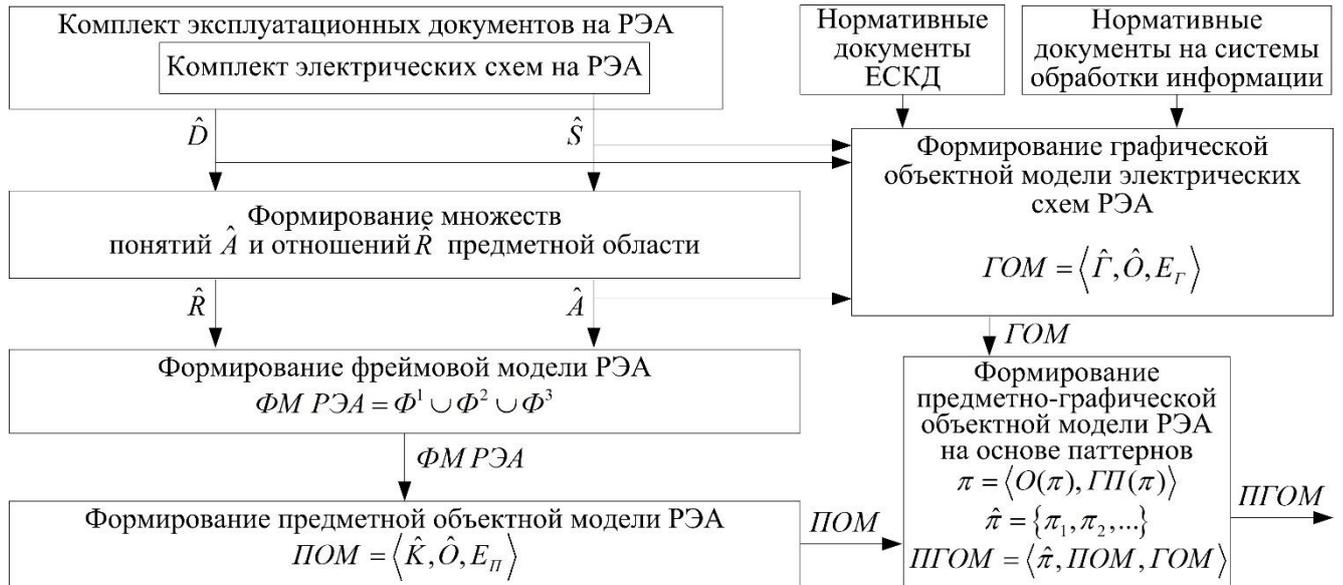


Рис. 2 — Структура способа формирования предметно-графической объектной модели PЭА

Для согласования графического представления элементов PЭА на электрических схемах с предметными понятиями, определенными на основе фреймовой модели, разработаны две модели: предметная объектная модель PЭА (ПОМ) и графическая объектная модель электрических схем PЭА (ГОМ), объединение которых осуществляется в рамках одной предметно-графической объектной модели (ПГОМ) PЭА.

Формирование моделей ПОМ и ГОМ представляет собой самостоятельную задачу, которая требует учета и взаимного согласования нескольких представлений PЭА в соответствии с принципами объектно-ориентированного подхода: предметного представления PЭА в виде ФМ PЭА, представления электрических схем PЭА графическими средствами СИП, а также графического представления структурных элементов PЭА на электрических схемах в соответствии с правилами

ЕСКД. Решение рассматриваемой задачи, с одной стороны, требует выделения из фреймовой модели ФМ РЭА элементов, имеющих законченный предметный смысл (блок, ячейка, разъем, маркировка и т.п.), а, с другой стороны, выделения на электрической схеме РЭА графических элементов, имеющих предметную смысловую нагрузку. Выделение таких элементов целесообразно выполнять в виде объектов, что определило название обоих вышеназванных моделей.

Предметная объектная модель устанавливает соответствие между объектами, определяемыми структурными элементами РЭА на электрических схемах, и предметными понятиями, связанными с этими объектами [0]. Для формирования ПОМ определяются классы объектов $K_j \in \hat{K}, j = \overline{1, Q_K}$, в соответствии с понятиями, используемыми в ФМ РЭА. На основе каждого из классов K_j формируется множество объектов $O(K_j)$, которые определяют соответствующие структурные элементы РЭА. В соответствии с этим ПОМ представляется в виде: $ПОМ = \langle \hat{K}, \hat{O}, E_{\Pi} \rangle$, где множество объектов $\hat{O} = O(K_1) \cup O(K_2) \cup \dots \cup O(K_{Q_K})$ определяет все элементы РЭА, а отображение $E_{\Pi} : \hat{K} \rightarrow \hat{O}$ определяется произведенной классификацией $O(K_j), j = \overline{1, Q_K}$.

Построение ГОМ связывается с представлением электрических схем средствами визуализации СИП, использующими графические примитивы вывода ГП. На основе правил построения графических элементов электрических схем $S \in \hat{S}$, изложенных в нормативных документах ЕСКД, определяется множество графических примитивов вывода $\hat{G} = \{ГП_1, ГП_2, \dots\}$, используемых для визуализации

объектов $o \in \hat{O}$. При этом с каждым объектом $o \in \hat{O}$ сопоставляется совокупность графических примитивов $ГП(o) \subseteq \hat{Г}$, которая формирует графический контекст $ГК(o)$ для визуализации одного объекта $o \in \hat{O}$. В соответствии с этим ГОМ представляется в виде: $ГОМ = \langle \hat{Г}, \hat{O}, A \rangle$, где отображение $A: \hat{Г} \rightarrow \hat{O}$ определяется совокупностью соответствий $ГП(o), o \in \hat{O}$.

Для совмещения понятийного и графического представления электрических схем предлагается использовать объектную модель схемных элементов на основе паттернов. Паттерны формируются для каждого типа схемных элементов с учетом их предметного объектного описания в ПОМ и используемых графических примитивов вывода из ГОМ. В соответствии с этим паттерн π формально представляется в виде двухэлементного кортежа, в котором одновременно отражены предметный и графический аспекты схемных элементов: $\pi = \langle O(\pi), ГП(\pi) \rangle$. Предметный аспект в структуре каждого паттерна π представляется набором объектов $O(\pi) \subseteq ПОМ$, а графический – набором примитивов $ГП(\pi) \subseteq ГОМ$.

Созданное таким образом множество паттернов $\hat{\pi} = \{\pi_1, \pi_2, \dots\}$ в совокупности с ПОМ и ГОМ определяет предметно-графическое объектное описание РЭА, которое целесообразно представить в виде предметно-графической объектной модели ПГОМ [0]:

$$ПГОМ = \langle \hat{\pi}, ПОМ, ГОМ \rangle. \quad (5)$$

Описание РЭА в виде ПГОМ создает основу для представления множества условий $\hat{У}$, определяющих структурно-функциональные свойства элементов РЭА

на естественно-подобном языке. Это позволяет формировать запросы с использованием конструкций естественно-подобного языка на выборку из баз соответствующих данных, которые необходимы для формирования диагностической информации в виде фрагментов электрических схем. Такие языковые запросы предлагается называть схемно-ориентированными запросами (СОЗ). Для формирования СОЗ предложен способ, представленный на рисунке 3, который основан на формализованном описании структуры запроса в рамках конструкций естественно-подобного языка.

Способ формирования схемно-ориентированных запросов

По своей структуре СОЗ является двухкомпонентным кортежем: $COZ = \langle K_{COZ}, \hat{Y}_{COZ} \rangle$, где K_{COZ} - исполняемая команда, а \hat{Y}_{COZ} - набор условий, определенных в запросе. Показана целесообразность использования предикатной формы записи условий $V_i \in \hat{Y}_{COZ} (i = \overline{1, q})$ на основе логики предикатов первого порядка. В соответствующих предикатных выражениях в качестве предметных переменных используются понятия естественного языка, определяемые слотами фреймовой модели ФМ РЭА, а в качестве предметных констант – понятия, определяющие значения соответствующих слотов. В предложенной предикатной модели ПМ СОЗ использование понятий естественного языка ограничивается, с одной стороны, предикатной формой записи, а, с другой стороны, требованием их согласования с позиций грамматических правил естественного языка [0].

Разработанная структура и правила формирования СОЗ позволяют определять условия $V_i \in \hat{Y}_{COZ} (i = \overline{1, q})$ на естественно-подобном языке, который предлагается

называть языком схемно-ориентированных запросов (СОЯЗ). Правила формирования условий определяются таким образом, что каждый последующий элемент запроса направлен на уточнение свойств термов, используемых в предыдущих элементах запроса. Для использования СОЯЗ в СИП разработаны правила построения предложений СОЗ на основе формальной контекстно-свободной грамматики G , представленной в форме записи Бэкуса-Наура.

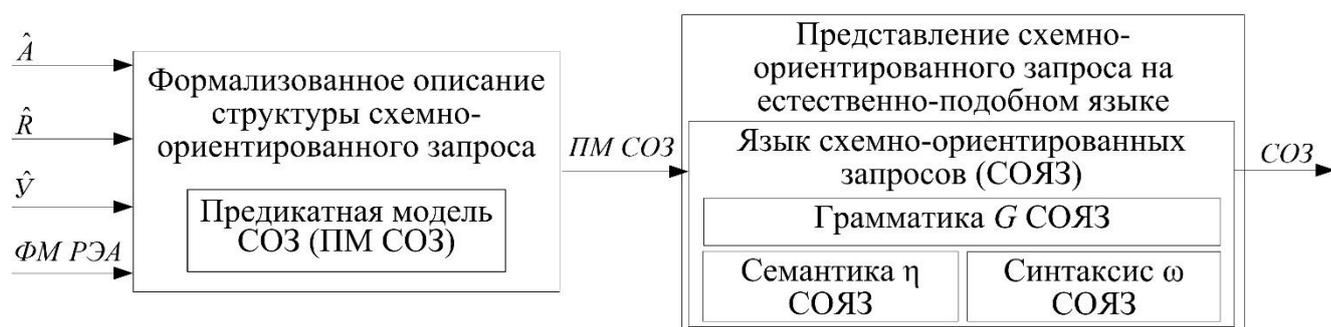


Рис. 3 — Структура способа формирования схемно-ориентированных запросов

Грамматика G языка СОЯЗ определяет не только синтаксис, но также и множество смыслов запросов с точки зрения предметной области (семантику языка). Совокупность синтаксических η и семантических ω правил грамматики G позволяет автоматически выполнять грамматический разбор СОЗ в СИП.

В качестве примеров запросов на таком языке могут служить следующие предложения: «Показать ячейку, которая входит в цепь прохождения сигнала А1, причем ячейка выполняет функцию синхронизации», «Скрыть блок, который содержит ячейку, которая включает разъем Ш1».

Способ формирования фрагментов электрических схем

Использование СОЗ определяет необходимость разработки способа формирования фрагментов электрических схем $S\Phi_{COЗ}$, удовлетворяющих условиям $\hat{Y}_{COЗ}$. С прикладной точки зрения формирование $S\Phi_{COЗ}$ осуществляется в соответствии с комплектом электрических схем \hat{S} и основывается на автоматическом анализе условий $Y_i \in \hat{Y}_{COЗ} (i = \overline{1, q})$, определяемых в запросах, а также на предметно-графической интерпретации СОЗ.

В предложенном способе формирования фрагментов $S\Phi_{COЗ}$ осуществляется интеграция всех моделей, предложенных в работе [0]. Это позволяет при интерпретации СОЗ отделить предметный аспект от графического аспекта представления РЭА, тесно связанного с визуализацией схем средствами отображения информации. Собственно визуализация электрических схем и их фрагментов решается стандартными средствами графических систем СИП.

Функционально способ формирования схемных фрагментов реализуется в виде последовательности алгоритмических процедур, представленных на рисунке 4. Формирование всякого фрагмента электрической схемы $S\Phi_{COЗ}$ реализуется путем выделения множества паттернов $\pi_{COЗ} \subseteq \hat{\pi}$, образующих понятийно-графическую основу фрагмента $S\Phi_{COЗ}$ по заданному СОЗ.

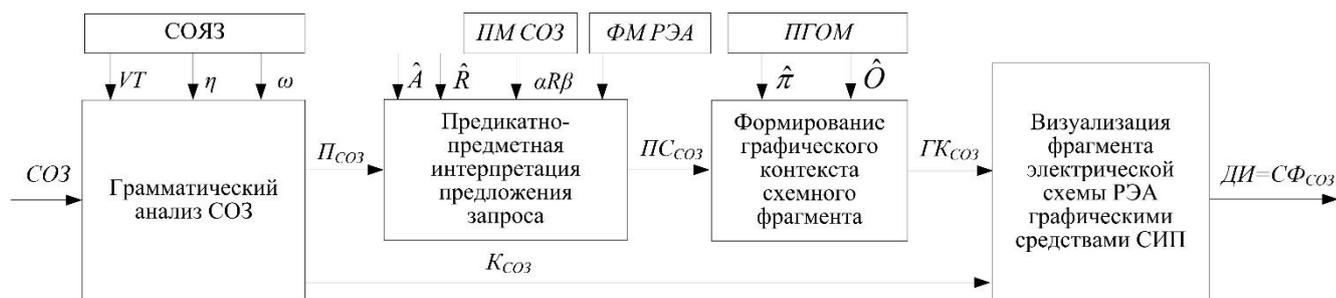


Рис. 4 — Структура способа формирования фрагментов электрических схем по схемно-ориентированным запросам [0]

На основе грамматического анализа в структуре СОЗ выделяется команда K_{CO3} и предложение Π_{CO3} , содержащее условия $Y_i \in \hat{Y}_{CO3} (i = \overline{1, q})$ запроса. Предикатно-предметная интерпретация предложения Π_{CO3} устанавливает его предметную корректность и формирует множество ΠC_{CO3} предикатных структур в предметных терминах, соответствующих условиям Y_{CO3} . Множество ΠC_{CO3} позволяет определить совокупность соответствующих объектов $O_{CO3} = \{o_{CO3}^1, o_{CO3}^2, \dots, o_{CO3}^m\}$, $O_{CO3} \subseteq ПОМ$, а также множество связанных с ними паттернов $\pi_{CO3} = \bigcup_{i=1}^m \pi(o_{CO3}^i)$.

Совокупность графических примитивов в структуре каждого паттерна определяет его графический контекст. В соответствии с этим графический контекст $ГК_{CO3}$ формируемого фрагмента $СФ_{CO3}$ формально определяется по следующему правилу: $ГК_{CO3} = \bigcup_{\pi \in \pi_{CO3}} ГП(\pi)$. Такое использование паттернов полностью определяют графический контекст $ГК_{CO3}$, достаточный для визуализации схемного фрагмента $СФ_{CO3}$ с помощью графических средств СИП.

Для экспериментальной проверки эффективности использования предлагаемого метода формирования диагностической информации разработан программный комплекс ПК-ИП, реализующий этот метод [0]. Программный комплекс состоит из модулей, на которые получены свидетельства о государственной регистрации программ. Эксперимент проводился применительно к реальной аппаратуре, для которой были разработаны соответствующие модели РЭА и выполнена проверка их адекватности. При этом в качестве показателя эффективности применения метода использовался выигрыш во времени при формировании диагностической информации в виде фрагментов электрических схем относительно времени формирования таких же фрагментов в существующих системах информационной поддержки. Общий эффект применения метода оценивался по улучшению значения времени восстановления РЭА.

Статистическая обработка результатов эксперимента показала, что использование метода позволяет сократить значение времени восстановления до 14%. Применительно к рассматриваемому образцу РЭА, для которого время восстановления в соответствие с эксплуатационной документацией составляет не более 60 минут, выигрыш составляет до 9 минут.

Заключение

Разработанная формализация и общая логика метода формирования диагностической информации в виде фрагментов электрических схем радиоэлектронной аппаратуры при восстановлении сложных технических комплексов создает основу для применения в СИП естественно-языковых, голосовых и текстовых интерфейсов для выполнения операций процесса

диагностирования, связанных с использованием электрических схем. Разработанный метод определяет направление совершенствования структур систем информационной поддержки, в которых реализуются мультимедийные интерфейсы, обеспечивающие совместное использование голосовых, текстовых и схемно-графических технологий при использовании электрических схем в процессе диагностирования РЭА.

Библиографический список

1. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. - М.: Радио и связь, 1988. - 256 с.

2. Быкадоров А.К., Кульбак Л.И., Лавриненко В.Ю., Рысейкин И.Н. Тихомиров В.Л. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Высшая школа, 1978. – 320 с.

3. Анисимов О.В., Курчидис В.А. Интерфейс информационной поддержки пользователей для работы с эксплуатационной документацией на основе моделей аппаратуры // Вестник воздушно-космической обороны. 2015. № 4(8). С. 5-10.

4. Анисимов О.В. Курчидис В.А., Попов Т.А. Концептуальное представление электрических схем радиоэлектронной аппаратуры на основе фреймовой модели // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 2. – С. 20–28.

5. Анисимов О.В., Курчидис В.А., Попов Т.А. Предметная объектная графическая модель электрических схем радиоэлектронной аппаратуры //

Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 5. С. 38–43.

6. Анисимов О.В., Курчидис В.А., Попов Т.А. Предикатная модель схемно-ориентированных запросов обслуживающего персонала в системах информационной поддержки // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 3. С. 30-36.

7. Анисимов О.В., Курчидис В.А., Попов Т.А. Способ формирования схемных фрагментов по голосовым запросам обслуживающего персонала в системах информационной поддержки // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 4. С. 28–34.

8. Анисимов О.В., Попов Т.А. Система информационной поддержки обслуживающего персонала в цикле восстановления радиоэлектронной аппаратуры на основе высокоуровневых языковых интерфейсов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, №2015615543, 20.05.15.

9. Спиридонов И.Б. Метод анализа контролепригодности эксплуатационной модели самолета // Труды МАИ. 2015. №83. URL: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=62029>

10. Мусабаев Т.А., Рождественский А.В., Милуков И.А. Особенности восстановления систем наземного оборудования ракетно-космического комплекса // Труды МАИ. 2012. №56. URL: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=30145>