

УДК 004.3

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-107-120

EDN: RBUDBB

Автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратных комплексов

Д. В. Тихонов

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Ярославский филиал)
150003, Россия, г. Ярославль, ул. Кооперативная, 12а

Аннотация. Поддержание работоспособности и своевременное восстановление после отказа радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) программно-аппаратных комплексов (ПАК) является важной задачей. Данную задачу на этапе эксплуатации, как правило, решает система технического диагностирования. Для информационной поддержки обслуживающего персонала при выполнении ими задач технического диагностирования разрабатывается диагностическая модель, которая входит в состав диагностического обеспечения изделия. Очевидным преимуществом при выполнении операций технического диагностирования является автоматизация информационной поддержки обслуживающего персонала при техническом диагностировании с применением вычислительных систем. По результатам проведенных исследований в статье предложена автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования на основе объектно-диагностической декомпозиции радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратного комплекса, которая позволяет существенно сократить среднее время поиска диагностической информации в процессе восстановления РЭА.

Ключевые слова: объектно-диагностическая модель, автоматизация информационной поддержки, радиоэлектронная аппаратура, программно-аппаратные комплексы

Поступила 09.04.2025, одобрена после рецензирования 22.04.2025, принята к публикации 05.05.2025

Для цитирования. Тихонов Д. В. Автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратных комплексов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 3. С. 107–120. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-107-120

MSC: 68M15

Original article

Automated information support in technical diagnostics for radio-electronic equipment within software and hardware complexes

D.V. Tikhonov

Financial University under the Government of the Russian Federation (Yaroslavl branch)
150003, Russia, Yaroslavl, 12a Cooperative street

Abstract. Maintaining serviceability and timely recovery from failure of radio-electronic equipment (REA) within software-hardware complexes (SHC) is an important task. This task at the operation stage is usually solved by the technical diagnostics. A diagnostic model is being developed to provide computer specialists with information support during performing technical diagnostic tasks. This model is part of the product's diagnostic support. One clear benefit of using computer systems for technical diagnostics is that it makes information support for the computer specialists automatic. According to the results of the conducted researches

the automated information support in technical diagnostics is offered grounded on the object-diagnostic decomposition of radio-electronic equipment within software-hardware complex, which allows to significantly reduce the average search time for diagnostic information in the EE restoring process.

Keywords: object-diagnostic model, automation of information support, electronic equipment, software and hardware systems

Submitted 09.04.2025,

approved after reviewing 22.04.2025,

accepted for publication 05.05.2025

For citation. Tikhonov D.V. Automated information support in technical diagnostics for radio-electronic equipment within software and hardware complexes. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 3. Pp. 107–120. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-107-120

ВВЕДЕНИЕ

Стратегией развития электронной промышленности России на период до 2030 г. предусмотрено создание отечественных программно-аппаратных комплексов, обеспечивающих реализацию сквозных технологий. С появлением на рынке в ходе импортозамещения новых отечественных программных и аппаратных продуктов остро стоит проблема обеспечения не только их совместимости, но и надежности с точки зрения эксплуатации. Данные обстоятельства определяют новые требования к поддержанию показателей надежности РЭА программно-аппаратных комплексов на заданном уровне. С точки зрения восстановления эту задачу решает система технического диагностирования (СТД) [1, 2].

Сегодня на оперативность функционирования СТД существенное влияние оказывают следующие компоненты (рис. 1): 1) диагностическая модель (ДМ) РЭА; 2) обслуживающий персонал (ОП); 3) средства технического диагностирования РЭА.

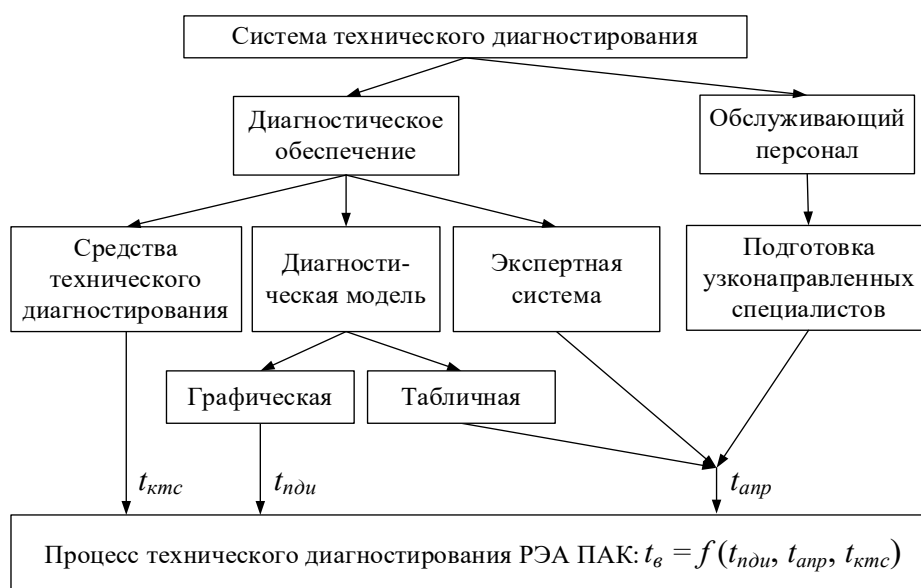


Рис. 1. Декомпозиция системы технического диагностирования:

t_{kmc} – время послеремонтного контроля технического состояния РЭА,

t_{ndu} – время поиска диагностической информации в процессе восстановления РЭА,

t_{anp} – время анализа и принятия решения обслуживающим персоналом в процессе восстановления РЭА

Fig. 1. Decomposition of the technical diagnostics system:

t_{kts} – time of post-repair monitoring of the technical condition of the electronic equipment,

t_{pdi} – time of searching for diagnostic information in the process of restoring the electronic equipment,

t_{apn} – time of analysis and decision-making by the service personnel in the process of restoring the electronic equipment

Решение задач технического диагностирования осуществляется с использованием диагностической модели программно-аппаратного комплекса. Диагностическая модель входит в состав эксплуатационной документации (ЭД) и поставляется в двух формах: табличной и графической.

Табличная модель описывает признаки некоторых (типовых) отказов с указанием возможных неработоспособных элементов аппаратуры, то есть выдает рекомендации обслуживающему персоналу по локализации отказа. В результате уменьшается объем анализируемой им информации и тем самым облегчается процесс принятия решения. Следовательно, сокращается время $t_{анп}$ при восстановлении РЭА (см. рис. 1).

Графическая ДМ представляет собой комплект электрических схем (ЭС) различного типа. Они содержат сведения, достаточные как для изучения устройства и принципов функционирования аппаратуры, так и для ее восстановления в случае отказа. Данная модель обеспечивает информационную поддержку обслуживающему персоналу для локализации любого отказа РЭА. Поэтому в каждой конкретной ситуации необходимо найти в ней требуемую информацию, проанализировать ее и принять решение по поиску неработоспособных элементов аппаратуры [4].

Диагностическая модель аппаратуры сложных технических систем, в том числе аппаратных комплексов, выполнена на бумажном материале и, как следствие, занимает большой объем. Исходя из этого, время поиска диагностической информации $t_{нду}$ в ДМ графического вида оказывает существенное влияние на оперативность процесса локализации отказа радиоэлектронной аппаратуры, особенно сложной (см. рис. 1).

Кроме того, оперативность восстановления РЭА зависит также от обслуживающего персонала. Чем лучше подготовлен ОП или, другими словами, чем выше его квалификация, тем меньше требуется ему времени на анализ диагностической информации и принятие решения по локализации отказа $t_{анп}$. Помощь эксперта по эксплуатации конкретного образца техники также позволила бы сократить это время. В качестве эксперта может быть применена система искусственного интеллекта, в частности экспертная система (см. рис. 1).

Восстановление работоспособности изделия заканчивается послеремонтным контролем технического состояния составных частей или изделия в целом. При этом задействованы внешние и встроенные средства технического диагностирования. Первые в процессе диагностирования требуют дополнительного времени на подготовку к работе и подключения к точкам снятия информации. В результате время контроля $t_{кмс}$ зависит от соотношения встроенных (контрольно-диагностической части РЭА) и внешних средств диагностирования при неизменной глубине контроля (см. рис. 1).

Таким образом, основными возможными направлениями сокращения среднего времени восстановления РЭА являются (см. рис. 1):

- 1) уменьшение времени послеремонтного контроля технического состояния аппаратуры за счет увеличения объема ее контрольно-диагностической части – $t_{кмс}$;
- 2) уменьшение времени поиска диагностической информации за счет совершенствования ДМ РЭА графического вида – $t_{нду}$;
- 3) уменьшение времени анализа диагностической информации и принятия решения обслуживающим персоналом за счет подготовки высококвалифицированных узконаправленных специалистов, применения экспертных систем и совершенствования табличной диагностической модели РЭА – $t_{анп}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ этих направлений показал, что наиболее рациональным и перспективным является **второе направление**. Следовательно, сокращение t_e целесообразно осуществлять путем уменьшения среднего времени поиска ДИ. Очевидным решением данной задачи является автоматизация информационной поддержки обслуживающего персонала при техническом диагностировании с применением вычислительных систем. В результате исследований предложена автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования, основанная на *методе организации информационной поддержки технического диагностирования на основе объектно-диагностической декомпозиции радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратного комплекса*. Метод включает [5]:

- 1) метод объектно-диагностического анализа радиоэлектронной аппаратуры;
- 2) объектно-диагностическую модель радиоэлектронной аппаратуры;
- 3) метод формализованного описания радиоэлектронной аппаратуры с помощью объектно-диагностической модели;
- 4) функциональную структуру системы информационной поддержки технического диагностирования радиоэлектронной аппаратуры на основе реляционных баз данных.

Метод объектно-диагностического анализа [6, 7] заключается в следующем: в радиоэлектронной аппаратуре выделяются структурные единицы (объекты) диагностирования – устройства, функциональные группы, элементы, контакт-детали, участки электрических цепей – и определяются взаимосвязи между ними – часть, неразборная часть, участвует в образовании, место расположения, контактное соединение, а также их идентификационные атрибуты – обозначение, наименование, тип, основной документ, конструктивное расположение – и описательные атрибуты – технические данные, эксплуатационные данные, адрес присоединения, диаграмма сигнала. В результате применения этого метода радиоэлектронная аппаратура может быть представлена в виде объектно-диагностической структуры (рис. 2). Данная структура позволяет сформулировать требования к формализованному описанию РЭА. Модель аппаратуры должна учитывать структурные единицы (объекты) диагностирования, идентификационные и описательные атрибуты и связи между ними. Такая модель названа объектно-диагностической моделью (ОДМ) РЭА [8].

В общем случае структура любой системы может быть представлена моделью вида

$$\Psi = \langle M, S \rangle, \quad (1)$$

где M – множество элементов (объектов) системы, **носитель** модели; $S = \{ R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1n_1}; R_{21}, R_{22}, \dots, R_{2n_2}, \dots, R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{in_i}, \dots, R_{m1}, R_{m2}, \dots, R_{mn_m} \}$ – заданные в множестве M отношения $R_{in_i}, R_{in_i} \subset M^i$, характеризующие взаимосвязи объектов системы, $i=1, m$ – арность отношения, n_i – количество отношений арности i . Другими словами, S – это множество отношений R_{in_i} или **сигнатура** модели. Угловыми скобками $\langle \rangle$ обозначено понятие совокупности.

Модель (1) применена для формализации объектно-диагностической структуры РЭА. В результате под объектно-диагностической моделью радиоэлектронной аппара-

туры Ψ будем понимать совокупность множества M с заданными в нем отношениями R_{in_i} , $R_{in_i} \subset M^i$. В процессе исследований [9] обоснована структура носителя и сигнатуры ОДМ.

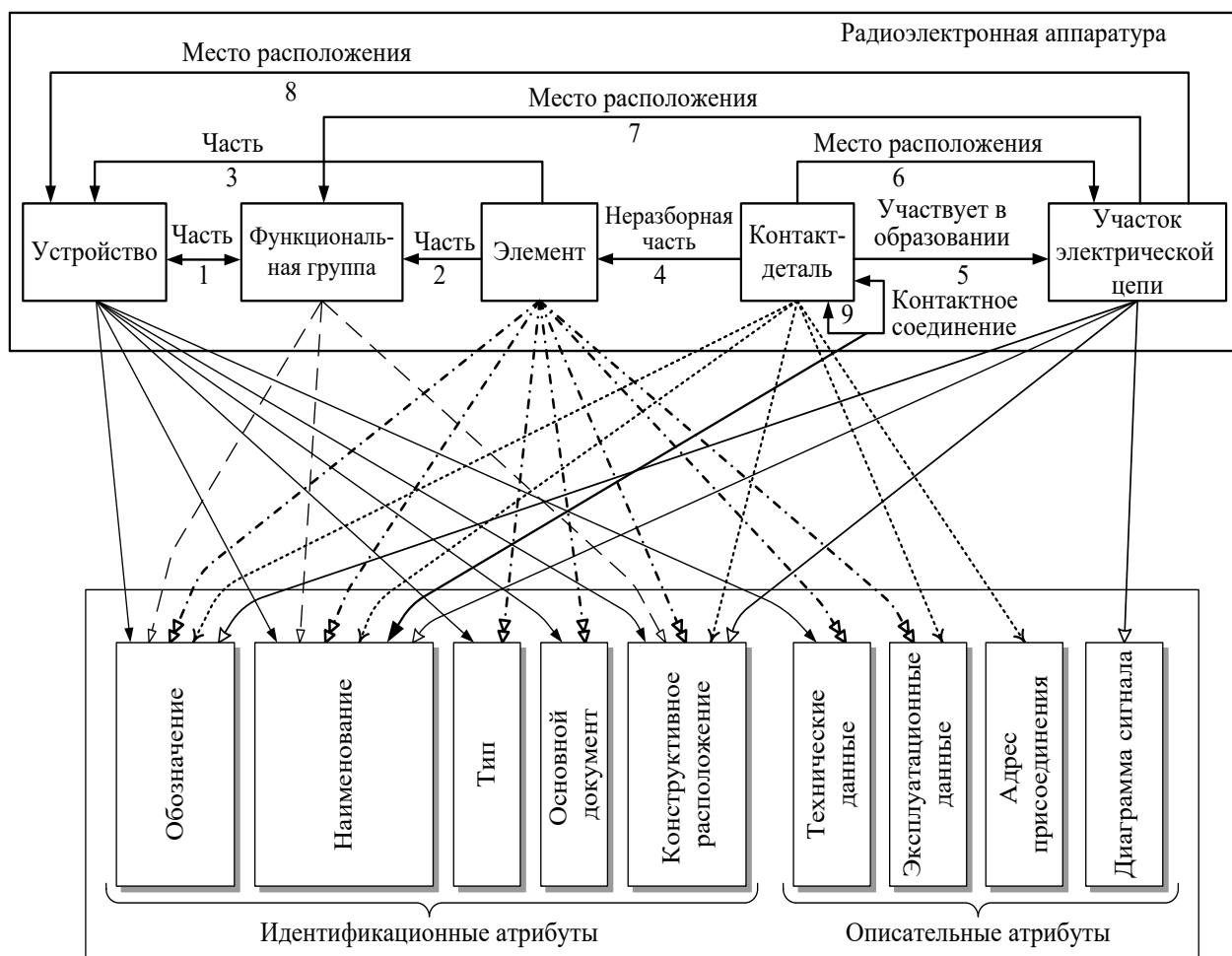


Рис. 2. Объектно-диагностическая структура РЭА ПАК

Fig. 2. Object-diagnostic structure of the REA PAK

Формализацию структурных единиц диагностирования, а также их идентификационных и описательных атрибутов обеспечивают множества [6, 10]:

F – множество структурных единиц диагностирования;

O – множество значений атрибута «Обозначение»;

N – множество значений атрибута «Наименование»;

T – множество значений атрибута «Тип»;

D – множество значений атрибута «Основной документ»;

J – множество значений атрибута «Конструктивное расположение»;

P – множество значений атрибута «Технические данные»;

X – множество значений атрибута «Эксплуатационные данные»;

A – множество значений атрибута «Адрес присоединения»;

H – множество значений атрибута «Диаграмма сигнала».

Данные множества образуют носитель модели:

$$\begin{aligned}
M = \{ & F, O, N, T, D, J, P, X, A, H \} = \\
= \{ & f_1, f_2, \dots, f_{i_f}, \dots, f_{n_f}; o_1, o_2, \dots, o_{i_o}, \dots, o_{n_o}; n_1, n_2, \dots, n_{i_n}, \dots, n_n; \\
& t_1, t_2, \dots, t_{i_t}, \dots, t_{n_t}; d_1, d_2, \dots, d_{i_d}, \dots, d_{n_d}; j_1, j_2, \dots, j_{i_j}, \dots, j_{n_j}; \\
& p_1, p_2, \dots, p_{i_p}, \dots, p_{n_p}; \\
& x_1, x_2, \dots, x_{i_x}, \dots, x_{n_x}; a_1, a_2, \dots, a_{i_a}, \dots, a_{n_a}; h_1, h_2, \dots, h_{i_h}, \dots, h_{n_h} \}. \quad (2)
\end{aligned}$$

Формализацию связей структурных единиц диагностирования и атрибутов обеспечивает совокупность следующих отношений:

$$\begin{aligned}
R_{21} = \{ & (f_{i_f}, p_{i_p}) / f_{i_f} \in F; p_{i_p} \in P; \text{технические данные устройства или} \\
& \text{элемента } f_{i_f} - p_{i_p} \}, R_{21} \subset F \times P; \\
R_{22} = \{ & (f_{i_f}, x_{i_x}) / f_{i_f} \in F; x_{i_x} \in X; \text{эксплуатационные данные элемента} \\
& f_{i_f} - x_{i_x} \}, R_{22} \subset F \times X; \\
R_{23} = \{ & (f_{i_f}, f_{j_f}) / f_{i_f}, f_{j_f} \in F; \text{элемент } f_{i_f} \text{ часть устройства или } \Phi\Gamma f_{j_f} \}, \\
& R_{23} \subset F^2; \\
R_{24} = \{ & (o_{i_o}, h_{i_h}) / o_{i_o} \in O; h_{i_h} \in H; \text{диаграмма сигнала на участке цепи } o_{i_o} - \\
& h_{i_h} \}, R_{24} \subset O \times H; \\
R_{31} = \{ & (f_{i_f}, o_{i_o}, x_{i_x}) / f_{i_f} \in F; o_{i_o} \in O; x_{i_x} \in X; \text{эксплуатационные данные} \\
& \text{контакт-детали } o_{i_o} \text{ элемента } f_{i_f} - x_{i_x} \}, R_{31} \subset F \times O \times X; \\
R_{32} = \{ & (o_{i_o}, n_{i_n}, j_{i_j}) / o_{i_o} \in O; n_{i_n} \in N; j_{i_j} \in J; o_{i_o} - \text{цепь } n_{i_n}, \text{ расположена} \\
& \text{в изделии } j_{i_j} \}, R_{32} \subset O \times N \times J; \\
R_{33} = \{ & (o_{i_o}, n_{i_n}, f_{i_f}) / o_{i_o} \in O; n_{i_n} \in N; f_{i_f} \in F; \text{цепь } o_{i_o} - n_{i_n} \text{ устройства} \\
& \text{или } \Phi\Gamma f_{i_f} \}, R_{33} \subset O \times N \times F; \\
R_{41} = \{ & (f_{i_f}, o_{i_o}, o_{j_o}, a_{i_a}) / f_{i_f} \in F; o_{i_o}, o_{j_o} \in O; a_{i_a} \in A; \text{адрес присоединения} \\
& \text{контактной части } o_{j_o} \text{ контакт-детали } o_{i_o} \text{ элемента } f_{i_f} - a_{i_a} \}, \\
& R_{41} \subset F \times O \times O \times A; \\
R_{61} = \{ & (f_{i_f}, o_{i_o}, n_{i_n}, t_{i_t}, d_{i_d}, j_{i_j}) / f_{i_f} \in F; o_{i_o} \in O; n_{i_n} \in N; t_{i_t} \in T; d_{i_d} \in D; \\
& j_{i_j} \in J; \Phi\Gamma f_{i_f} - \text{это } n_{i_n} t_{i_t} d_{i_d}, \text{ позиционное обозначение } o_{i_o}, \\
& \text{расположена в изделии } j_{i_j} \}, R_{61} \subset F \times O \times N \times T \times D \times J; \\
R_{62} = \{ & (f_{i_f}, o_{i_o}, n_{i_n}, n_{j_n}, o_{j_o}, j_{i_j}) / f_{i_f} \in F; o_{i_o}, o_{j_o} \in O; n_{i_n}, n_{j_n} \in N; j_{i_j} \in J; \\
& \text{контакт-деталь } o_{i_o} \text{ элемента } f_{i_f} - \text{это } n_{i_n}, n_{j_n} \text{ цепи } o_{j_o},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{расположена в изделии } j_{i_j} \}, R_{62} \subset F \times O \times N \times N \times O \times J; \\
R_{71} = & \left\{ (f_{i_f}, o_{i_o}, o_{j_o}, f_{j_f}, o_k, o_m, n_{i_n}) / f_{i_f}, f_{j_f} \in F; o_{i_o}, o_{j_o}, o_k, o_m \in O; n_{i_n} \in N; \right. \\
& \text{контактная часть } o_{j_o} \text{ контакт-детали } o_{i_o} \text{ элемента } f_{i_f} \text{ соединена} \\
& \text{с контактной частью } o_m \text{ контакт-детали } o_k \text{ элемента } f_{j_f}, \\
& \left. \text{контактное соединение } n_{i_n} \right\}, R_{71} \subset F \times O \times O \times F \times O \times O \times N.
\end{aligned}$$

Данные отношения образуют сигнатуру модели:

$$S = \{ R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{41}, R_{61}, R_{62}, R_{71} \}. \quad (3)$$

С учетом (2) и (3) объектно-диагностическая модель РЭА будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
\Psi = \langle \dot{I}, S \rangle = \langle \{ F, O, N, T, D, J, P, X, A, H \}, \\
\{ R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{41}, R_{61}, R_{62}, R_{71} \} \rangle. \quad (4)
\end{aligned}$$

Метод формализованного описания радиоэлектронной аппаратуры с использованием объектно-диагностической модели разделен на три этапа [11] (рис. 3).

Первый этап. Подбор и анализ необходимой технической документации, подготовка моделируемого изделия.

Второй этап. Создание носителя объектно-диагностической модели радиоэлектронной аппаратуры. Данный этап включает две задачи: 1) формирование множества структурных единиц диагностирования; 2) формирование множеств значений атрибутов структурных единиц диагностирования.

Третий этап. Создание сигнатуры ОДМ РЭА. Он включает четыре задачи: 1) формирование отношений идентификации структурных единиц диагностирования; 2) формирование отношений дополнительной характеристики структурных единиц диагностирования; 3) формирование отношений взаимосвязей структурных единиц диагностирования; 4) формирование отношения соединений контакт-деталей элементов.

Применение данного метода позволяет получить объектно-диагностическую модель (4) для любой РЭА, что обеспечивает решение задачи автоматизации информационной поддержки технического диагностирования ПАК.

Иерархия радиоэлектронной аппаратуры и структура объектно-диагностической модели определили функциональную структуру автоматизированной системы информационной поддержки технического диагностирования, основу которой составляют банк данных изделия, включающий базы данных устройств данного изделия (рис. 4), и база данных, в которой хранится информация о структурной иерархии изделия [6] (рис. 5).

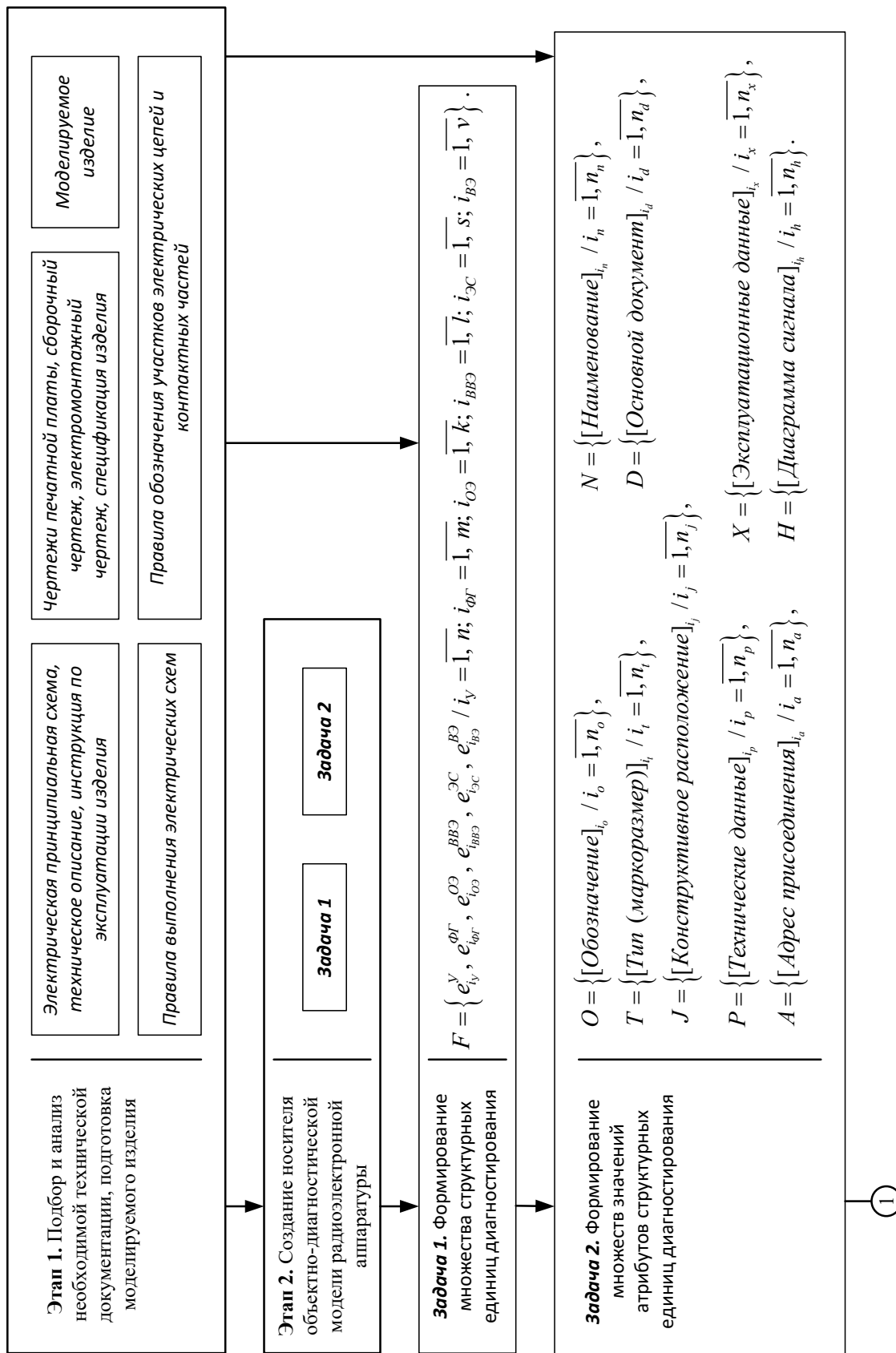


Рис. 3. Метод формализованного описания радиоэлектронной аппаратуры

Fig. 3. Method of formalized description of radio-electronic equipment

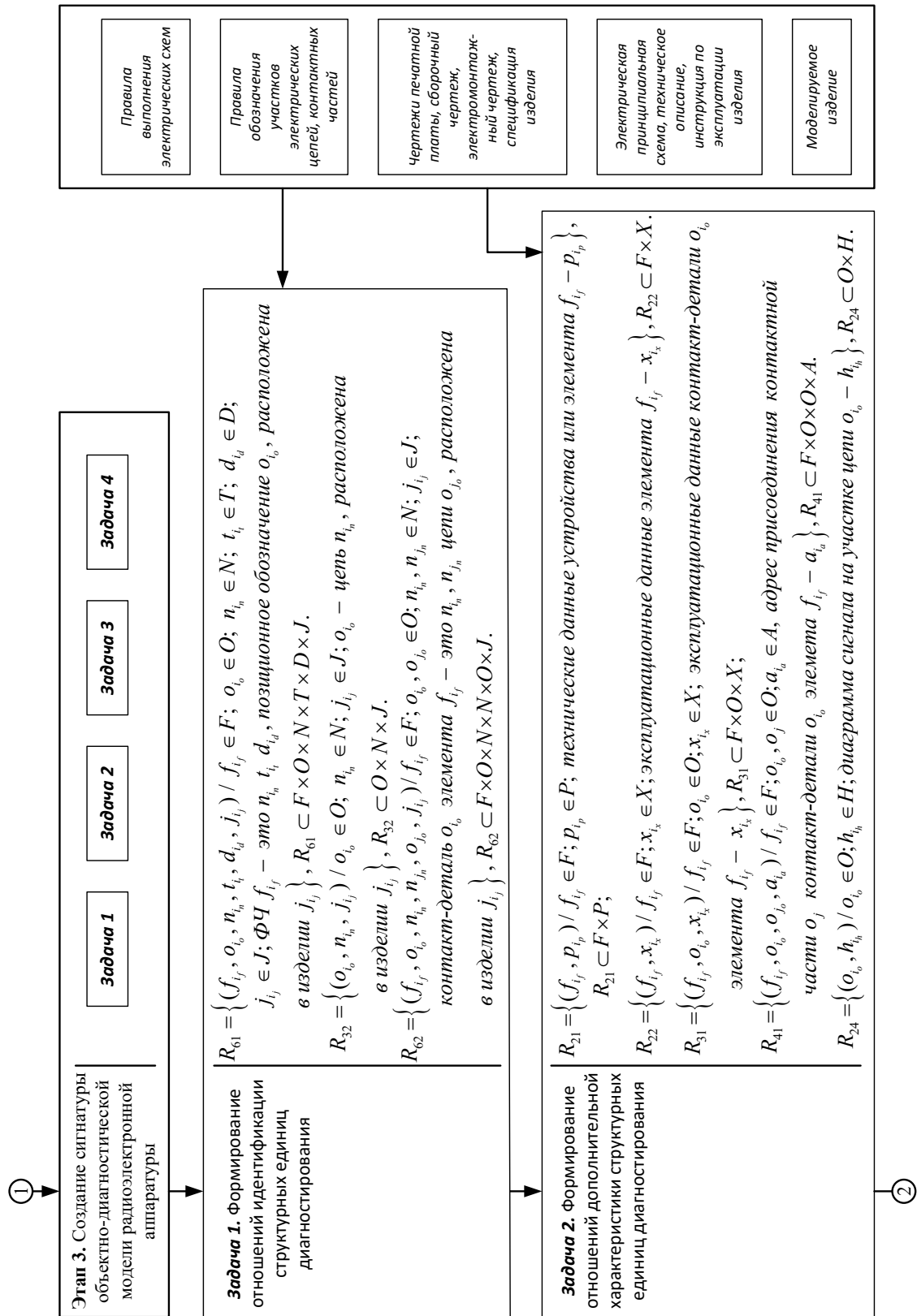


Рис. 3. Продолжение / Fig. 3. Continuation

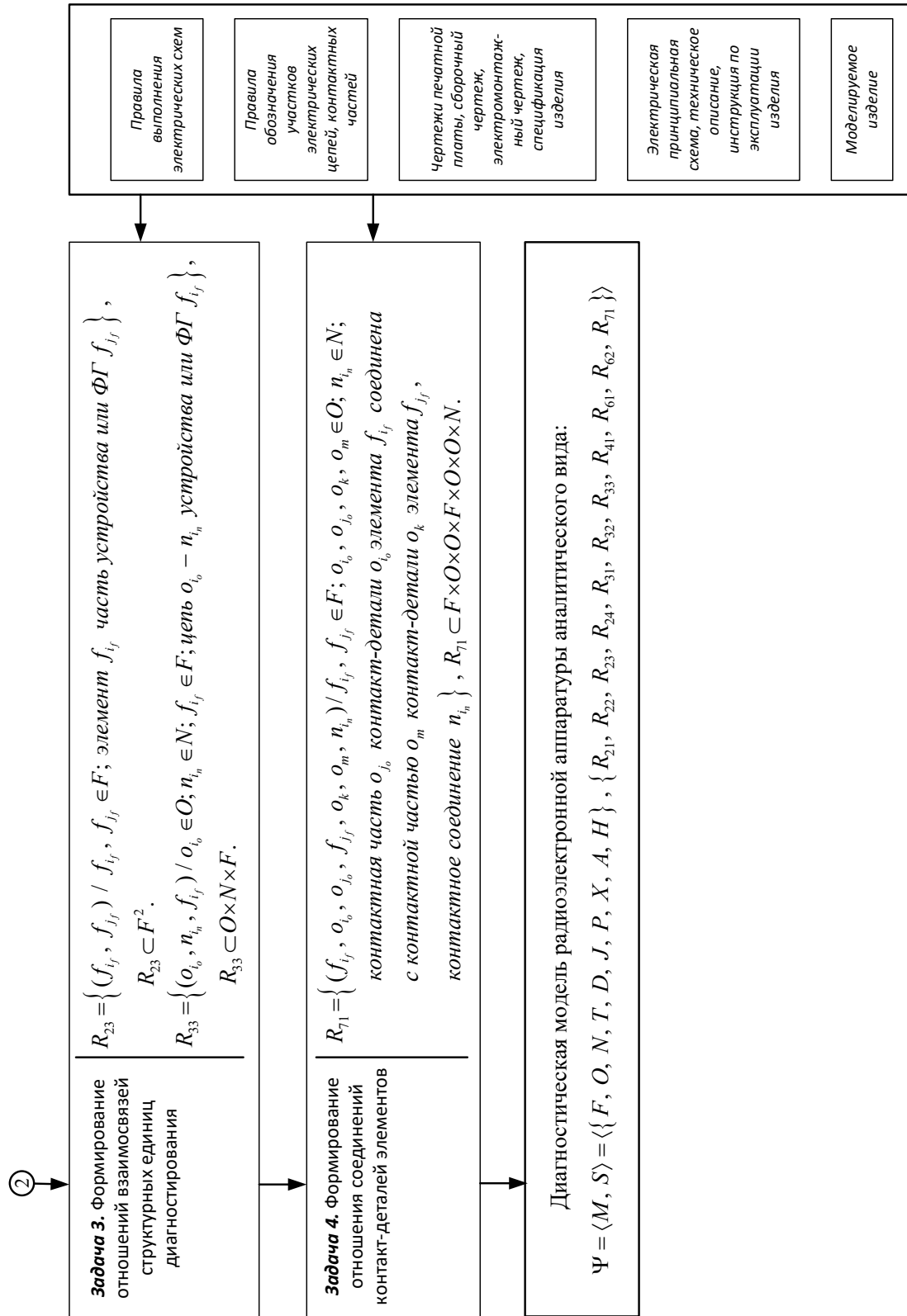


Рис. 3. Окончание / Fig. 3. End

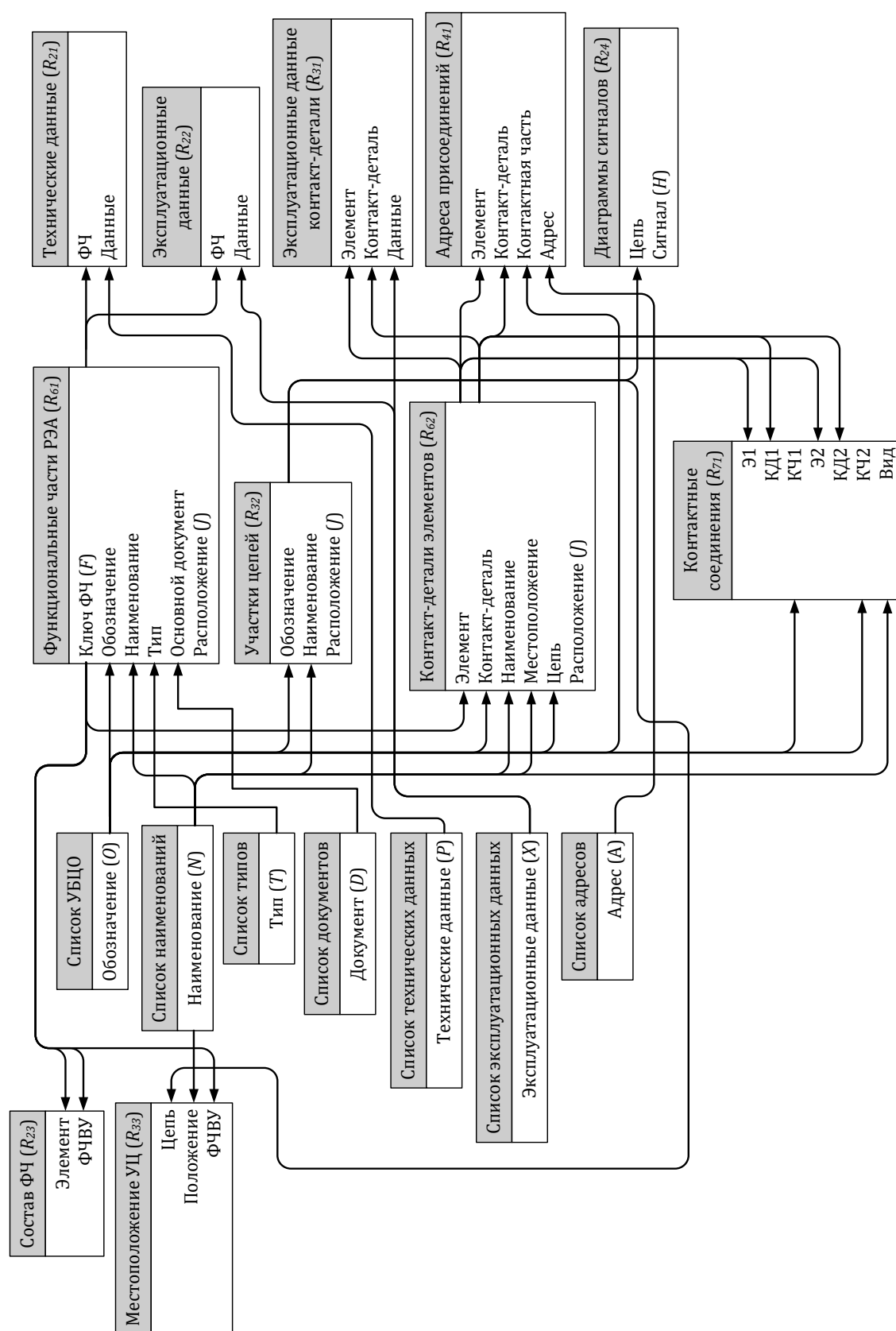


Рис. 4. Состав базы данных устройства / Fig. 4. Composition of the device database

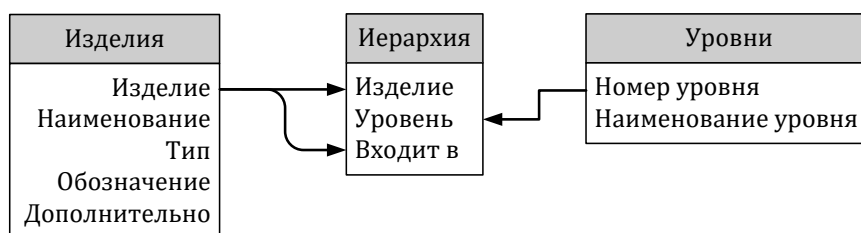


Рис. 5. Состав базы данных структурной иерархии изделия

Fig. 5. Composition of the product structural hierarchy database

Данная автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования [11] была апробирована на радиоэлектронной аппаратуре программно-аппаратного комплекса навигационной системы. В результате ее применения получены и обработаны статистические данные по времени поиска диагностической информации.

При проведении эксперимента установлено, что среднее время поиска диагностической информации в электрических схемах аппаратуры ПАК составляет 1,57 минуты, а в автоматизированной системе информационной поддержки – 0,26 минуты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенная автоматизированная система информационной поддержки технического диагностирования радиоэлектронной аппаратуры программно-аппаратных комплексов позволяет в целом существенно сократить среднее время поиска диагностической информации в процессе восстановления РЭА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панков Д. А. Способы и алгоритмы тестирования программно-аппаратных комплексов на основе имитации неисправностей: дисс. ... канд. техн. наук. 05.13.01. 153 с.
2. Будко П. А., Винограденко А. М., Меженев А. В., Чикирев А. А. Способ и устройство интеллектуального экспресс-контроля технического состояния наземных средств связи и радиотехнического обеспечения полетов // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 235–283. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10108
3. Галеев А. П., Майоров А. А., Семенцов С. Г., Семенов В. Т. Оценка надежности информационно-диагностического компьютерного комплекса // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2016. Т. 152. № 3. С. 39–50. EDN: XXJBRB
4. Hwang B.G., Shan M., Looi K.Y. Developing a Knowledge-based decision support system for prefabricated prefinished volumetric construction // Automation in Construction. 2018. Vol. 94. Pp. 168–178. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.06.016
5. Кузнецов О. И., Рысин А. И. Контроль работоспособности комплектующих изделий комплекса бортового радиоэлектронного оборудования вертолета // Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 5. С. 19–23. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_5_19
6. Ларин В. П., Новиков А. Е., Смирнов В. А. Создание информационной поддержки системы производственного контроля // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 11-2(42). С. 52–57. DOI: 10.18454/IRJ.2015.42.109. EDN: VCTMTB
7. Нежметдинов Р. А. Программно реализованный логический контроллер – инновационный продукт для автоматизации технологического оборудования // Инновации. 2016. № 8(214). С. 99–103. EDN: YPOWPG

8. Пряничников В. Е. Искусственный интеллект и программно-аппаратные робототехнические комплексы // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2018. Т. 16. № 12. С. 3–11. EDN: YWWAHR
9. Черемисин Д. Г., Мкртчян В. Р., Музлова А. Д. Программно-аппаратные комплексы в реальном времени: разработка и оптимизация // Символ науки. 2024. № 1-2. С. 51–52. EDN: IXFRAZ
10. Mikoni S. Top level diagnostic models of complex objects // International Conference System Analysis in Engineering and Control. Springer. 2021. Pp. 238–249. DOI: 10.1007/978-3-030-98832-6_21. EDN: QHJNEQ
11. Cummings M. L. Automation bias in intelligent time critical decision support systems. In book: Decision making in aviation. 2017. Pp. 289–294. DOI: 10.4324/9781315095080-17

REFERENCES

1. Pankov D.A. Methods and algorithms for testing software and hardware complexes based on fault simulation. *Dissertation of the Candidate of Technical Sciences*. 05.13.01. 153 p. (In Russian)
2. Budko P.A., Vinogradenko A.M., Mezhenov A.V., Chikirev A.A. A method and device for intelligent express monitoring of the technical condition of ground-based communications and flight radio equipment. *Systems of Control, Communication and Security*. 2020. No. 1. Pp. 235–283. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10108. (In Russian)
3. Galeev A.P., Mayorov A.A., Sementsov S.G., Semenov V.T. et al. Assessment of the reliability of the information and diagnostic computer complex. *Questions of Electromechanics. Proceedings of VNIIEM*. 2016. Vol. 152. No. 3. Pp. 39–50. EDN: XXJBRB. (In Russian)
4. Hwang B.G., Shan M., Looi K.Y. Knowledge-based decision support system for prefabricated prefixed volumetric construction. *Automation in Construction*. 2018. Vol. 94. Pp. 168–178. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.06.016
5. Kuznetsov O.I., Rysin A.I. Operational check of component parts of the helicopter avionics. *Mathematical Methods in Technology and Technics*. 2022. No. 5. Pp. 19–23. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_5_19. (In Russian)
6. Larin V.P., Novikov A.E., Smirnov V.A. Creation of information support for the production control system. *International Scientific Research Journal*. 2015. No. 11-2(42). Pp. 52–57. DOI: 10.18454/IRJ.2015.42.109. EDN: VCTMTB. (In Russian)
7. Nezhmetdinov R.A. A software–implemented logic controller is an innovative product for automation of technological equipment. *Innovation*. 2016. No. 8(214). Pp. 99–103. EDN: YPOWPG. (In Russian)
8. Pryanichnikov V.E. Artificial intelligence and software and hardware robotic complexes. *Information-Measuring and Control Systems*. 2018. Vol. 16. No. 12. Pp. 3–11. EDN: YWWAHR. (In Russian)
9. Cheremisin D.G., Mkrтчян V.R., Muzlova A.D. Software and hardware complexes in real time: development and optimization. *Symbol of Science: International Scientific Journal*. 2024. № 1-2. Pp. 51–52. EDN: IXFRAZ. (In Russian)
10. Mikoni S. Top level diagnostic models of complex objects. *International Conference System Analysis in Engineering and Control*. 2021. Pp. 238–249. DOI:10.1007/978-3-030-98832-6_21
11. Cummings M.L. Automation bias in intelligent time critical decision support systems. In book: *Decision making in aviation*. 2017. Pp. 289–294. DOI: 10.4324/9781315095080-17

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторе

Тихонов Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Экономика и финансы», Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Ярославский филиал);
150003, Россия, г. Ярославль, ул. Кооперативная, 12а;
Dtihonov1987@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2293-6390>, SPIN-код: 4195-0317

Information about the author

Dmitry V. Tikhonov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Finance, Financial University under the Government of the Russian Federation (Yaroslavl branch);
150003, Russia, Yaroslavl, 12a Cooperative street;
Dtihonov1987@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2293-6390>, SPIN-code: 4195-0317