

С. В. Ванцов, А. А. Халявина

**АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

S. V. Vantsov, A. A. Khalyavina

**THE ANALYSIS OF METHODOLOGIES FOR MONITORING
AND DIAGNOSING COMPLEX ELECTRONIC DEVICES**

Аннотация. Проведен анализ методологий контроля и диагностирования сложных электронных устройств. Приведены основные критерии эффективности для выбора оптимальной методологии. Проанализированы возможности применения адаптивных реконфигурируемых алгоритмов для современных систем контроля и диагностирования, а также их основные достоинства и недостатки. Проведенный анализ показал, что наиболее перспективным направлением в усовершенствовании систем контроля и диагностирования является использование адаптивных реконфигурируемых алгоритмов совместно с открытыми полными библиотеками.

Ключевые слова: отказы, алгоритм, модульная архитектура, реконфигурируемая структура, адаптивность.

Abstract. This article analyzes the methodologies for monitoring and diagnosing complex electronic devices. The main performance criteria for choosing the optimal methodology are presented. Possibilities of application of adaptive reconfigurable algorithms for modern systems of control and diagnostics, as well as their main advantages and disadvantages are analyzed. The analysis showed that the most promising direction in the improvement of control and diagnosis systems is the use of adaptive reconfigurable algorithms together with an open replenished base of the causes of failures.

Key words: failures, algorithm, modular architecture, reconfigurable structure, adaptability.

Введение

Сложно представить разработку или производство на заводах современных сложных электронных устройств без использования автоматизированных систем контроля и диагностирования. Последние существенно увеличивают эффективность настройки и отладки, как первых образцов, так и на этапе производства.

Однако каждая модернизация устройств влечет за собой необходимость доработки, а в некоторых случаях и существенного изменения структуры систем контроля и диагностирования. При этом лимит средств и времени часто ограничен.

Основное назначение систем контроля и диагностирования – оперативное обнаружение отказов и предупреждение возможных последствий (принятие мер по предотвращению последствий аварийной ситуации).

Важными характеристиками современных систем контроля является высокая степень унификации как программной, так и аппаратной составляющей.

Одно из главных требований к таким системам – высокий уровень безотказности на протяжении всего жизненного цикла. Другими словами, должно выполняться условие

$$p(t) \rightarrow 1, \text{ при } t \leq t_{\Phi}, \quad (1)$$

где $p(t)$ – вероятность безотказной работы ($p(t) > 0,9$); t – текущий момент времени функционирования; t_{Φ} – время функционирования устройства (5 лет и более).

Все вышесказанное определяет большую номенклатуру решений, позволяющих обеспечить высокий уровень надежности как самих электронных устройств, так и систем контроля и диагностирования.

Одновременно при проектировании и разработке систем контроля и диагностирования становятся важными такие характеристики, как:

- возможность изменения аппаратных и программных средств без привлечения разработчиков и профессиональных программистов;
- простота перестройки алгоритмов управления и контроля;
- время и точность локализации неисправностей;
- прогнозирование и предотвращение отказов;
- снижение избыточности представляемой оператору информации;
- снижение требований к квалификации оператора;
- повышение безопасности эксплуатации и др. [1, 2].

Наличие качественных программ и надежных аппаратных средств в настоящее время является лишь необходимым, но не достаточным условием. На современном этапе развития сложных электронных устройств для обеспечения высокой отказоустойчивости объекта необходимо совершенствование методик построения алгоритмов контроля.

Методики повышения надежности

Основой разработки высоконадежных устройств и систем для их контроля становится выбор того или иного комплекса мер, которые позволят обеспечить:

- оперативную локализацию и предотвращение последствий ошибки (методики позволяющие предотвратить возникновение или введение ошибок);
- высокий уровень отказоустойчивости (обеспечение корректной работы при наличии ошибок);
- своевременное исправление ошибки (сокращение количества ошибок или степени их опасности);
- прогнозирование ошибки (оценка состояния блоков и фиксация возникающих отклонений, которые могут привести к отказу).

Выпуск электронных устройств в ряде случаев не является серийным и обладает уникальным набором параметров, обусловленных его назначением, для контроля которых требуется разработка специализированной аппаратуры контроля и диагностирования, производство которой и вовсе единично.

Последнее обстоятельство определяет нецелесообразность использования статистических подходов к решению задач повышения достоверности контрольно-диагностических задач. Так как при производстве и эксплуатации высоконадежных электронных устройств основной целью является не определение процента годных, а исправность конкретного образца по всем параметрам.

Альтернативой статистических способов является причинно-следственный подход, в основе которого анализ возможных причин и механизмов отказов. К достоинствам такого подхода можно отнести:

- обеспечение высокой достоверности прогнозирования вероятности безотказной работы на протяжении заданного времени;
- снижение вероятности возникновения ранних отказов.

Однако причинно-следственный подход не полностью исключает случайные, скрытые и перемежающиеся отказы.

Несмотря на значительные достижения в области контроля и диагностирования [3 – 5], вопросы локализации и определения причин отказа до сих пор остаются одними из трудоемких и длительных по времени, а в некоторых случаях и не решаемых, без привлечения разработчиков, задач. Как следствие, разработчики систем контроля непрерывно занимаются поиском методов, которые обеспечат снижение времени и трудоемкости разработки одновременно с высокой степенью достоверности контроля и глубины диагностирования.

На практике процесс контроля является итерационным. Все блоки и приборы, начиная с этапа создания самих систем контроля, проходят экспериментальную отработку с использованием специальных имитаторов и устройств контроля в объеме, позволяющих распознать, локализовать и устранить большую часть причин отказов. Отдельно проверенные приборы и блоки устанавливаются в устройство более высокого уровня и снова проходят проверку. При этом основными этапами поиска возможных причин неисправностей являются:

- входной контроль с определением соответствия основных характеристик установочным допускам;
- проведение тестов при длительной работе (8 ч и более) и воздействии внешних факторов (температура, вибрация и т.д.), которые позволяют выявить нестабильность характеристик и снизить возможность случайных отказов;

– проведение многократных, непрерывных тестов после длительного функционирования (электро-термотренировка и т.д.), позволяющих частично отсеять приборы со скрытыми дефектами.

Такой подход позволяет в большинстве случаев на этапе отладки отфильтровать приборы и блоки, содержащие скрытую неисправность.

Однако, несмотря на ряд мер по повышению достоверности и безотказности, на протяжении всего жизненного цикла возникают отказы, причинами которых являются неидеальность объектов контроля, ошибки разной природы (табл. 1), дефекты комплектующих и т.д.

Таблица 1

Факторы снижения надежности

Вид факторов	Способы снижения влияния факторов
Отказы аппаратуры	– резервирование цепей – применение высоконадежных компонентов
Ошибки программного обеспечения	– применение неоднократно проверенных и хорошо протестированных программ. – повышение качества ПО
Ошибки специалистов	– повышение уровня автоматизации процессов – высококвалифицированные работники

При этом если первые две причины отказов устранимы посредством выбора комплектующих и совершенствования технологических процессов, то последние часто плохо предсказуемы, а в некоторых случаях и не устранимы.

Снизить влияние различных факторов возможно за счет рационального выбора методов и использования усовершенствованных методологий контроля и диагностирования.

Особенности выбора методов контроля и диагностирования

Для обеспечения заданного уровня достоверности определения отказов используют функциональное диагностирование в процессе всего периода эксплуатации [6, 7]. При этом часто используется комплексный подход, при котором разрабатываются методики, различным образом сочетающие в себе достоинства основных методов функционального диагностирования (рис. 1).



Рис. 1. Методы функционального диагностирования

Основными аргументами при выборе методов являются: объект элементарной проверки, способ подачи воздействия и снятия ответов, а также критерии оценки полученных результатов.

При реальном контроле устройств заключение об их состоянии делается на основании оценки ряда параметров. Критерием неисправности является выход параметров за определенные, четко очерченные границы, которые определяются условиями возникновения неисправностей.

На практике встречаются такие ситуации, когда процесс контроля заканчивается недостоверным результатом, если в системе контроля или электронном устройстве на момент окончания проверки есть необнаруженная ошибка. Такая ошибка может иметь два последствия:

- выдача некорректного результата до обнаружения отказа;
- длительный и сложный поиск причин некорректного результата.

В случае, если неисправность обнаружена, но не локализована, требуются дополнительные меры по ее локализации, которые могут быть весьма трудоемки. В такой ситуации актуальной становится задача выбора методов для проведения дополнительной проверки и оптимального количества средств контроля, различных уровней, без использования дополнительной аппаратуры. Поиск решений этой задачи является основой для выбора методологии при проектировании контрольно-диагностической аппаратуры.

Основными принципами для выбора методологий при создании высокоэффективных систем контроля являются:

- обеспечение заданной полноты и глубины контроля;
- выбор структуры, обеспечивающей простоту модернизации;
- рациональное разбиение аппаратуры на блоки (составные части), облегчающие тестирование и локализацию отказа;
- выбор интерфейсов обмена информацией между блоками, обеспечивающих отдельное диагностирование;
- создание диагностических баз, на основе которых принимается решение о неисправности;
- создание структуры диагностического алгоритма, обеспечивающего возможность иерархического диагностирования.

Кроме того, большое внимание должно уделяться проблеме адаптации структуры не только аппаратно-программной, но и алгоритмической составляющих контрольно-диагностической аппаратуры в условиях изменения или корректировки задач, критериев или ограничений для конкретного устройства.

На текущий момент повышение эффективности существующих систем контроля и диагностирования достигается за счет использования разработчиками таких решений, как:

- построение аппаратуры и программного обеспечения на основе независимой блочно-модульной структуры (позволяет снизить трудоемкость разработки и повысить достоверность за счет создания структуры из базового набора типовых модулей, с учетом специфики объекта);
- разработка и введение в состав аппаратуры экспертных систем и элементов искусственного интеллекта;
- разработка и исследование интеллектуальных алгоритмов контроля и диагностирования состояния на основе нейронных сетей и алгоритмов нечеткой логики;
- введение в конструкцию элементов, обеспечивающих возможность оперативной реакции при возникновении заранее предвиденных опасных отказов;
- построение автоматических систем идентификации на основе следящих моделей (без отключения объектов и подключения дополнительных средств измерения).

Однако, несмотря на достоинства, ряд решений оказываются несравнимо дороже самих устройств.

А учитывая требования к массо-габаритным характеристикам, возможности использования методов резервирования значительно ограничены [8]. Подобные ограничения обуславливают необходимость использования высоконадежных комплектующих с большим ресурсом.

Экспертные системы позволяют частично решить проблему определения причины и места отказа без привлечения разработчиков. Однако в ряде случаев этот процесс оказывается длительным по времени и не всегда дает однозначный ответ.

Методика разработки объектных программно-аппаратных блоков позволяет использовать различные тесты, написанные на стандартном языке программирования. Наличие таких функций, как возможность загрузки различных проектов, обеспечивает расширение номенклатуры контролируемых изделий, а также позволяет снизить трудоемкость контроля и диагностирования новых модификаций. Используемые программные модули позволяют конфигурировать аппаратуру во время работы [9]. Однако решения на основе независимых программно-аппаратных модулей и самообучающихся нейронных сетей часто существенно увеличивают стоимость разработки, а в некоторых случаях и значительно ухудшают массо-габаритные характеристики сложных устройств при их единичном и мелкосерийном производстве.

Особенности построения алгоритмов контрольно-диагностических тестов

Использование в последние десятилетия структуры на основе программно-аппаратных модулей существенно повысило возможности модернизации и позволяет проектировщикам создавать системы контроля с высоким уровнем унификации.

Основным направлением развития контрольно-диагностической аппаратуры становится поиск решений, которые обеспечат высокую точность и скорость локализации отказов. Одно из решений – разработка адаптивных реконфигурируемых систем, в основе которых – модульная структура и использование параллелизма (распределенная обработка информации) при разработке всех составляющих (аппаратной, программной и алгоритмической) [10 – 12].

При этом если достижения в области разработки распределенной модульной структуры программно-аппаратной составляющей весьма значительны, то алгоритмической составляющей уделено меньше внимания. Поэтому тенденция создания алгоритмов, не привязанных к конкретному типу устройств, с возможностью реконфигурируемости и легкой адаптации к модификациям становится все более актуальной. К основным достоинствам реконфигурируемых алгоритмов стоит отнести:

- универсальность, т.е. возможность контроля и диагностирования практически любой модификации устройства;
- возможность модификации на любых стадиях разработки и в процессе эксплуатации;
- высокое быстродействие и надежность;
- совместимость с большим количеством устройств за счет возможности выбора уровней и параметров сигналов;
- низкую по сравнению с заказными и полузаказными стоимость реализации и небольшого времени, затрачиваемого на модернизацию.

При этом важным качеством алгоритма, определяющим диапазон решений и свойств, становится степень гибкости. В частном случае уровень гибкости может опуститься до перестройки элементарных проверок, входящих в состав модульного алгоритма [13].

Реконфигурация достигается путем разбиения алгоритма на фрагменты, выполняемые последовательно или параллельно. Последний вариант приводит к существенному уменьшению времени контроля и диагностирования. Однако в силу особенностей ряда устройств на практике чаще встречаются последовательно-параллельные алгоритмы.

Сложность проверок при этом определяется логической структурой и степенью реконфигурации.

Процесс изменения конфигурации может быть реализован при наличии соответствующих библиотек, полученных в процессе создания проекта.

Типовая структура реконфигурированного алгоритма (рис. 2) состоит из двух частей:

- постоянной (центральный блок);
- «реконфигурируемые» проверки, которые можно объединять различным образом.

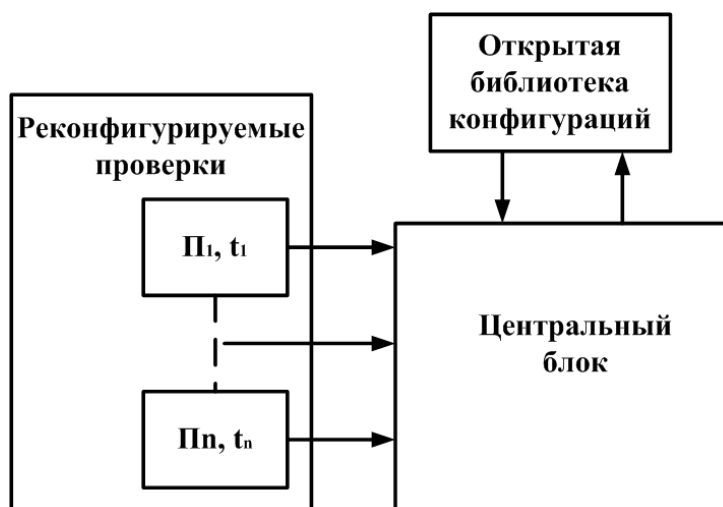


Рис. 2. Структура реконфигурируемого алгоритма:

$P_1 \dots P_n$ – независимые проверки ($n = 1, 2, \dots$);

$t_1 \dots t_n$ – продолжительность каждой проверки по времени, с

В большинстве случаев конфигурирование должно выполняться таким образом, чтобы основные тесты были реализованы на основании специализированных проверок.

Для строгой формализации процесса организуется общая структура и распределяют вычисления таким образом, чтобы минимизировать целевую функцию.

Критериями эффективности разработанной методологии контроля являются такие характеристики, как:

- производительность;
- аппаратная и программная избыточность;
- сложность алгоритма;
- надежность системы;
- возможность реконфигурации в реальном времени;
- трудоемкость модернизации и др.

Для сложного электронного устройства необходимо создание структуры диагностирования (рис. 3), которая разрабатывается с учетом диагностических задач (по количеству выявленных и возможных отказов) подобных параллельных цепочек.



Рис. 3. Структура алгоритма автоматизации процесса диагностирования

При создании подобной структуры важными становятся такие задачи, как:

- разработка основы построения реконфигурируемых структур на базе модулей;
- разработка специализированных библиотек с учетом особенностей конструктивно-технологической базы;
- разработка непосредственной структурной реализации алгоритмов обработки.

При этом в основу такой структуры должны быть положены требования реконфигурируемости, многоуровневости и параллельности обработки данных.

Входящие в состав программной составляющей специальные библиотеки, от структурированности и полноты которых зависит не только эффективность работы, но и возможность выбора оптимальной пары (метод-архитектура), позволяют существенно упростить процесс модернизации.

Критерии выбора конфигурации алгоритма

В общем случае задача выбора сводится к задаче определения оптимального из предварительно сформированного и расширяемого множества решений.

В случае выбора оптимального варианта конфигурации алгоритма задача сводится к минимизации функционала L (2) при заданном ограничении (3):

$$L = aT_d + bQ_d \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$T_d < T_0 \text{ и } Q_d < Q_0, \quad (3)$$

где a и b – весовые коэффициенты; T_d – время выполнения алгоритма; Q_d – стоимость реконфигурации алгоритма; Q_0, T_0 – заданные предельные значения параметров.

Основными критериями оценки реконфигурируемого алгоритма являются:

– эффективность по временным характеристикам:

$$F_t(n) = \frac{T_1(n)}{T_p(n)}, \quad (4)$$

где $F_t(n)$ – эффективность по времени; $T_1(n)$ – время стандартного алгоритма; $T_p(n)$ – время оптимизированного алгоритма; n – количество входных параметров;

– эффективность использования алгоритма в целом:

$$E_p(n) = \frac{F_t(n)}{p}, \quad (5)$$

где $E_p(n)$ – эффективности использования алгоритма; $F_t(n)$ – эффективность по времени; p – количество проверок.

Таким образом, задача создания системы с реконфигурируемым алгоритмом, которая представляет собой проблемно-ориентированные конфигурации применительно к каждому конкретному электронному устройству является наиболее актуальной в настоящее время.

Использование комплексного подхода при разработке систем контроля позволит не только обеспечить высокий качественный уровень устройств для различного назначения и снизить трудоемкость разработки самих систем, но и обеспечить возможность использовать системы контроля и диагностирования для прогнозирования состояния на протяжении всего жизненного цикла.

К тому же одной из особенностей систем контроля с использованием реконфигурируемых алгоритмов является возможность наращивания функциональных ресурсов посредством дополнения открытых библиотек. Наличие открытых библиотек позволяет создавать новые структуры, а также совершенствовать имеющиеся, что нередко требуется при изменении параметров контролируемых устройств или при коррекции контрольно-диагностических алгоритмов.

Заключение

Учитывая высокую степень унификации программно-аппаратных составляющих сложных электронных устройств, использование реконфигурируемых алгоритмов позволит повысить такие характеристики, как гибкость и обеспечить высокий уровень надежности и модифицируемости при решении задач анализа и идентификации технического состояния сложных электронных устройств различного применения. Наличие открытых библиотек конфигурации позволит за короткий срок реализовать алгоритм для новых или модернизированных устройств.

Библиографический список

1. Дорохов, А. Н. Обеспечение надежности сложных технических систем / А. Н. Дорохов, В. А. Керножицкий, А. Н. Миронов, О. А. Шестопалова. – 2-е изд. – М.: Лань, 2011. – 352 с.
2. Зорина, Т. Ю. Риски ИТ проектов и методы их оценки / Т. Ю. Зорина, Т. Ю. Чернышева // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2013. – № 1. – С. 115–118.
3. Яматов, А. Р. Методика синтеза структурной схемы надежности системы с применением модифицированного градиента в процедуре наискорейшего спуска / А. Р. Яматов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2013. – № 7. – С. 63–73.
4. Тюрин, С. Ф. Анализ методов обеспечения пассивной отказоустойчивости цифровых устройств и систем / С. Ф. Тюрин, О. А. Громов, А. А. Сулейманов, А. В. Греков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. – 2011. – № 5. – С. 144 – 153.
5. Заведеев, А. И. Диагностика состояния и принципы повышения отказоустойчивости бортовой системы управления космического аппарата / А. И. Заведеев, А. Ю. Ковалев // Труды МАИ. – 2015. – № 54. – С. 1–9.

6. МЭК 61508_5 (1998). Функциональная безопасность электрических/электронных/ программируемых электронных систем, связанных с безопасностью. Часть 5. Примеры методов для определения уровней целостности защиты.
7. Савкин, Л. В. Построение реконфигурируемой системы функционального контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата / Л. В. Савкин, А. Е. Ширшаков, В. М. Новичков // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 6. – С. 8–13.
8. Денисенко, В. В. Аппаратное резервирование в промышленной автоматизации / В. В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. – 2008. – № 2. – С. 90–99.
9. Коваленко, В. Б. Организация многоуровневого программирования реконфигурируемых вычислительных систем / В. Б. Коваленко, Е. А. Семерников // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2011. – № 9. – С. 3–10.
10. Шидловский, С. В. Синтез реконфигурируемых систем / С. В. Шидловский, В. И. Сырякин, В. С. Шидловский // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 1 (21), ч. 2. – С. 131–136.
11. Шидловский, С. В. Логическое управление в автоматических системах с перестраиваемой структурой / С. В. Шидловский // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2006. – № 2. – С. 123–127.
12. Таненбаум, Э. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. Ван Стеен. – СПб. : Питер, 2003. – 877 с
13. Каляев, И. А. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры / И. А. Каляев, И. И. Левин, Е. А. Семерников, В. И. Шмойлов. – 2-е изд. – Ростов-н/Д : Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 344 с.

References

1. Dorokhov A. N., Kernozhytsky V. A., Mironov A. N., Shestopalova O. A. *Obespechenie nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem* [Ensuring the reliability of complex technical systems]. 2nd ed. Moscow: Lan', 2011, p. 352.
2. Zorina T. Yu., Chernysheva T. Yu. *Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tekhnicheskogo universiteta svyazi i informatiki* [Proceedings of the North Caucasus branch of the Moscow Technical University of Communications and Informatics]. 2013, no. 1, pp. 115–118.
3. Yamatov A. R. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Perm national research Polytechnic University]. 2013, no 7, pp. 63–73.
4. Tyurin S. F., Gromov O. A., Suleimanov A. A., Grekov A. V. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volga state technological University]. 2011, no. 5, pp. 144–153.
5. Zavedeev A. I., Kovalev A. Yu. *Trudy MAI* [Trudy MAI]. 2015, no. 54, pp. 1–9.
6. МЭК 61508_5 (1998). *Funkcional'naya bezopasnost' ehlektricheskikh/ehlektronnykh/ programmiruemyykh ehlektronnykh sistem, svyazannykh s bezopasnost'yu. CHast' 5. Primery metodov dlya opredeleniya urovnej celostnosti zashchity* [Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems. Part 5. Examples of methods for determining the integrity levels of protection].
7. Savkin L. V., Shirshakov A. E., Novichkov V. M. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace instrumentation]. 2015, no. 6, pp. 8–13.
8. Denisenko V. V. *Covremennyye tekhnologii avtomatizatsii* [Modern automation technologies]. 2008, no. 2, pp. 90–99.
9. Kovalenko V. B., Semernikov E. A. *Vestnik komp'yuternyykh i informatsionnykh tekhnologiy* [Bulletin of Computer and Information Technologies]. 2011, no. 9, pp. 3–10.
10. Shidlovsky S. V., Syryamkin V. I., Shidlovsky V. S. *Doklady TUSURa* [Reports of TUSUR]. 2010, no. 1 (21), part 2, pp. 131–136.
11. Shidlovsky S. V. *Izv. RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Izv. RAS. Theory and control systems]. 2006, no. 2, pp. 123–127.
12. Tanenbaum E., Van Steen M. *Raspredelennyye sistemy. Principy i paradigmy* [Distributed systems. Principles and paradigms]. Saint-Petersburg: Peter, 2003, 877 p.
13. Kalyaev I. A., Levin I. I., Semernikov E. A., Shmoylov V. I. *Rekonfiguriruemyye mul'tikonvejernyye vychislitel'nyye struktury* [Reconfigurable multi-pipeline computing structures]. 2nd ed. Rostov-on-Don: Publishing house of the SSC, 2009, 344 p.

Ванцов Сергей Васильевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра технологии приборостроения,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
(125993, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4)
E-mail: vancov@medpraktika.ru

Vantsov Sergey Vasil'evich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of instrumentation technology,
Moscow Aviation Institute
(National Research University),
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

Халявина Анна Александровна

аспирант,

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)

(125993, Россия, г. Москва,

Волоколамское шоссе, д. 4)

E-mail: anymascar@yandex.ru

Khalyavina Anna Aleksandrovna

postgraduate student,

Moscow Aviation Institute

(National Research University),

(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

УДК 481.2: 629.76

Ванцов, С. В.

Анализ методологий контроля и диагностирования сложных электронных устройств /

С. В. Ванцов, А.А. Халявина // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 115–123. –

DOI 10.21685/2307-4205-2018-3-14.