

УДК 681.324

# АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ

О. Л. Захарова<sup>а, б</sup>, аспирант, заместитель начальника отдела

Ю. А. Кирсанова<sup>а, б</sup>, аспирант, начальник отдела

Е. В. Книга<sup>а, б</sup>, аспирант, старший инженер

И. О. Жаринов<sup>а, б</sup>, доктор техн. наук, руководитель учебно-научного центра

<sup>а</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, РФ

<sup>б</sup>ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» им. П. А. Ефимова», Санкт-Петербург, РФ

**Постановка проблемы:** проектирование изделий вычислительной техники в классе структур интегрированной модульной авионики, предназначенных для эксплуатации в авиационной промышленности, сопряжено с необходимостью разрабатывать специализированные алгоритмы и программные средства контроля технического состояния аппаратуры. Алгоритмы контроля гарантируют заданную полноту и достоверность проверки при проведении этапов тестирования мультипроцессоров и их компонентов на заводе-изготовителе и в эксплуатации. Целью исследования является разработка алгоритмов и программных средств тестирования бортовых цифровых вычислительных систем интегрированной модульной авионики. **Методы:** контроль состояния аппаратуры осуществляется в составе автоматизированного рабочего места (на заводе-изготовителе) и автономно (в эксплуатации). Алгоритмы контроля предусматривают проверку физической исправности компонентов авионики и проверку логических связей компонентов (протоколов обмена), задействованных в вычислительных процессах. **Результаты:** получены алгоритмы тестирования мультивычислителя и его компонентов, предназначенные для проверки изделий автономно и в составе автоматизированного рабочего места. Основу алгоритмов образуют процедуры проверки исправности ячеек памяти модулей авионики и целостности внутрисистемных линий передачи информации. Для алгоритмов тестирования, используемых в составе рабочего места, задействована схема петлевого контроля каналов обмена. Отличительная особенность алгоритмов автономного тестирования мультивычислителя основана на процедуре многократной параллельной проверки модулей авионики, в которой каждый модуль инициирует проверку и осуществляет контроль всех других модулей изделия с принятием решения об исправности изделия после получения результатов контроля, выполненных по схеме «точка-точка». Программная реализация алгоритмов тестирования выполнена по модульному принципу с разделением компонентов на загружаемые в изделие, динамически загружаемые в модули авионики и выполняемые на инструментальной ЭВМ автоматизированного рабочего места. **Практическая значимость:** результаты работы получены при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы по созданию перспективных образцов вычислительной техники в классе аппаратуры интегрированной модульной авионики. Результаты работы доведены до промышленного образца, находящегося в настоящее время на этапе испытаний.

**Ключевые слова** — интегрированная модульная авионика, тестирование.

## Введение

Современные подходы к проектированию перспективных бортовых цифровых вычислительных систем (БЦВС) и их компонентов неразрывно связаны с внедрением и исследованием проектных решений в рамках существующей концепции интегрированной модульной авионики (ИМА) [1–7]. Одним из этапов проектирования БЦВС является этап разработки средств контроля БЦВС.

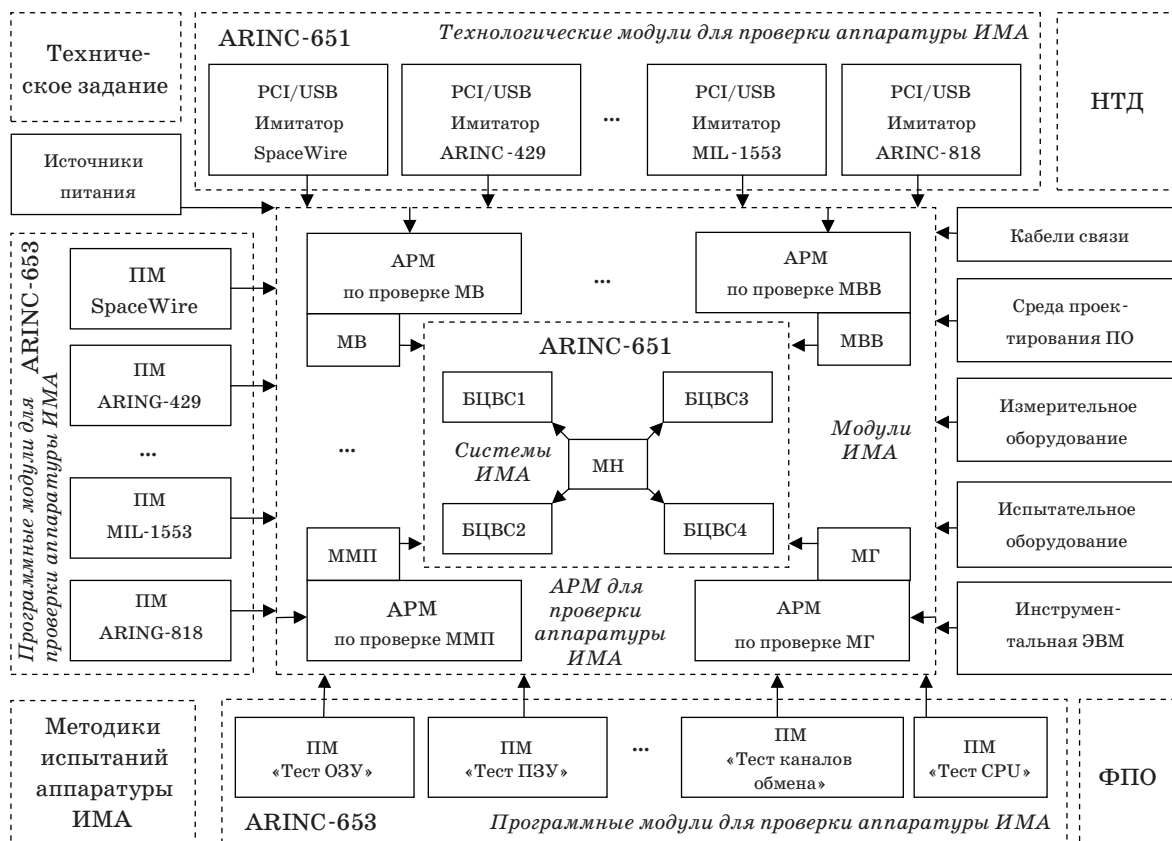
В настоящее время не существует общепринятой методики построения технических средств контроля БЦВС класса ИМА, отдельными исследователями и разработчиками предлагаются модели для построения математического обеспечения автоматизированных рабочих мест (АРМ) [8–19] для отработки многомодульных компонентов авионики, функционирующих в многозадачном режиме.

## Принцип построения автоматизированных рабочих мест

Бортовая цифровая вычислительная система класса ИМА представляет собой интегрированную вычислительную платформу, в состав которой входят (рис. 1) [2, 4, 15]:

— аппаратные средства: быстросменные конструктивно-функциональные модули (КФМ): модули вычислительные *МВ*, модули ввода-вывода *МВВ*, модули массовой памяти *ММП*, модули напряжений *МН*, модули графические *МГ*, — устанавливаемые в типовую несущую конструкцию (крейт);

— программные средства: функциональное программное обеспечение (ФПО), операционная система, поддерживающие программные средства, — управляющие ресурсами БЦВС в целях создания реконфигурируемой вычислительной среды.



■ Рис. 1. Компоненты пространства проектных решений при синтезе АРМ по проверке аппаратуры класса ИМА

В состав средств контроля БЦВС и ее компонентов входят:

- инструментальная ЭВМ (персональный или промышленный компьютер);
- специализированное программное обеспечение (программные модули ПМ проверки ОЗУ, ПЗУ, проверки каналов ввода-вывода, проверки центрального процессора (CPU — Central Processor Unit), программные модули поддержки бортовых интерфейсов ARINC-429, ARINC-818, MIL-1553, SpaceWire));
- специализированное аппаратное обеспечение (интерфейсные платы сопряжения инструментальной ЭВМ (через порты PCI/USB) и изделия (через интерфейсы ARINC-429, ARINC-818, MIL-1553, SpaceWire), а также соединительные кабели связи и источники питания).

В совокупности они представляют собой АРМ по проверке БЦВС. АРМ разрабатывается на основании технического задания в рамках действующей нормативно-технической документации НТД и также включает специальное измерительное и испытательное оборудование, методики испытаний БЦВС и ее компонентов (модулей). Для проверки КФМ, входящих в состав БЦВС, разрабатываются самостоятельные АРМ [9–13].

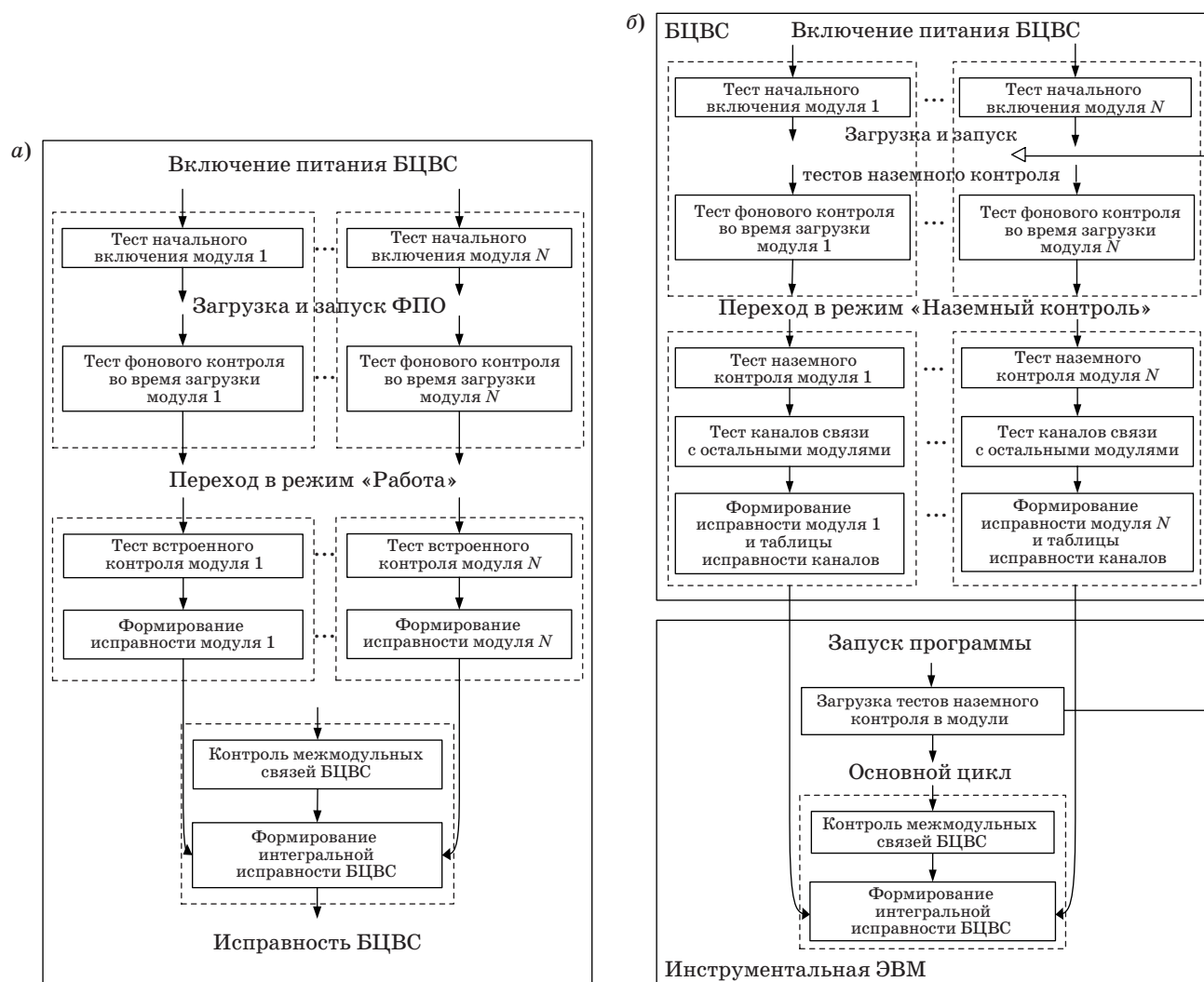
### Обобщенные алгоритмы тестирования БЦВС класса ИМА

Для проверки функционирования БЦВС проводится тестовый контроль аппаратуры. При эксплуатации контроль осуществляется средствами встроенного контроля. Каждый модуль БЦВС имеет встроенные средства контроля. Встроенный контроль входит в состав базового программного обеспечения (ПО) каждого модуля. Для полной диагностики БЦВС используется специализированное ПО, которое обрабатывает сигналы состояния исправности отдельных модулей и формирует интегральный сигнал исправности БЦВС.

Определение технического состояния БЦВС при эксплуатации осуществляется средствами встроенного контроля (аппаратными и программно-логическими). Программно-логическими средствами контроля проводятся тесты:

- начального включения каждого входящего в БЦВС модуля;
- фонового контроля модуля во время загрузки ПО;
- встроенного контроля каждого входящего в БЦВС модуля.

Проверка БЦВС при эксплуатации осуществляется по алгоритму рис. 2, а с последующей



■ Рис. 2. Алгоритм проверки БЦВС: а — автономно, при выполнении тестов встроенного контроля; б — при изготовлении в составе АРМ

интеграцией информации об исправности всех модулей и исправности межмодульных связей в каждом узле для формирования интегральной исправности БЦВС в целом. Тестирование БЦВС при изготовлении производится по алгоритму рис. 2, б. Узел формирования интегральной исправности расположен в модуле массовой памяти [15].

Тест начального включения каждого модуля производит проверку исправности цифровой части модуля, а именно: ОЗУ, ПЗУ, процессорного элемента, ОЗУ устройств ввода-вывода (для модулей ввода-вывода) и внутримодульных каналов SpaceWire связи (для вычислительных модулей). Используется однозадачный режим для выполнения программы тестирования.

Тест фоновой проверки модуля во время загрузки ПО производит проверку исправности доступных для контроля ячеек ОЗУ, ПЗУ; процес-

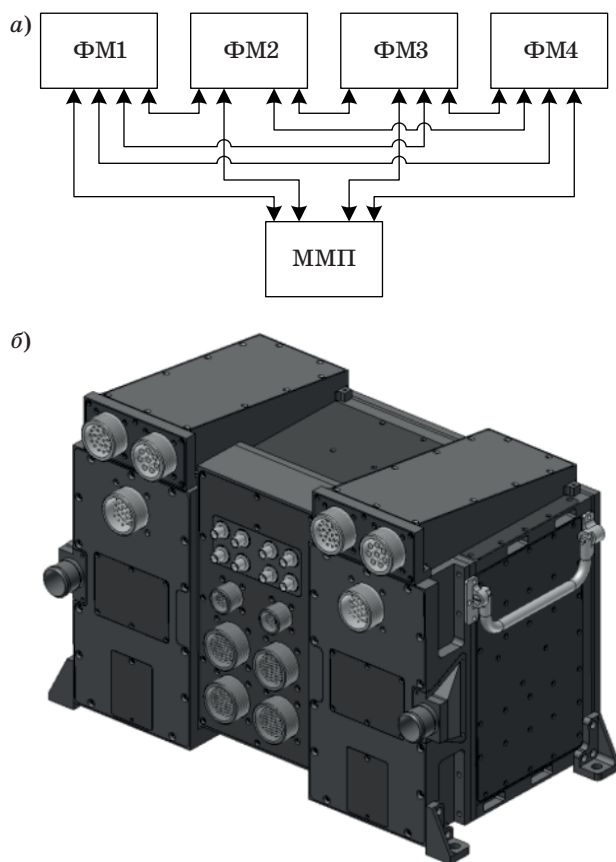
сорного элемента; ОЗУ устройств ввода-вывода (для модулей ввода-вывода); контрольных каналов устройств ввода-вывода (для модулей ввода-вывода) и внутримодульных каналов SpaceWire связи (для вычислительных модулей). В данном режиме выполняется тестовая программа на фоне выполнения программы загрузки в многозадачном режиме функционирования БЦВС.

Тест встроенного контроля модуля производит проверку исправности доступных для контроля ячеек памяти ОЗУ, процессорного элемента, доступных для проверки ячеек ОЗУ устройств ввода-вывода (для интерфейсных модулей). Результат исправности передается по внутримодульным каналам SpaceWire (для вычислительных модулей). В данном режиме выполняется тестовая программа на фоне выполнения функциональной программы под управлением операционной системы в режиме разделения времени.

Программное обеспечение проводит контроль межмодульных связей БЦВС и формирует интегральный сигнал исправности изделия на основе сигналов исправности всех модулей, полученных в результате выполнения тестов встроенного контроля модулей. Программа проверки БЦВС выполняется на фоне выполнения функциональной программы под управлением операционной системы в режиме разделения времени.

### Пример алгоритма выявления неисправных компонентов БЦВС

Для наглядности рассматривается упрощенное схемотехническое решение по организации внутренней структуры БЦВС, подробно описанное в работах [3, 4, 12]. Структура БЦВС основана на комбинационной схеме сетевых топологий «полносвязная сеть» и «двойная звезда» [8, 16, 17]: БЦВС разделена на две идентичные подсистемы, каждая из которых состоит из МПП и четырех функциональных модулей ФМ (рис. 3, а). В качестве любого ФМ могут выступать МВ,



■ Рис. 3. Упрощенная функциональная схема одной подсистемы БЦВС (а) и БЦВС класса ИМА разработки ОКБ «Электроавтоматика» (б)

МВВ, МГ. Внешний вид БЦВС класса ИМА показан на рис. 3, б.

Каждый КФМ имеет коммутацию с остальными модулями БЦВС по отдельной внутренней линии связи SpaceWire, что позволяет отказаться от проведения внутреннего контроля каждого модуля и организовать инициирование внешнего функционального контроля. Внешний функциональный контроль повышает уровень полноты контроля за счет использования различных участков памяти, каналов ввода-вывода, внутрисистемного сетевого интерфейса. При этом для организации внешнего контроля схема проверки, состоящая из одного модуля, тестирующего соседний модуль, оказывается недостаточной [17]. Необходимо, чтобы каждый ФМ проходил три фазы проверки от разных модулей одной подсистемы БЦВС. Затем результат тестирования определяется по схеме мажорирования результатов тестирования КФМ во всех трех фазах проверки.

Таким образом, каждый КФМ иницирует тестирование по определенному параметру для трех других модулей одной подсистемы БЦВС. Причем все три фазы тестирования основаны на выполнении функциональной задачи, исполняемой в полете этим КФМ. Три ФМ передают проверяемому КФМ разные данные. Модуль эти данные обрабатывает, получает результат для каждого из предъявленных контрольных тестов и передает результат обратно тому модулю, который инициировал тест. Алгоритм прохождения контроля одним ФМ представляет собой реализацию следующих процедур [14].

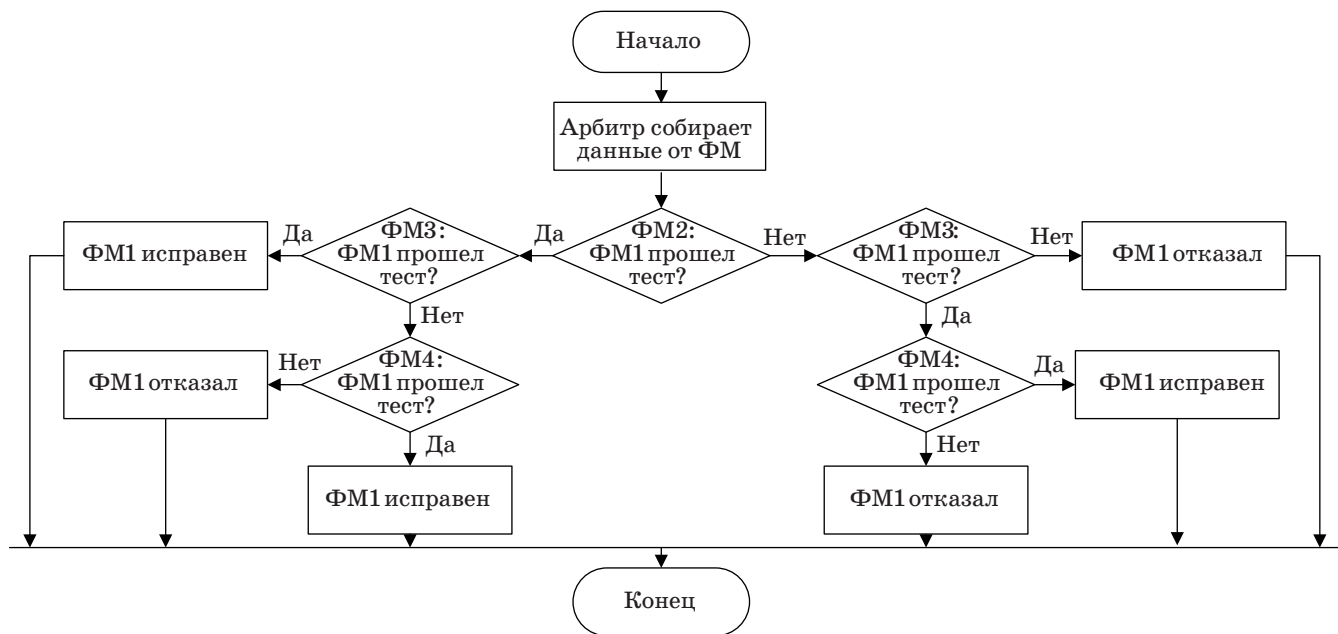
1. Первый сторонний ФМ (например, ФМ<sub>2</sub>) иницирует функциональный тест для проверяемого модуля ФМ<sub>1</sub>. ФМ<sub>1</sub> выполняет данный тест, формирует результат тестирования и передает его ФМ<sub>2</sub>.

2. ФМ<sub>1</sub> иницирует функциональный тест для ФМ<sub>2</sub>. ФМ<sub>2</sub> выполняет тест и передает результат тестирования в ФМ<sub>1</sub>. ФМ<sub>1</sub> сравнивает полученный ФМ<sub>2</sub> результат с эталонным результатом, содержащимся в памяти ФМ<sub>1</sub>. Затем ФМ<sub>1</sub> передает модулю-арбитру ММП результат прохождения ФМ<sub>2</sub> тестового контроля: если эталонный результат совпадает с результатом, полученным от ФМ<sub>2</sub>, значит ФМ<sub>2</sub> исправен и может продолжать выполнять бортовую задачу, если не совпадает — ФМ<sub>2</sub> неисправен.

3. Следующий сторонний ФМ (например, ФМ<sub>3</sub>) иницирует функциональный тест для ФМ<sub>1</sub>. ФМ<sub>1</sub> выполняет тест, формирует результат проверки и передает его ФМ<sub>3</sub>.

4. ФМ<sub>1</sub> иницирует функциональный тест для ФМ<sub>3</sub>, получает от него результат проверки, сравнивает его с эталонным значением и передает модулю-арбитру результат прохождения теста для ФМ<sub>3</sub>: исправен или неисправен ФМ<sub>3</sub>.





■ Рис. 4. Алгоритм анализа результатов тестирования для одного ФМ модулем-арбитром

5. Следующий сторонний ФМ (в данном случае  $\Phi M_4$ ) инициирует функциональный тест для  $\Phi M_1$ .  $\Phi M_1$  выполняет данный тест, формирует результат и передает его  $\Phi M_4$ .

6.  $\Phi M_1$  инициирует функциональный тест для  $\Phi M_4$ , получает от него результат проверки, сравнивает его с эталонным значением и передает модулю-арбитру ММП результат прохождения  $\Phi M_4$  теста: исправен или неисправен  $\Phi M_4$ .

Параллельно с этим при получении сторонними модулями, которые инициировали тест для  $\Phi M_1$ , т. е.  $\Phi M_2$ ,  $\Phi M_3$  и  $\Phi M_4$ , результатов от  $\Phi M_1$  эти модули сравнивают полученный результат с эталонным, который находится в их ячейках памяти, и направляют результат — исправен или неисправен  $\Phi M_1$  — модулю-арбитру ММП. Все модули проходят тестирование аналогичным образом, в том числе и модуль-арбитр ММП. Роль арбитра при тестировании ММП может выполнять любой ФМ.

Таким образом, все ФМ в одной подсистеме БЦВС проходят по три фазы тестирования, инициированные разными сторонними модулями одной подсистемы, и сами инициируют тестирование трех других ФМ.

После того как модуль-арбитр ММП получает все результаты прохождения всеми ФМ тестов, ММП анализирует эти результаты и либо формирует интегральный сигнал исправности БЦВС, либо (при обнаружении неисправного модуля) запускает процедуру реконфигурации всей вычислительной системы с исключением из обмена данными неисправного модуля в коммутируемой внутрисистемной сети SpaceWire.

Алгоритм анализа модулем-арбитром результатов выполнения тестов для одного ФМ представлен на рис. 4. Арбитр анализирует данные тестов от трех модулей, инициирующих тест для одного ФМ, и если от двух из них была получена информация о несовпадении контрольных значений выполнения тестов, модуль считается неисправным. Результаты тестирования для остальных функциональных модулей анализируются по аналогичной схеме.

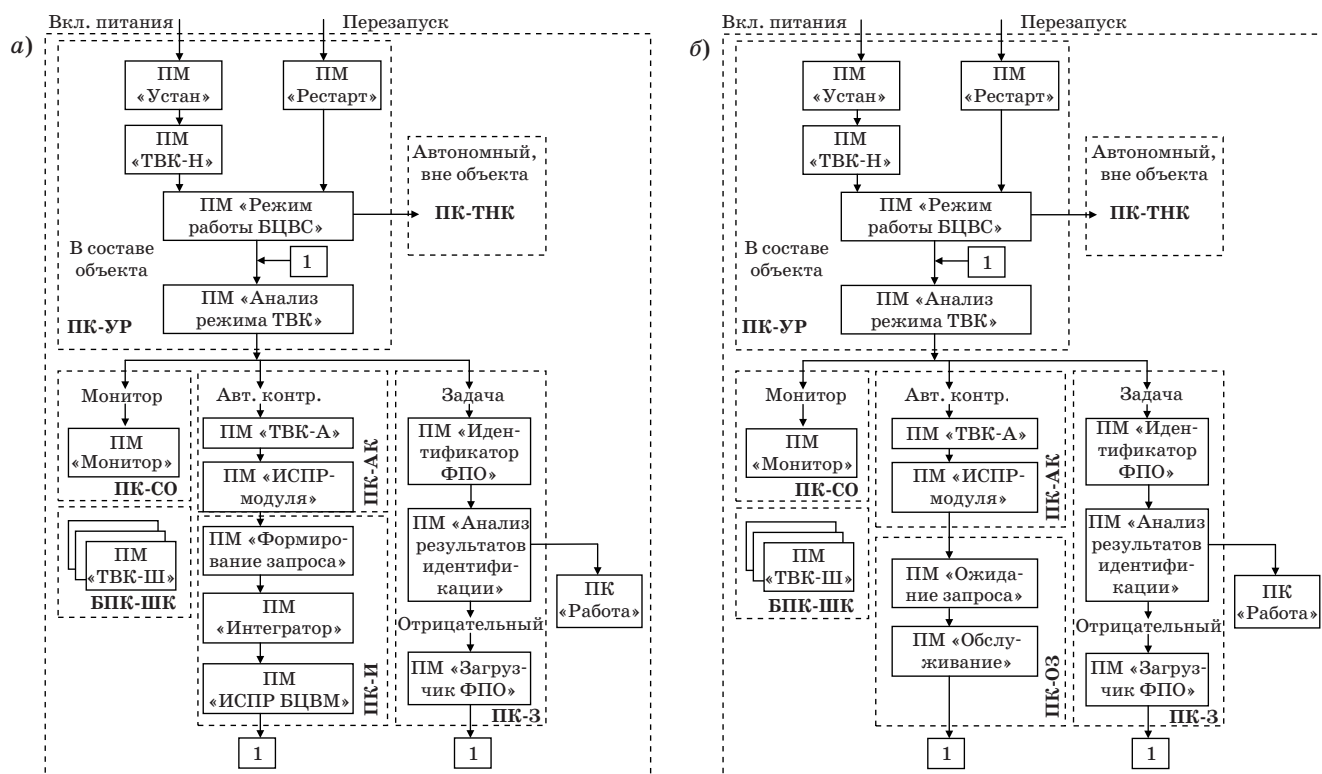
### Программная реализация алгоритмов тестирования БЦВС

Структура программной реализации средств контроля исправности БЦВС класса ИМА показана на рис. 5, а и б.

В состав ПО средств контроля исправности БЦВС класса ИМА входят следующие программные компоненты (ПК) и ПМ.

1. Программный компонент управления режимами *ПК-УР* — обеспечивает:

- первичную инициализацию (установку) регистров микропроцессора и управляющих регистров программируемых логических схем КФМ;
- проверку работоспособности КФМ по начальному включению (после первичной подачи питания, после рестарта БЦВС из-за кратковременного перерыва питания на объекте или из-за возникшей в процессе работы ошибки);
- анализ режима работы БЦВС (в составе объекта, при проверке на заводе-изготовителе в составе рабочего места);



■ Рис. 5. Структура программной реализации средств контроля исправности компонентов БЦВС класса ИМА: а — ММП; б — МВ, МВВ, МГ

— анализ режима работы тестового ПО — тест наземного контроля (ТНК), тест встроенного контроля (ТВК), тест фоновой контроля.

2. Программный компонент сервисного обслуживания *ПК-СО* — обеспечивает обмен данными по технологическим интерфейсам БЦВС с внешними устройствами (инструментальной ЭВМ, платами-имитаторами управляющих сигналов и т. д.) в режиме «Монитор», доступ к внутренним вычислительным ресурсам КФМ, загрузку и отладку тестового и функционального ПО.

3. Программный компонент автономного контроля *ПК-АК* — обеспечивает процесс автоматизированного автономного контроля КФМ при наличии управляющего сигнала извне (на внешнем соединителе).

Контроль исправности КФМ осуществляется без участия операционной системы и ФПО. В случае положительного результата проверки в фиксированных ячейках ОЗУ формируется информация, подтверждающая исправность КФМ, в случае отрицательного результата — информация об обнаруженных неисправностях.

Компонент *ПК-АК* может выполняться из системного ПЗУ КФМ или может быть загружаемым извне и выполняться из ОЗУ КФМ.

4. Программный компонент исправности *ПК-И* — обеспечивает анализ состояния рабо-

тоспособности КФМ, входящих в БЦВС, путем их опроса по межмодульному внутреннему интерфейсу SpaceWire и формирование интегральной исправности БЦВС в режиме автономного контроля.

5. Библиотека программных компонентов штатного контроля *БПК-ШК* — обеспечивает проверку работоспособности КФМ в штатном режиме работы БЦВС.

Каждый программный компонент в составе БПК-ШК представляет собой законченную программно реализуемую процедуру проверки, обеспечивающую контроль исправности функционального узла КФМ и работающую под управлением операционной системы или ФПО.

Формирование интегральной исправности БЦВС осуществляется отдельной программной процедурой, также входящей в состав БПК-ШК.

6. Программный компонент тестов наземного контроля *ПК-ТНК* — обеспечивает проверку БЦВС на заводе-изготовителе.

Компонент входит в состав ПО АРМ (инструментальной ЭВМ) по проверке и настройке БЦВС и загружается в ОЗУ КФМ на время проверки в составе АРМ.

7. Программный компонент обслуживания запроса *ПК-ОЗ* — обеспечивает обслуживание запроса о состоянии исправности КФМ по межмодульному внутрисистемному интерфейсу SpaceWire.

8. Программный компонент загрузки *ПК-3* — обеспечивает загрузку ФПО из МПП в оперативную память всех КФМ и его идентификацию по контрольным признакам (контрольные суммы данных и программ, принадлежность ПК и ПМ к конкретному виду КФМ и др.).

### Организация контроля БЦВС класса ИМА при изготовлении

При изготовлении БЦВС на заводе-изготовителе необходимо проверить состояние аппаратуры вычислительной системы на функционирование. Для этого используется ПО АРМ по проверке БЦВС.

Техническое состояние БЦВС на АРМ проверки определяется средствами встроенного контроля (аппаратными, тестовыми) и средствами наземного контроля (тестовыми). Структура тестового контроля БЦВС на АРМ проверки БЦВС представлена на рис. 2, б и состоит из:

- теста начального включения каждого входящего в БЦВС модуля;
- теста фоновой проверки каждого модуля во время загрузки ПО;
- теста наземного контроля каждого входящего в БЦВС модуля;
- программы контроля БЦВС, работающей на инструментальной ЭВМ.

Процедуры выполнения тестов начального включения модуля и фоновой проверки модуля при проверке БЦВС в составе АРМ те же, что и при проверке БЦВС в режиме автономного тестирования.

Тест наземного контроля каждого модуля производит проверку исправности ячеек памяти ОЗУ, ПЗУ, процессорного элемента, ячеек памяти ОЗУ устройств ввода-вывода (для модулей ввода-вывода), каналов обмена устройств ввода-вывода. Результаты исправности передаются по внутримодульным каналам обмена SpaceWire. В данном режиме формируется сигнал исправности каждого модуля и таблица исправности каналов связи для последующей передачи результата проверки в основную программу контроля БЦВС.

Программа контроля БЦВС заносит тесты наземного контроля БЦВС в модули, проводит контроль внутрисистемных связей БЦВС и контроль внешних каналов обмена SpaceWire. Программа контроля БЦВС обрабатывает сигналы исправности модулей и формирует интегральную исправность БЦВС в целом.

Функциональная схема АРМ по проверке БЦВС представлена на рис. 6, а. АРМ обеспечивает [18, 19]:

- имитацию процессов ввода-вывода информации по каналам информационного обмена SpaceWire, по последовательным каналам

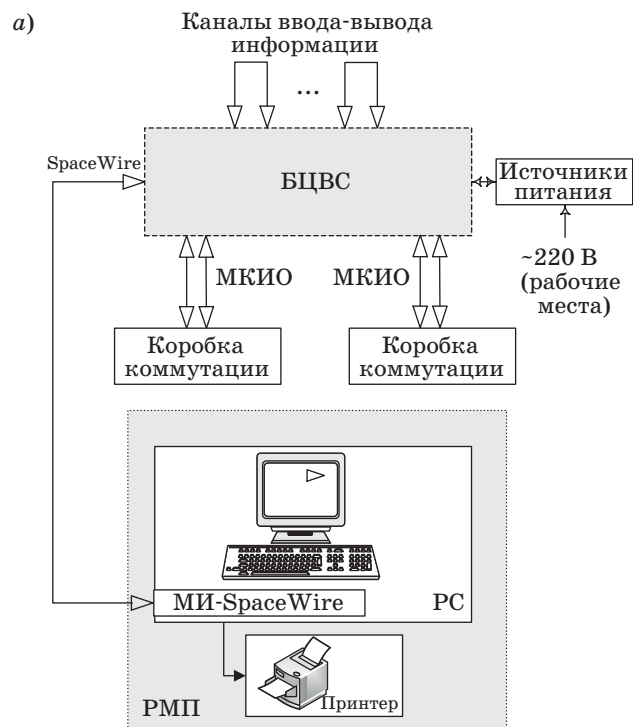
вывода и последовательным каналам приема (ARINC-429), по каналам дискретного вывода и дискретного приема, по мультиплексным каналам информационного обмена *МКИО* по MIL-1553;

- контроль и изменения выдаваемой информации;
- загрузку ПО, тестирование и документирование результатов.

Общий вид АРМ проверки БЦВС и сама проверяемая БЦВС показаны на рис. 6, б.

В состав АРМ проверки БЦВС входят [18, 19]:

- рабочее место проверки *РМП* с возможностью имитации информационного обмена по каналу SpaceWire;
- комплект соединительных жгутов (в том числе перемычки заземления);
- комплект источников питания;
- комплект эксплуатационной документации и методики проверки.



■ Рис. 6. Схема (а) и пример (б) АРМ для проверки БЦВС класса ИМА (БЦВС справа)

Рабочее место проверки имеет следующий состав:

- персональный компьютер (инструментальная ЭВМ) на базе архитектуры x86, возможности которого обеспечивают установку инструментальных средств проверки, со свободным слотом шины PCI;

- технологический модуль интерфейсный *МИ-SpaceWire* (интерфейсный модуль поддержки каналов обмена SpaceWire), используется для сопряжения персонального компьютера и БЦВС класса ИМА;

- принтер для печати документации и документирования результатов тестирования БЦВС;

- тестовое ПО в составе лицензионной версии операционной системы Windows, под которой возможно выполнение специализированных программ проверки, и инструментальная программа загрузки и проверки БЦВС.

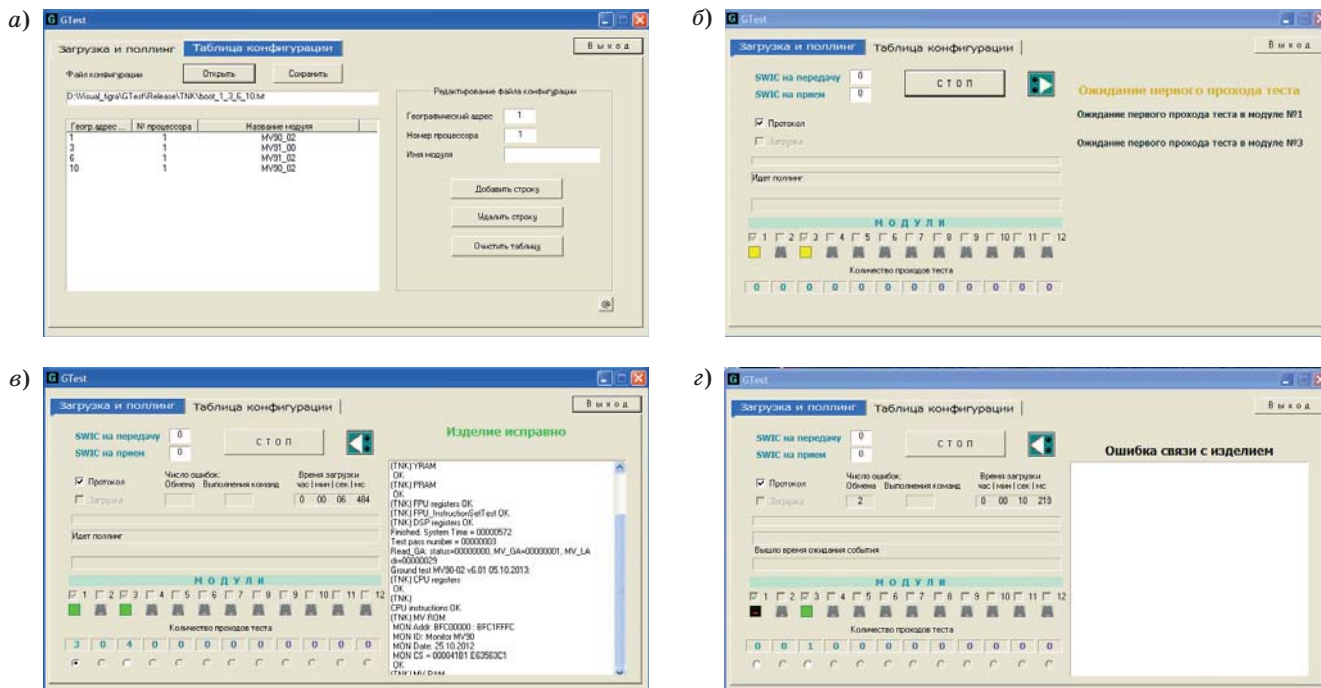
Инструментальная программа проверки БЦВС обеспечивает занесение в БЦВС тестового ПО по технологическому каналу SpaceWire и обмен информацией по рабочим каналам SpaceWire с модулями БЦВС в режиме проверки. Инструментальная программа проверки имеет опции «Загрузка и поллинг» и «Таблица конфигурации» и представляет собой САПР, предназначенную для контроля БЦВС.

В рабочем окне программы проверки в опции «Таблица конфигурации» исследователь задает набор модулей, входящих в тестируемую БЦВС,

с указанием их названия и порядка расположения в БЦВС. Заданная пользователем таблица конфигурации сохраняется в конфигурационном загрузочном текстовом файле, по которому на этапе занесения тестового ПО формируется набор тестов для каждого выбранного модуля. Набор тестов включает следующие программные модули (см. рис. 1): ПМ «Тест ОЗУ», ПМ «Тест ПЗУ», ПМ «Тест каналов обмена», ПМ «Тест CPU».

Опция «Загрузка и поллинг» обеспечивает занесение файлов теста наземного контроля для модулей БЦВС, указанных в файле конфигурации, по технологическому интерфейсу SpaceWire и запускает их на выполнение. Программа проверки начинает проведение процедуры циклического тестирования всех КФМ, запрашивая при этом статус исправности модулей в составе БЦВС и информацию о результатах прохождения теста каждого программного модуля.

Взаимодействие БЦВС и программы контроля БЦВС, работающей на инструментальной ЭВМ, осуществляется через коммутаторы вычислительных модулей по сетевому интерфейсу SpaceWire с использованием системы логической адресации КФМ. Информация о результатах выполнения всех этапов проверки (загрузки и тестирования) отображается на экране инструментальной ЭВМ и в файлах отчета для каждого КФМ. Внешний вид рабочих окон программы САПР по проверке БЦВС представлен на рис. 7, а–г.



■ **Рис. 7.** Рабочее окно программы САПР для проверки БЦВС: а — опция «Таблица конфигурации»; б — режим «Ожидание первого прохода теста»; в — режим «Процесс тестирования — изделие исправно»; г — режим «Процесс тестирования — один из модулей не отвечает на запросы»



## Заключение

Изменения в принципах аппаратной и программной реализации изделий авионики, введенные в стандартах группы ARINC 651–ARINC 655, в значительной мере повлияли на принципы построения АРМ по проверке аппаратуры и на организацию процессов тестирования бортовых систем в целом.

Специфическими требованиями, присущими рабочим местам по проверке интегрированной авионики, являются:

— повышенный уровень контроля аппаратурной составляющей изделий;

— возможность имитации состояния отказа отдельных компонентов авионики для проверки режима реконфигурирования вычислительной системы;

— модульное построение ПО с разделением тестов проверки на компоненты, исполняемые на уровне каждого КФМ и вычислителя в целом в однозадачном и многозадачном режимах;

— открытость архитектуры рабочего места, обеспечивающая возможность изменения уровня сложности контроля изделия и контроль изделий одного класса сложности;

— внутрипроектная унификация как аппаратных средств, так и ПО АРМ проверки.

## Литература

1. Гатчин Ю. А., Жаринов И. О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики. — М.: Машиностроение, 2010. — 224 с.
2. Парамонов П. П., Жаринов И. О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 2. С. 1–17.
3. Книга Е. В., Жаринов И. О., Богданов А. В., Виноградов П. С. Принципы организации архитектуры перспективных бортовых цифровых вычислительных систем в авионике // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 2. С. 163–165.
4. Пат. на полезную модель 108868 RU, МПК G06F 9/00. Платформа интегрированной модульной авионики / А. В. Богданов, Г. А. Васильев, П. С. Виноградов, К. А. Егоров, А. Н. Зайченко, И. В. Ковернинский, В. И. Петухов, А. Н. Романов, Е. В. Смирнов, Б. В. Уткин, Е. А. Федосов, А. В. Шукалов. — № 2011121962/08; заявл. 01.06.2011; опубл. 27.09.2011, Бюл. № 27. — 2 с.
5. Жаринов О. О., Видин Б. В., Шек-Иовсепянц Р. А. Принципы построения крейта бортовой многопроцессорной вычислительной системы для авионики пятого поколения // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. № 4. С. 21–27.
6. Копорский Н. С., Видин Б. В., Жаринов И. О. Организация вычислительного процесса в многомашинном бортовом вычислительном комплексе // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49. № 6. С. 41–50.
7. Видин Б. В., Жаринов И. О., Жаринов О. О. Декомпозиционные методы в задачах распределения вычислительных ресурсов многомашинных комплексов бортовой авионики // Информационно-управляющие системы. 2010. № 1. С. 2–5.
8. Шек-Иовсепянц Р. А., Жаринов И. О. Генерация проектных решений бортового оборудования с использованием аппарата генетических алгоритмов // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. № 3. С. 67–70.
9. Дейко М. С., Жаринов И. О. Применение симплекс-метода и метода искусственного базиса при проектировании бортового приборного оборудования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 1. С. 124–129.
10. Гатчин Ю. А., Видин Б. В., Жаринов И. О., Жаринов О. О. Метод автоматизированного проектирования аппаратных средств бортового оборудования // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 5. С. 5–10.
11. Сабо Ю. И., Жаринов И. О. Критерий подобия проектных решений требованиям технического задания в авионике // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. № 3. С. 57–63.
12. Гатчин Ю. А., Видин Б. В., Жаринов И. О., Жаринов О. О. Модели и методы проектирования интегрированной модульной авионики // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 1. С. 12–20.
13. Модели композиционного проектирования авионики / П. П. Парамонов, Ю. А. Гатчин, Б. В. Видин, И. О. Жаринов, О. О. Жаринов // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 7. С. 5–13.
14. Книга Е. В., Zharinov I. O. Analysis and Algorithms of the Control in Advanced Digital Avionics Systems // Materials of the Intern. Science Conf. on Automation and Control «ISCAC-2013», Saint-Petersburg, 21–22 Nov. 2013. SPb.: National Research University Saint-Petersburg State Polytechnical University, 2013. P. 28–32.

15. Книга Е. В., Жаринов И. О. Организация внутренней структуры модулей перспективных бортовых вычислительных систем авионики: сб. тр. молодых ученых, аспирантов и студентов научно-педагогической школы кафедры ПБКС «Информационная безопасность, проектирование и технология элементов и узлов компьютерных систем». СПб.: НИУ ИТМО, 2013. Вып. 1. С. 127–131.
16. Книга Е. В., Жаринов И. О. Топология внутренней электрической сети Sparewire для перспективных типов бортовых цифровых вычислительных систем авионики: сб. тр. молодых ученых, аспирантов и студентов научно-педагогической школы кафедры ПБКС «Информационная безопасность, проектирование и технология элементов и узлов компьютерных систем». СПб.: НИУ ИТМО, 2013. Вып. 1. С. 122–126.
17. Книга Е. В., Жаринов И. О. Принципы построения комбинированной топологии сети для перспективных бортовых вычислительных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 6. С. 92–98.
18. Гатчин Ю. А., Жаринов И. О., Жаринов О. О. Архитектура программного обеспечения автоматизированного рабочего места разработчика бортового авиационного оборудования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 2. С. 140–141.
19. Принципы построения отраслевой системы автоматизированного проектирования в авиационном приборостроении / П. П. Парамонов, Ю. А. Гатчин, И. О. Жаринов, О. О. Жаринов, М. С. Дейко // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 6. С. 111–117.

UDC 681.324

## Algorithms and Software of Testing Onboard Digital Computer Systems Integrated Modular Avionics

Zakharova O. L.<sup>a, b</sup>, Post-Graduate Student, Deputy Head of Department, zol\_t@mail.ruKirsanova J. A.<sup>a, b</sup>, Post-Graduate Student, Head of Department, juliakirsan@yandex.ruKniga E. V.<sup>a, b</sup>, Post-Graduate Student, Senior Engineer, ekovinskaya@gmail.comZharinov I. O.<sup>a, b</sup>, Dr. Sc., Tech., Head of Department, Head of Learning-Scientist Center, igor\_rabota@pisem.net<sup>a</sup>Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49, Kronverkskii St., 197101, Saint-Petersburg, Russian Federation<sup>b</sup>P. A. Efimov Saint-Petersburg Scientific Design Bureau «Electroavtomatika», 40, Marshala Govorova St., 198095, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Purpose:** Product design of computer technology in the class of structures of integrated modular avionics designed for use in the aviation industry is associated with the need to develop specialized algorithms and software for monitoring of technical condition of equipment. Control algorithms guarantee the given completeness and accuracy of checking during the testing stages of multiprocessors and their components at the production factory and in operation. The purpose of the research is to develop algorithms and software for testing of onboard digital computer systems of integrated modular avionics. **Methods:** monitoring of technical condition of equipment as a part of an automated workstation (at the factory) and independently (in operation). Control algorithms imply physical checking of serviceability of avionics components and testing logical connections of components (exchange protocols) involved in computation processes. **Results:** There have been obtained testing algorithms for a multiprocessor and its components designed to test products independently and as a part of an automated workstation. The basis of the algorithm is formed by the procedure of verifying operation of avionics memory modules and integrity of inter-block lines transmitting information. As regards test algorithms used within the workstation the scheme of loop control circuit of exchange channels is involved. A distinctive feature of algorithms of autonomous testing of a multiprocessor is based on the procedure of multiple parallel checking of avionics modules where each module initiates a check and controls all other modules of a product with a decision about serviceability of the product being made after receiving results of “point to point” monitoring. Software implementation of testing algorithms is performed according to modular principle with components division into the downloaded into a product, the dynamically downloaded in avionics modules and the implemented in an instrumented computer of an automated workstation. **Practical relevance:** The research results have been obtained in the course of research and development activities for development of advanced models of computing equipment in the class of integrated modular avionics. The research results have been brought to the industrial design which is currently in the testing phase.

**Keywords** — Integrated Modular Avionics, Testing.

## Reference

1. Gatchin Iu. A., Zharinov I. O. *Osnovy proektirovaniia vychislitel'nykh sistem integrirovannoi modul'noi avioniki* [Basics of Designing Computer Systems Integrated Modular Avionics], Moscow, Mashinostroenie Publ., 2010. 224 p. (In Russian).
2. Paramonov P. P., Zharinov I. O. Integrated On-board Computing Systems: Present Situation Review and Development Prospects Analysis in the Aviation Instrument-making Industry. *Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2013, no. 2, pp. 1–17 (In Russian).
3. Kniga E. V., Zharinov I. O., Bogdanov A. V., Vinogradov P. S. Rules of Architecture Design for Advanced Onboard Digital Computer Systems in Avionics. *Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2013, no. 2, pp. 163–165 (In Russian).
4. Bogdanov A. V., et al. *Platforma integrirovannoi modul'noi avioniki* [Platform Integrated Modular Avionics]. Patent Russian Federation, no. 108868, 2011.
5. Zharinov O. O., Vidin B. V., Shek-Iovsepants R. A. Crate Creation Strategy of the Onboard Multiprocessing Computing System for the Fifth Generation Avionics. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2010, no. 4, pp. 21–27 (In Russian).
6. Koporskii N. S., Vidin B. V., Zharinov I. O. Organization of Computing Processing Multicomputer Onboard Computer

- Complex. *Izvestiia vuzov. Priborostroenie*, 2006, vol. 49, no. 6, pp. 41–50 (In Russian).
7. Vidin B. V., Zharinov I. O., Zharinov O. O. Decomposition Methods in the Distribution of Computing Resources Problems in Multi-machine Complexes of Avionic Equipment. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2010, no. 1, pp. 2–5 (In Russian).
  8. Shek-Iovsepiants R. A., Zharinov I. O. Design Generation of the Avionic Equipment by Genetic Algorithms. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2010, no. 3, pp. 67–70 (In Russian).
  9. Deiko M. S., Zharinov I. O. Simplex-method and Artificial Basis Method Application for Onboard Equipment Designs. *Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2013, no. 1, pp. 124–129 (In Russian).
  10. Gatchin Iu. A., Vidin B. V., Zharinov I. O., Zharinov O. O. A Method of Computer-aided Design of Airborne Hardware. *Izvestiia vuzov. Priborostroenie*, 2010, vol. 53, no. 5, pp. 5–10 (In Russian).
  11. Sabo Iu. I., Zharinov I. O. Similarity Criterion of Design Decisions to Requirements of the Technical Project in Avionics. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2010, no. 3, pp. 57–63 (In Russian).
  12. Gatchin Iu. A., Vidin B. V., Zharinov I. O., Zharinov O. O. Models and Methods of Integrated Modular Avionics Designing. *Vestnik komp'iuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2010, no. 1, pp. 12–20 (In Russian).
  13. Paramonov P. P., Gatchin Iu. A., Vidin B. V., Zharinov I. O., Zharinov O. O. Models for Composition Design of Avionic Systems. *Izvestiia vuzov. Priborostroenie*, 2010, vol. 53, no. 7, pp. 5–13 (In Russian).
  14. Kniga E. V., Zharinov I. O. Analysis and Algorithms of the Control in Advanced Digital Avionics Systems. *Materials of the Int. Science Conf. on Automation and Control "ISCAC-2013"*, Saint-Petersburg, National Research University Saint-Petersburg State Polytechnical University Publ., 2013, pp. 28–32.
  15. Kniga E. V., Zharinov I. O. Organization of the Internal Structure of Modules Promising Onboard Computing Avionics Systems. *Sbornik trudov molodykh uchenykh, aspirantov i studentov nauchno-pedagogicheskoi shkoly kafedry PBKS "Informatsionnaia bezopasnost', proektirovanie i tekhnologiya elementov i uzlov komp'iuternykh sistem"* [Collected Works of Young Scientists and Students of Scientific and Pedagogical School Department PBKS "Information Security, Design and Technology Elements and Units of Computer Systems"], Saint-Petersburg, NIU ITMO Publ., 2013, vol. 1, pp. 127–131 (In Russian).
  16. Kniga E. V., Zharinov I. O. Internal Electrical Network Topology Spacewire for Promising Types of Onboard Digital Computer Systems Avionics. *Sbornik trudov molodykh uchenykh, aspirantov i studentov nauchno-pedagogicheskoi shkoly kafedry PBKS "Informatsionnaia bezopasnost', proektirovanie i tekhnologiya elementov i uzlov komp'iuternykh sistem"* [Collected Works of Young Scientists and Students of Scientific and Pedagogical School Department PBKS "Information Security, Design and Technology Elements and Units of Computer Systems"], Saint-Petersburg, NIU ITMO Publ., 2013, vol. 1, pp. 122–126 (In Russian).
  17. Kniga E. V., Zharinov I. O. Internal Electrical Network Topology Spacewire for Promising Types of Onboard Digital Computer Systems Avionics Design Principles of a Combined Network Topology for Advanced On-board Computing System. *Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2013, no. 6, pp. 92–98 (In Russian).
  18. Gatchin Iu. A., Zharinov I. O., Zharinov O. O. Software Architecture for the Automated Workplace of the Onboard Aviation Equipment Developer. *Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2012, no. 2, pp. 140–141 (In Russian).
  19. Paramonov P. P., Gatchin Iu. A., Zharinov I. O., Zharinov O. O., Deiko M. S. Principles of Branch System Creation for the Automated Design in Aviation Instrumentation. *Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2012, no. 6, pp. 111–117 (In Russian).