

выбросов / С. В. Карпов, Э. Н. Сабуров. – Архангельск, 2002.

7. Карпов, С. В. Конвективный теплообмен в циклонной загруженной камере / С. В. Карпов, Э. Н. Сабуров // Известия вузов. Энергетика. – 1993. – № 1–2. – С. 80–84.

8. Карпов, С. В. О расчете теплоотдачи пустотелого цилиндра в циклонном рециркуляционном устройстве / С. В. Карпов, А. А. Загоскин // XXI век: фундаментальная наука и технологии: Материалы IV Международной науч-

но-практической конференции (North Charleston, USA, 16–17 июня 2014 г.). – North Charleston, 2014. – Vol. 2. – С. 123–125.

9. Сабуров, Э. Н. Теория циклонных сепараторов, топков и печей / Э. Н. Сабуров, С. В. Карпов. – Архангельск, 2000.

10. Lucas, D. M. Evaluation for local and average convective heat transfer coefficients a furnace using an electrolytic mass transfer model / D. M. Lucas, W. A. Davies, B. Gay // J. Inst. Fuel. – 1975. – Vol. 48. – P. 790–796.

УДК 681.324

Е. В. Книга, И. О. Жаринов, В. А. Нечаев, А. В. Богданов
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ БОРТОВОЙ ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ПОДДЕРЖКОЙ ФУНКЦИИ РЕКОНФИГУРАЦИИ

Рассматривается проблема реконфигурации бортовых цифровых вычислительных систем летательного аппарата при отказах конструктивно-функциональных модулей. Приводятся различные схемы резервирования. Предложен оригинальный алгоритм работы бортовой вычислительной системы в нормальных условиях и в условиях реконфигурации аппаратных средств. Приводятся примеры вариантов назначения задач на доступные (исправные) вычислительные ресурсы.

Тестирование, вычислительные системы.

The paper considers the problem of reconfiguration of onboard digital computing systems of an aircraft in case of failure of constructive-functional modules. Different redundancy schemes are given in the paper. An original algorithm of the onboard computer system under normal conditions and in conditions of reconfiguration is presented. The authors give the variants of assigning tasks to available (serviceable) computing resources.

Testing, on-board computer systems.

Введение.

Современные бортовые цифровые вычислительные системы (БЦВС) перспективного летательного аппарата представляют собой [10] сложные интегрированные вычислительные устройства, состоящие из различных конструктивно-функциональных модулей (КФМ).

БЦВС в составе летательного аппарата (ЛА) выполняют функциональные задачи определения пилотажно-навигационных параметров в режимах: взлета, горизонтального полета, посадки, маневров; слежения за техническим состоянием общесамолетного бортового оборудования; координации работ бортовых подсистем авионики; сбора, хранения, обработки и выдачи пилоту информации, получаемой от информационно-измерительной системы и от органов управления информационно-управляющего поля кабины пилота и др.

Для выполнения требований по обеспечению заданных показателей отказоустойчивости БЦВС в состав вычислительной системы вводят избыточность [2], [3], [11]: аппаратную, функциональную, информационную и др. На практике наиболее часто реализуется аппаратная избыточность (путем резервирования компонентов КФМ), вследствие чего возрастают масса и габариты бортового оборудования. Применение резервирования на уровне БЦВС в целом означает, что при выходе из строя одного из

КФМ, входящих в состав вычислительной системы, вся БЦВС считается отказавшей.

Организация реконфигурирования БЦВС на борту ЛА в ситуации отказа позволит перейти от схемы резервирования вычислительных систем на уровне БЦВС в целом к схеме резервирования БЦВС на уровне встроенных КФМ, что значительно сокращает массогабаритные показатели аппаратных средств авионики.

Основная часть.

Функциональная схема БЦВС

БЦВС состоит из набора КФМ, различающихся по своему функциональному назначению [5], [6], [7]: модуль вычислительный (МВ), модуль графический (МГ), модуль массовой памяти (ММП), модуль коммутатор (МК) и модуль ввода-вывода (МВВ), модуль напряжений (МН). Представленная номенклатура модулей является достаточной для построения семейства бортовых вычислителей различного назначения: бортовая цифровая вычислительная система (БЦВС), бортовая цифровая картографическая система (БЦКС), бортовая интерфейсная станция (БИС), бортовая графическая станция (БГС).

Примеры функциональных схем БЦВС, БЦКС, БИС, БГС приведены на рис. 1. В дальнейшем состав и принцип работы вычислителей приведены для БЦВС, организация реконфигурирования БЦКС, БИС, БГС производится по аналогичной схеме.

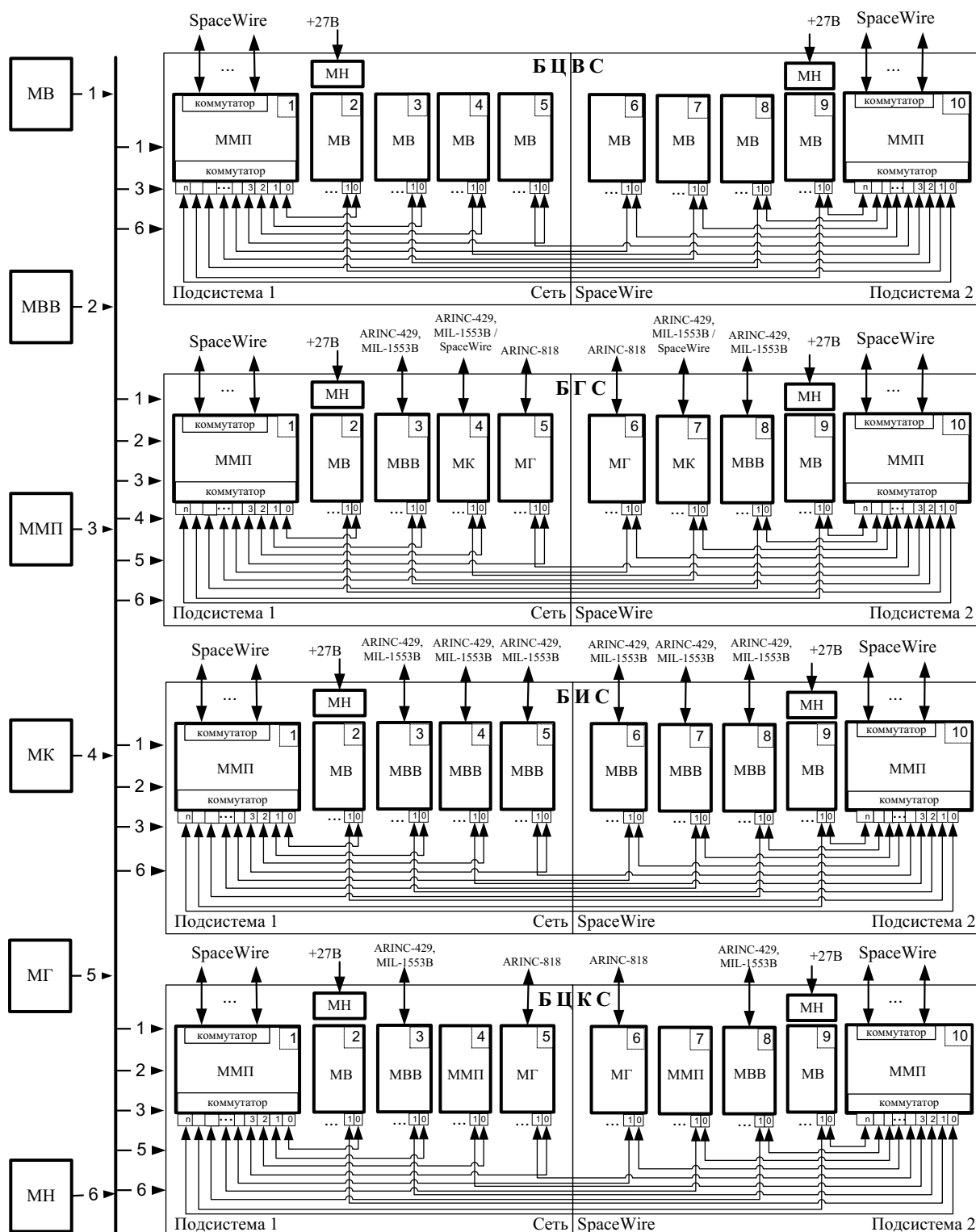


Рис. 1. Состав и внутренние структуры бортовых вычислительных систем

В составе БЦВС модуль ММПИ является ведущим модулем, выполняет функции арбитра системы; остальные КФМ выступают в роли ведомых модулей. Принцип работы БЦВС следующий. При подаче электропитания каждый КФМ осуществляет инициализацию входящих в него компонентов — микросхем программируемой логики, микроконтроллеров, микропроцессоров, коммутаторов внутриблочных линий связи SpaceWire [8] и др.

В процессе работы БЦВС модуль ММПИ анализирует данные результатов выполнения тестов встроенного контроля каждого модуля и при выявлении отказа инициирует выполнение процедуры реконфигурации БЦВС — исключения из внутриблочного обмена отказавшего модуля с его обесточиванием и включения во внутриблочный обмен зарезервированного исправного модуля, находящегося в «холодном» или «горячем» резерве.

После инициализации каждый КФМ принимает из памяти МПП функциональное программное обеспечение (ФПО) и заносит его в ячейки памяти своего внутреннего оперативного запоминающего устройства. Дальнейшая работа КФМ в составе БЦВС определяется алгоритмом занесенного ФПО. Запуск на исполнение ФПО в каждом КФМ инициирует МПП.

Эквивалентная схема резервирования БЦВС на уровне вычислительной системы в целом показана на рис. 2, схема резервирования на уровне КФМ – на рис. 3.

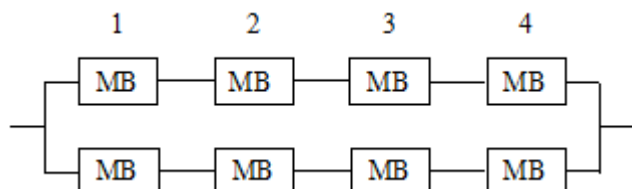


Рис. 2. Эквивалентная схема резервирования БЦВС на уровне подсистем

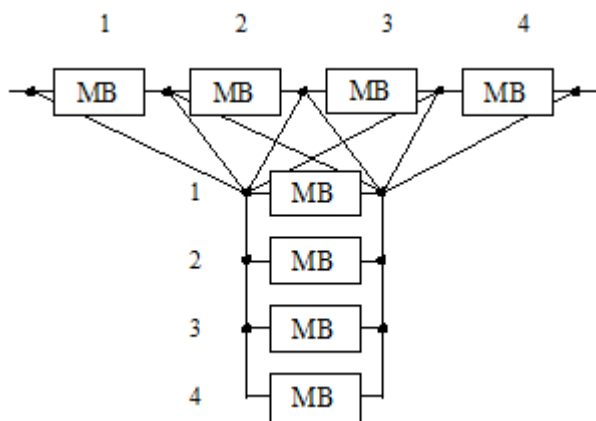


Рис. 3. Эквивалентная схема резервирования БЦВС на уровне КФМ

Алгоритм работы БЦВС

Алгоритм работы БЦВС представлен на рис. 4. После подачи питающих напряжений на четырех модулях обеих подсистем БЦВС проводится тест начального включения каждого КФМ. Выполняются [6], [9] тесты:

- ячеек памяти оперативного запоминающего устройства КФМ (тест проводится путем записи, чтения и сравнения записанных и прочитанных информационных слов);
- ячеек памяти постоянного запоминающего устройства КФМ (тест проводится путем вычисления контрольной суммы ячеек памяти сектора или ПЗУ в целом и сравнения полученного значения с записанным ранее значением);
- устройств ввода-вывода (выполняется путем организации программно управляемой коммутации выходных каскадов приемопередатчиков КФМ по схеме петлевого контроля и передачи тестовых информационных слов по сформированным каналам связи).

Результат выполнения тестов каждым КФМ передается в МПП, где сохраняется в специализированном секторе памяти. При прохождении теста, в результате выполнения которого выявлен отказ, МПП инициирует процедуру реконфигурации БЦВС в пределах имеющихся (исправных, доступных к использованию) аппаратных ресурсах.

Если в БЦВС исправных ресурсов нет, «снимается» интегральный сигнал исправности вычислительной системы и БЦВС считается неисправной. При успешном прохождении всех компонентов теста каждым КФМ устанавливается сигнал исправности БЦВС. Далее МПП распределяет среди исправных КФМ специализированные компоненты ФПО, содержащие исполняемую модулем задачу в составе БЦВС. После загрузки ФПО из МПП поступает команда на инициализацию выполнения ФПО в каждом КФМ.

Выполнение теста осуществляется на фоне выполнения бортовой задачи. Режим выполнения теста определяется состоянием разовой команды (РК) «автоматический контроль», поступающей на внешний соединитель БЦВС. При поступлении такой команды тест проводится в «расширенном» режиме, при отсутствии – в «стандартном» режиме.

В расширенном режиме тест включает: полный тест ячеек памяти ОЗУ, тест контрольных сумм ячеек памяти ПЗУ, тест процессора (простая задача на вычисление с заранее известным результатом), тест системы прерываний (генерация состояния исключения в процессе работы алгоритма — например, обращение к физическому устройству с неизвестным адресом) и тест устройств ввода-вывода (петлевой контроль). В стандартном режиме тест включает: тест ячеек памяти ОЗУ в выделенной области памяти, которую не использует ФПО, тест контрольных сумм ячеек памяти ПЗУ и тест системы команд процессора.

После завершения теста в обоих режимах информация о результате выполнения теста выдается в МПП, где сохраняется в специализированном секторе памяти. При успешном завершении теста формируется интегральный сигнал исправности БЦВС и вычислительная система приступает к выполнению следующего цикла ФПО. При завершении теста с зафиксированным отказом КФМ начинается процедура реконфигурации.

Алгоритм работы БЦВС в режиме реконфигурации зависит от принятого разработчиком подхода к распределению функциональных задач на доступные в БЦВС вычислительные ресурсы [1], [4]. Возможные варианты распределения задач представлены на рис. 5:

- а) назначение одного функционального задания (программного приложения) на один вычислительный ресурс БЦВС (рис. 5а);
- б) назначение нескольких функциональных заданий (программных приложений) на несколько вычислительных ресурсов БЦВС (рис. 5б);
- в) назначение одного функционального задания (программного приложения) на несколько вычислительных ресурсов БЦВС (рис. 5в, г).

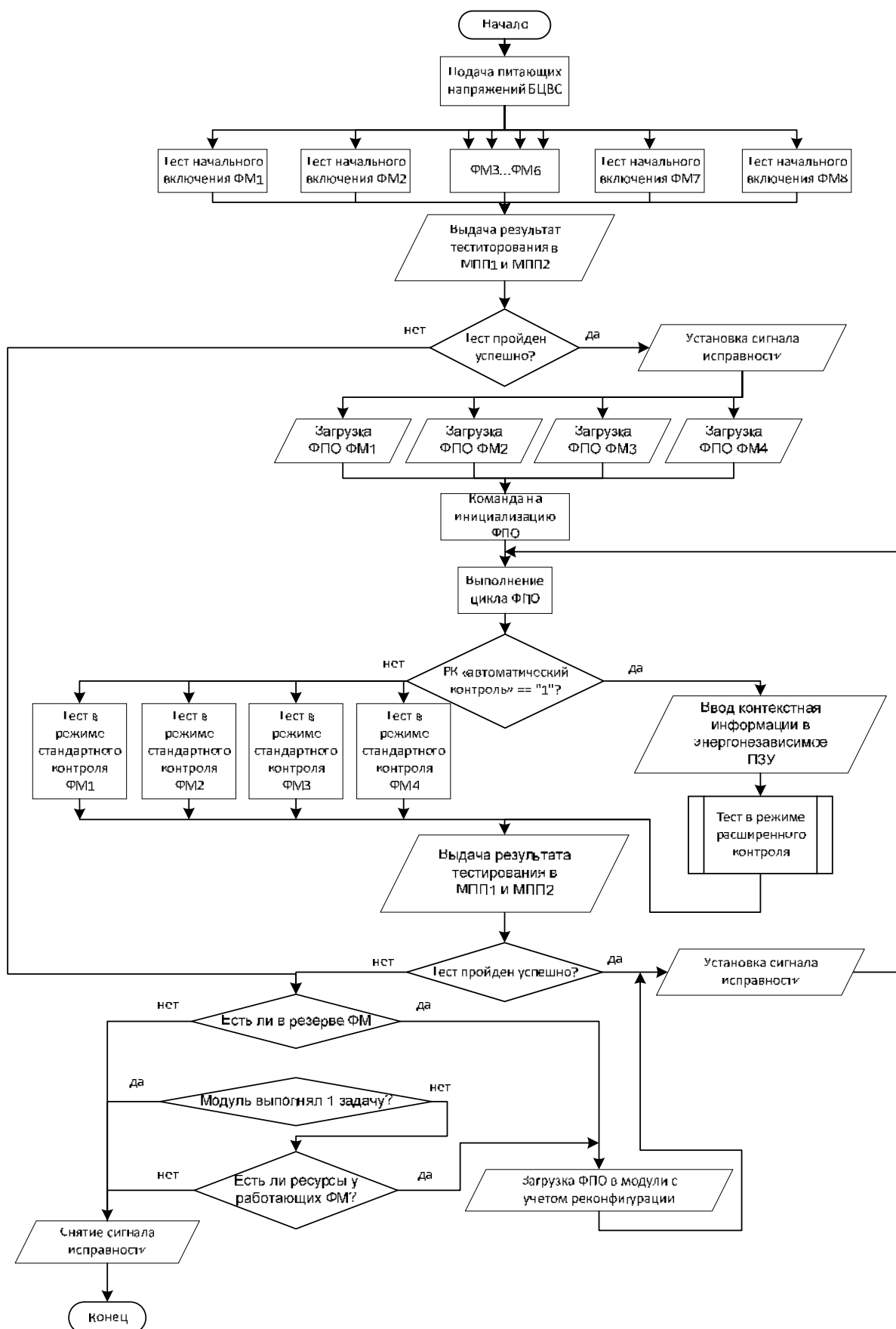


Рис. 4. Алгоритм работы БЦВС (ФМ – функциональный модуль)

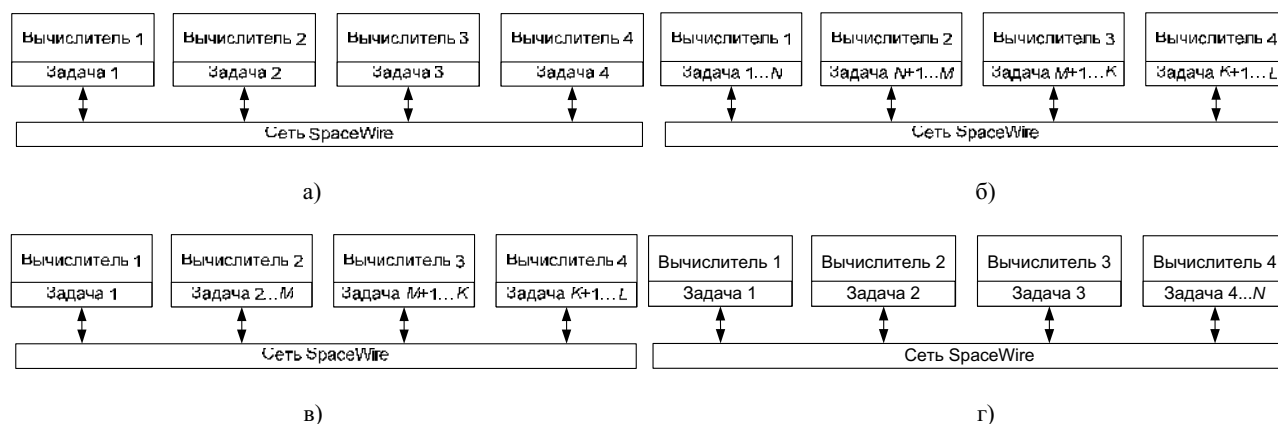


Рис. 5. Пример распределения функциональных задач на КФМ:

а – каждая из задач выполняется на собственном КФМ; б – на каждом КФМ выполняется несколько задач;
 в, г – часть задач выполняется на индивидуальных КФМ

Решение задачи о назначении приложений осуществляется аппаратно-программными средствами БЦВС путем организации логических протоколов взаимодействия между КФМ по внутреннему коммутируемому каналу связи SpaceWire. Реконфигурация при назначении каждой задачи на индивидуальное функциональное устройство возможна только при наличии исправных модулей в резерве. Если модуль в резерве доступен, в его ячейки памяти ОЗУ модулей ММП заносится ФПО, ранее исполнявшееся отказавшим модулем.

Реконфигурация при назначении нескольких задач на один функциональный модуль возможна не только при наличии резервного исправного модуля, а также в случае, если у исправных модулей имеются дополнительные (незадействованные) ресурсы для выполнения задач авионики, которые выполнял отказавший модуль.

Способность БЦВС к реконфигурации при назначении задач, когда один модуль выполняет одну задачу, а три других модуля одной подсистемы выполняют по несколько задач каждый, зависит от того, какой из КФМ отказал. Если зафиксирован отказ модуля, который выполнял одну задачу, то реконфигурация возможна и при наличии резервного модуля, и при наличии свободных вычислительных ресурсов исправных модулей.

После проведения процедуры реконфигурации алгоритм работы БЦВС заключается в следующем: при положительном результате реконфигурирования формируется сигнал исправности, обновляется ФПО в ячейках памяти КФМ и БЦВС приступает к выполнению ФПО. При неудачном результате реконфигурирования «снимается» интегральный сигнал исправности БЦВС, и вычислительная система считается неисправной.

Выводы.

Реконфигурация БЦВС возможна только при наличии в вычислительной системе дополнительных ресурсов, образуемых путем введения в БЦВС аппаратной избыточности: например, задействованными в начальный момент времени оказываются 3 мо-

дуля одной подсистемы, четвертый модуль находится в резерве на случай отказа КФМ в этой подсистеме.

Реконфигурация БЦВС позволяет отказаться от резервирования вычислителей на уровне БЦВС в пользу резервирования аппаратных средств на уровне составляющих системы – КФМ. Расчеты надежности по эквивалентным схемам рис. 2 и рис. 3 показывают, что вероятность отказа БЦВС для схемы рис. 2 составляет 10^{-6} , а для схемы на рис. 3 – 10^{-13} .

Литература

1. Видин, Б. В. Декомпозиционные методы в задачах распределения вычислительных ресурсов многомашинных комплексов бортовой авионики / Б. В. Видин, И. О. Жаринов, О. О. Жаринов // Информационно-управляющие системы. – 2010. – №1. – С. 2–5.
2. Гатчин, Ю. А. Метод автоматизированного проектирования аппаратных средств бортового оборудования / [Ю. А. Гатчин и др.] // Известия вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53. – №5. – С. 5–10.
3. Гатчин, Ю. А. Модели и методы проектирования интегрированной модульной авионики / [Ю. А. Гатчин и др.] // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2010. – №1. – С. 12–20.
4. Гатчин, Ю. А. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики / Ю. А. Гатчин, И. О. Жаринов. – М., 2010.
5. Жаринов, О. О. Принципы построения крейта бортовой многопроцессорной вычислительной системы для авионики пятого поколения / О. О. Жаринов, Б. В. Видин, Р. А. Шек-Иовсепянц // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2010. – №4. – С. 21–27.
6. Захарова, О. Л. Алгоритмы и программные средства тестирования бортовых цифровых вычислительных систем интегрированной модульной авионики / [О. Л. Захарова и др.] // Информационно-управляющие системы. – 2014. – №3. – С. 19–29.
7. Книга, Е. В. Принципы организации архитектуры перспективных бортовых цифровых вычислительных систем в авионике / [Е. В. Книга и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №2. – С. 163–165.
8. Книга, Е. В. Принципы построения комбинированной топологии сети для перспективных бортовых вычис-

лительных систем / Е. В. Книга, И. О. Жаринов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №6. – С. 92–98.

9. Копорский, Н. С. Организация вычислительного процесса в многомашинном бортовом вычислительном комплексе / Н. С. Копорский, Б. В. Видин, И. О. Жаринов // Известия вузов. Приборостроение. – 2006. – Т. 49. – №6. – С. 41–50.

10. Парамонов, П. П. Интегрированные бортовые вы-

числительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении / П. П. Парамонов, И. О. Жаринов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №2. – С. 1–17.

11. Парамонов, П. П. Модели композиционного проектирования авионики / [П. П. Парамонов и др.] // Известия вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53. – №7. – С. 5–13.

УДК 621.644.8

М. В. Ксензов

*Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор Г. Н. Пурас
Новочеркасская инженерно-мелиоративная академия им. А. К. Кортунова*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗА ПРИ ПРОРЫВЕ ГАЗОПРОВОДА

Статья посвящена решению научной задачи, связанной с определением времени истечения газа при прорыве газопровода в результате аварии. Предложена математическая модель для определения времени истечения газа при прорыве газопровода. Приведенный алгоритм расчета времени утечки газа и газовых эмиссий через отверстие может быть использован для практических расчетов времени истечения газа в реальных условиях.

Утечки природного газа, прорыв газопровода, газопровод высокого давления, время истечения газа, аварии на газопроводах.

The article is devoted to the scientific research task, connected with the study of frequency of natural gas leaks in case of the pipeline break as a result of an accident. Additionally, a mathematical model is suggested for determining the gas outflow time during the pipeline break. The adduced time computation algorithm for gas outflow and gas emissions through the vent can be used for practical calculations of gas outflow time in real conditions.

Gas leaks, pipeline break, high pressure pipeline, gas outflow time, pipeline break.

Введение.

На данный момент в Европе существуют две больших организации ("CONCAWE" (The Oil Companies' European Association for Environment, Health and Safety in Refining and Distribution) [7] и "EGIG" (European Gas Incident data Group)) [3], [4], занимающиеся эксплуатацией газо- и нефтепровода. Данные организации основали общества, которые ведут и публикуют обширную статистику аварий и утечек на трубопроводах. Для расчета количества продуктов сгорания и истечения газа необходимым является определение размера прорыва, а также формы отверстия. Данная информация, однако, документирована незначительно и в недостаточном количестве и требует детального анализа. Эти данные можно получить, используя информацию, которая содержится в данных отчетах, как основу.

Основная часть.

Расчет утечек газа из газопровода (для всех видов повреждений) является стандартным расчетом истечения газа из газопровода в атмосферу и определяется с учетом давления газа в сети, а также диаметра

отверстия (утечки). Однако сложным случаем расчета является определение газовых эмиссий в подземном газопроводе. Эти расчеты должны быть произведены с учетом различных факторов (не только давления, размеров и формы газопровода), таких как: глубина залегающего газопровода, термические и физические показатели земли, температура той среды, в которую истекает газ. Все эти факторы обусловили необходимость исследования режима работы сети при прорыве газопровода. Таким образом, была разработана математическая модель, которая описывает определение времени истечения газа при прорыве газопровода. Критический случай для надземного газопровода – это разрыв сварного шва. С частичным разрывом сварного шва образуется отверстие по периметру щели между трубами и принимает форму трещины. Теоретическое решение данной проблемы лежит на основах термодинамики и теории течения газа с учетом двух режимов истечения газа – сверхкритического и подкритического. Проблема истечения газа во времени будет решаться для каждого случая в отдельности (см. рис. 1).