

УДК 519.24.001:512,643,5

Унифицированная интерфейсно-вычислительная платформа для систем интегральной модульной авионики

Авакян А. А.

Научно-исследовательский институт авиационного оборудования (НИИ авиационного оборудования), ул. Туполева, Жуковский, Московская область, 140182, Россия

e-mail: avakyan@niiio.com

Аннотация

Рассмотрены недостатки систем авионики, построенных по архитектуре «федерация блоков LRU, связанных между собой посредством сложного интерфейса». Приведены оценки затрат на техническую эксплуатацию таких систем. Показаны преимущества систем авионики, подсистемы которых построены на платформах ИМА, взаимно независимых и связанных между собой только своими входами и выходами. Рассмотрены архитектура и принципы синтеза таких систем. Приведена архитектура унифицированной отказоустойчивой платформы интегральной модульной авионики, разработанная автором.

Ключевые слова: система, авионика, интерфейсно-вычислительный тракт, архитектура, платформа ИМА, унифицированный, техническая эксплуатация, затраты, эксплуатация, избыточность

Проблемы синтеза отказоустойчивой авионики

Целью синтеза отказоустойчивых систем бортового оборудования летательных аппаратов является создание авионики, способной автоматизировать важнейшие процессы летательных аппаратов и удовлетворяющей требованиям норм летной годности, регулярности полетов, всем стандартам на бортовое оборудование, а также обеспечивающей минимальные затраты на её техническую эксплуатацию.

Техническая эксплуатация авионики включает следующие основные затраты на:

- закупку обменных фондов блоков LRU (Блок, допускающий замену в условиях эксплуатации), которые хранятся на основных и промежуточных аэродромах;
- оснастку пунктов хранения и контроля состояния обменных фондов LRU;
- ремонт блоков LRU;
- оснастку пунктов ремонта LRU;
- содержание персонала технической эксплуатации авионики.

Работы по оценке затрат на техническую эксплуатацию комплексов бортового оборудования, для которых типична федеративная архитектура блоков LRU, выполненные в ОАО «НИИ АО» показали, что среднегодовые затраты на эксплуатацию авионики соизмеримы среднегодовым затратам на их закупку, а в перспективных разработках, где число блоков LRU достигает 100 и более, превышение затрат на техническую эксплуатацию над затратами на их закупку достигает пяти семи раз.

Приведены данные по затратам на техобслуживание зарубежных самолетов малой/средней дальности (150 пассажиров), которые составляют ~750 долларов США за час полета. При сроке службы самолетов такого типа двадцать пять лет и среднем ежегодном налете 27000 летных часов затраты на техническую эксплуатацию составляют 51 млн. долларов США, что соответствует покупной цене самолета.

Таким образом, данные по затратам на техническую эксплуатацию зарубежных самолетов по отношению к их стоимости имеют такие же соотношения, что и данные по оценке затрат на техническую эксплуатацию авионики разрабатываемых и эксплуатируемых отечественных самолетов.

Расчеты показали, что основные затраты на техническую эксплуатацию составляют затраты на закупку обменных фондов и на ремонт блоков. Следовательно, работы по снижению затрат на техническую эксплуатацию авионики должны быть направлены на:

- снижение стоимости аппаратуры авионики;
- уменьшение объема и снижение стоимости обменных фондов;
- снижение стоимости ремонта аппаратуры авионики.

Исследования, проведенные в ОАО «НИИ авиационного оборудования», показали, что современная элементная база электроники позволяет интегрировать множество взаимосвязанных функций, с помощью аппаратных и программных приложений, на одной высокопроизводительной интерфейсно-вычислительной платформе. Архитектура комплексов авионики, состоящей из независимых, но взаимосвязанных, функциональных подсистем, реализованных на платформах (интерфейсно-вычислительных платформах с аппаратными и программными приложениями) в отличие от традиционных архитектур, (множественная федерация из блоков LRU, связанных между собой сложным интерфейсом), имеет следующие преимущества:

- аппаратура комплексов более компактна за счет интеграции множества взаимосвязанных функций на одной интерфейсно-вычислительной платформе;
- за счет аппаратной и функциональной независимости процесс проектирования более эффективен;

– комплексы авионики имеют более высокие эксплуатационные характеристики (упрощается мониторинг технического состояния и восстановление работоспособности при отказах и сбоях);

– в интерфейсно вычислительных платформах удается реализовать унификацию и управляемую избыточность, позволяющую автоматизировать процесс восстановления платформы в межрегламентный период и резко снизить затраты на ремонт платформ при проведении планово-профилактических работ.

Эти преимущества позволяют снизить стоимость аппаратуры авионики при сохранении её необходимой функциональной насыщенности, а также существенно снизить затраты на её техническую эксплуатацию.

Исследования в этом направлении, проводимые в США, были оформлены в виде концепции интегрированного модульного авиационного радиоэлектронного оборудования (ИМА). В связи с широким использованием этой концепции компания RTCA создала «Специальный комитет 200 (SC-200), а EUROCAE» и «Рабочую группу 60 (WG-60) для совместной разработки документа, который можно было бы использовать в качестве руководства в проектировании, разработке и применении ИМА. В состав участников разработки этого документа вошли представители правительственных, промышленных и научных кругов». Разработанный документ в системе стандартов идентифицирован как ДО-297 [4]. Достаточно наглядно суть концепции ИМА изложена в [6].

В настоящее время этот документ ДО-297 широко используется при разработке комплексов авионики в Российской авиационной промышленности. В связи с этим в данной статье излагаются основные принципы синтеза интерфейсно-вычислительных платформ для комплексов авионики, построенных по концепции ИМА. Назовем такую платформу ВУИИМА. Основной особенностью такой платформы является достижение низких затрат на техническую эксплуатацию за счет высокой отказоустойчивости платформы.

Ставится задача, создать интерфейсно-вычислительную платформу для подсистем системы ИМА, удовлетворяющей следующим требованиям:

1. Интерфейсно вычислительная производительность платформы должна быть максимальной и соответствовать достигнутому уровню элементной базы и методам синтеза вычислительной и интерфейсной аппаратуры;

2. Платформа должна позволять создавать на ней независимые, но связанные между собой только своими входами и выходами, подсистемы ИМА. Подсистема образуется путем включения в неё аппаратных и программных приложений. Надежность платформы должна обеспечить:

– возможность реализовать на платформе функции летательных аппаратов различной критичности, вплоть до функций, отказ которых приводит к катастрофической ситуации [6];

– требования по регулярности полетов [7] для всех категорий критичности, реализованных на ней функций;

– возможность эксплуатации платформы в межрегламентный период (500-600 летных часов) без технического обслуживания.

3. Должны быть минимизированы масса габаритные характеристики платформы, а также её стоимость и затраты на её техническую эксплуатацию.

Предлагаемая архитектура системы ИМА.

На рис. 1 приведена архитектура системы ИМА, состоящая из подсистем удовлетворяющих изложенным выше требованиям.

Из рисунка видно, что каждая платформа должна иметь, как минимум, столько общих входов и выходов внешнего интерфейса, сколько подсистем входит в систему. В частности, на рисунке видно, что в состав системы входит N подсистем, а число выходов и входов каждой платформы равно n . Следовательно, должно выполняться условие $n = N$.

Необходимо отметить, что в реальных системах комплексах бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) не обязательно все входы и выходы связаны между собой. Например, подсистема «отображения информации на многофункциональных индикаторах» может вообще не иметь выходов. Из опыта эксплуатации современных БРЭО летательных аппаратов, построенных по архитектуре «федерация блоков LRU», связанных между собой сложными интерфейсными связями, можно выделить следующие типовые подсистемы:

- обработки высотно-скоростных параметров;
- самолетовождения и навигации;
- управления полетом;
- отображения информации на многофункциональных индикаторах
- предупреждения и сигнализации критических режимов;

- зависимых наблюдений;
- связи внутри летательного аппарата и с наземными системами.

Как видно из этого перечня, типовая унифицированная интерфейсно–вычислительная платформа должна иметь, как минимум, восемь входных и выходных каналов внешнего интерфейса.

На рис. 1 также видно, что платформа становится подсистемой после того, когда к ней подсоединяются все аппаратные приложения и во все аппаратные средства загружаются программные приложения.

Важным достоинством архитектуры, приведенной на рис. 1, является отсутствие автономного сетевого оборудования для обеспечения межсистемных связей. Внутри каждой подсистемы, как будет показано ниже, имеются коммутаторы, которые обеспечивают локальную сеть управле-

ния избыточными интерфейсно – вычислительными трактами и выводят на общие выходные каналы внешнего интерфейса надежный вычислительный ресурс с загруженными приложениями задач подсистемы. Как видно на рис.1, все межсистемные связи осуществляются по принципу «точка в точку».

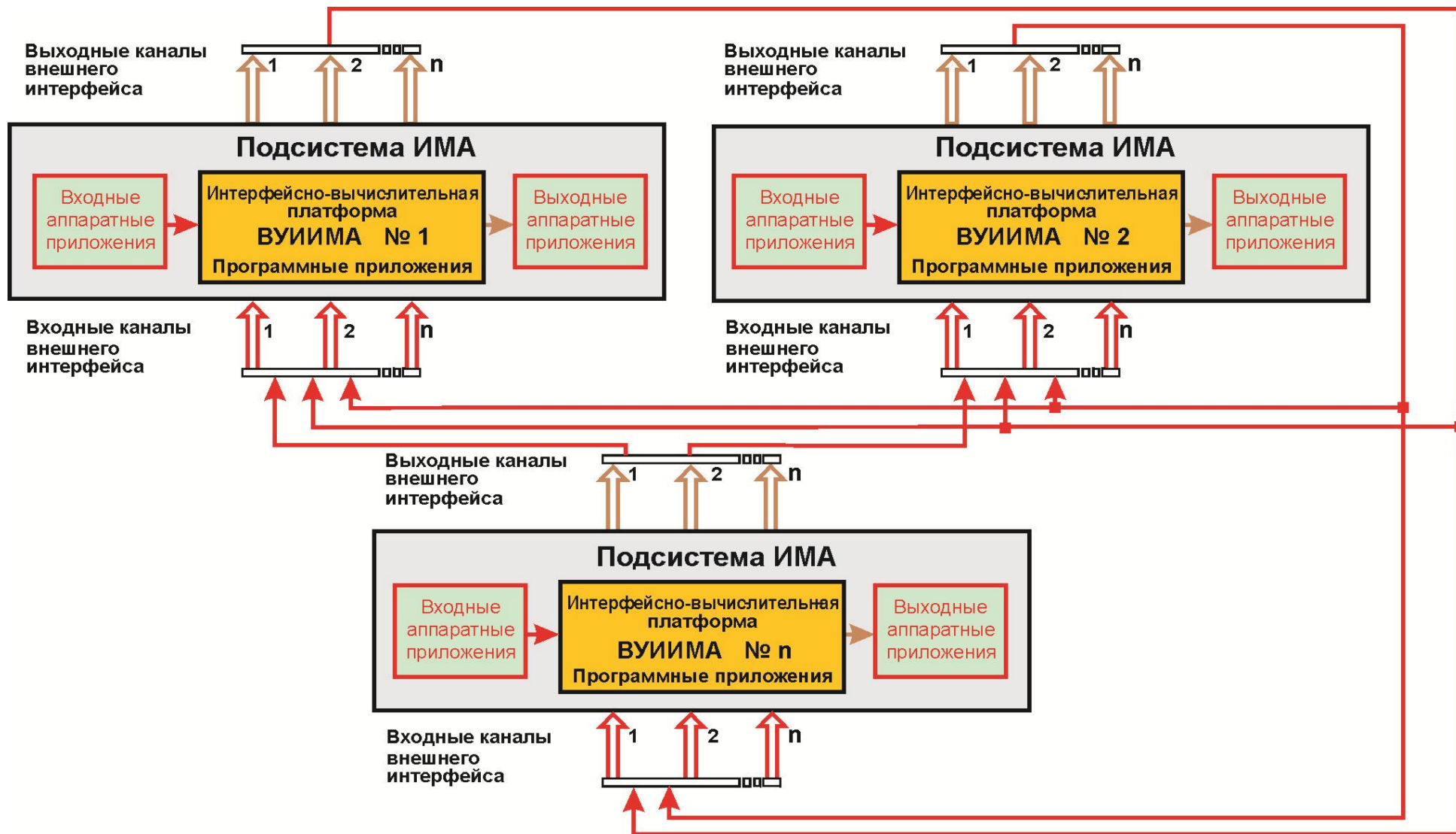


Рис.1 Архитектура системы ИМА, подсистемы которой построены на платформах ВУИИМА

Платформа ИМА.

Рассмотрим принципы создания платформ ИМА, удовлетворяющих изложенным выше требованиям.

Первый: Избыточность элементов платформы. Этот принцип вытекает из того, что достигнутый уровень надежности современной элементной базы, из которой создается аппаратура авионики, недостаточен для удовлетворения требований по надежности предъявляемых к платформе.

Второй: Автоматическое восстановление отказов (устойчивых и перемежающихся) и парирование сбоев. Этот принцип необходим, чтобы реализовать эксплуатацию платформы в межрегламентный период без технического обслуживания.

Третий: Идентификация, локализация и парирование аппаратных и программных ошибок. Современные методы валидации и верификации схемотехнических реализаций и разрабатываемых программ не обеспечивают заданную надежность функционирования платформ.

При реализации первого принципа необходимо определиться со структурой избыточности, т. е. на каком уровне элементов платформы выполнить резервирование, а затем определить степень резервирования. Исследования показали, что для платформ являющихся интерфейсно-вычислительными системами рациональным элементом резервирования **является интерфейсно-вычислительный тракт.**

Типичный интерфейсно-вычислительный тракт платформы, как правило, состоит из следующих укрупненных частей:

- низкочастотного интерфейса, посредством которого соединяются источники информации с вычислительной системой (чаще всего это стандартные интерфейсы ARINC-429 [7,8];, CAN [8], ГОСТ 26765.51-86 [9], ГОСТ 26765.52-87 [10]);
- вычислительного узла, с помощью которого обрабатывается информация источников информации;
- высокочастотного выходного интерфейса (AFDX [13], Fibre Chanel [4.], SpaceWire) .
- коммутатора коммутирующего тракты на выход платформы.

Структурная схема типового интерфейсно-вычислительного тракта платформы приведена на рис. 2.

Избыточная система из таких трактов должна обеспечить выполнение требований норм летной годности по критическим функциям и регулярности полетов в течение межрегламентного периода.



Рис. 2 Структурная схема типового интерфейсно вычислительного тракта.

Вероятность неконтролируемого отказа за период полета не должна превышать норму летной годности, а вероятность контролируемого отказа за время межрегламентного периода не должна превышать норму регулярности полетов.

Рассмотрим архитектуру платформы ВУИИМА, которая представлена на рис. 3. На рисунке видно, что необходимая избыточность платформы обеспечивающая требования норм летной годности и регулярности полетов, составляют четыре интерфейсно-вычислительных тракта.

Каждый из трактов состоит из:

- унифицированного вычислительного узла, содержащего мощные многоядерные фон Неймановские, графические и сигнальные процессоры, а также оперативную и энергонезависимую память, внутренний интерфейс и сервис, обеспечивающий решение всех необходимых задач на борту ЛА;

- входных и выходных каналов внутреннего низкочастотного интерфейса, (ARIC 429, CAN), в основном предназначенного для обеспечения связей аппаратных средств приложений, а также вывода на внешний интерфейс информации для межсистемных связей;

- дуплексных каналов высокочастотных интерфейсов (AFDX (ARINC-664), Fibre Chanel (ARINC-818) и ряда специализированных интерфейсов;

- Коммутаторы высокочастотных интерфейсов и модули объединения выходов низкочастотного интерфейса обеспечивают операции управляющей избыточности (в основном операции по реконфигурации архитектуры платформы), а также вывод информации на внешний интерфейс.

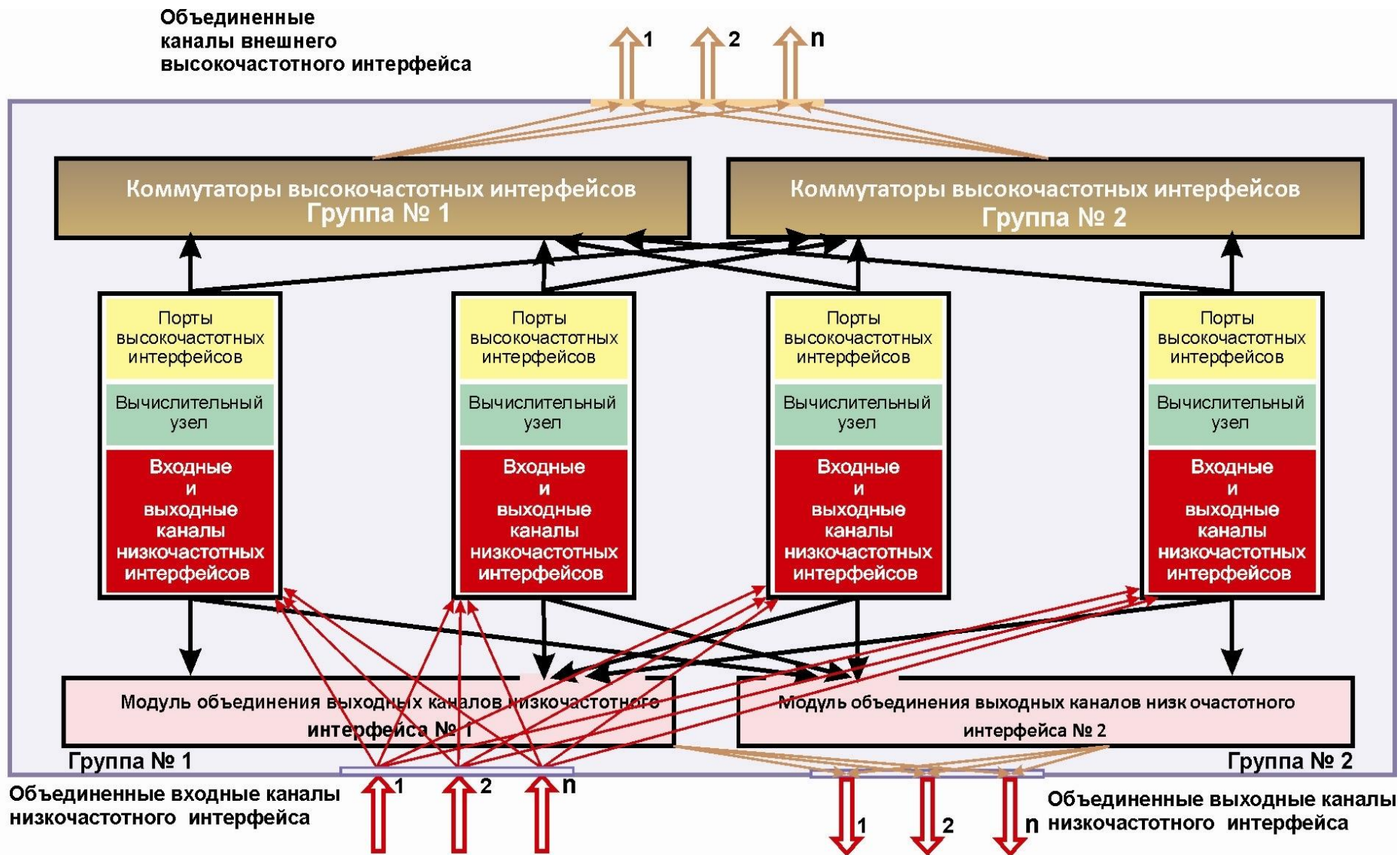


Рис. 3 Архитектура отказоустойчивой интерфейсно - вычислительной платформы ВУИИМА

Расчет характеристик надежности избыточных систем.

В классической литературе по надежности, в частности, и в ряде других работ, рассматриваются общие подходы к расчету характеристик безотказности резервированных систем. При создании систем, обладающих сверхвысокой безотказностью (в нормах летной годности интенсивность отказов функций, отказы которых приводят к катастрофической ситуации, не должна превышать 10^{-9} отказов в час), возникает необходимость создания двухуровневых систем резервирования. В частности, при расчете степени резервирования интерфейсно-вычислительных трактов платформы необходимо рассматривать две следующие резервные системы.

Первая система (система первого уровня) должна быть системой мажоритарного контроля, поскольку парировать отказы в течение одной секунды иными методами контроля невозможно. Для определения отказавшего тракта в мажоритарной системе контроля необходимо, как минимум, иметь основной и два резервных тракта.

Вторая система (система второго уровня) резервирует систему мажоритарного контроля, обеспечивая её безотказную работу в течение межрегламентного периода.

Итак, класс избыточных систем с двухуровневым резервированием состоит из основного элемента, резервных элементов первого и второго уровней. Обозначим основной элемент системы через h , резервные элементы первого уровня через r , а резервные элементы второго уровня через H . Тогда вся система может быть формализована посредством следующей строки матрицы общего класса избыточных систем:

$$h, r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_m, H_1, H_2, \dots, H_j, \dots, H_n. \quad (1)$$

Отсюда общее количество элементов двухуровневой системы резервирования W равно:

$$W = m + n + 1 \quad (2)$$

Под отказом системы при двухуровневом резервировании будем понимать состояние, когда из общего количества элементов основного и резервных первого и второго уровней ($W = m + n + 1$ элементов) отказывает k элементов. При этом $m + n + 1 - k$ элементов остаются исправными. Такими состояниями являются все возможные состояния из $m + n + 1$ элементов по k элементов. Для этого случая вероятность отказа системы будет равна:

$$Q_s(t) = \sum_{i=k}^W C_w^i (1)^{i-k} Q_9^i(t). \quad (3)$$

Интенсивность отказов системы определяется следующей формулой [15 Стр. 94]:

$$\lambda_s(t) = \frac{f_s(t)}{P_s(t)} = \frac{\frac{dQ_s(t)}{dt}}{1 - Q_s(t)} = \frac{\sum_{i=k}^w C_w^i (-1)^{i-k} i Q_s^{i-1}(t) \frac{dQ_s(t)}{dt}}{1 - \sum_{i=k}^w C_w^i (-1)^{i-k} Q_s^i(t)} \quad (4)$$

Поток отказов элементов сложных систем электроники является пуассоновским [15 Стр. 146-147] и поэтому справедлива формула:

$$Q_s(t) = 1 - e^{-\lambda_s t}. \quad (5)$$

Подставив (5) в (3) и (4), получим следующие расчетные формулы для вероятности и интенсивности отказов системы с двухуровневой системой резервирования:

$$Q_s(t) = \sum_{i=k}^w C_w^i (-1)^{i-k} (1 - e^{-\lambda_s t})^i, \quad (6)$$

$$\lambda_s(t) = \frac{\sum_{i=k}^w C_w^i (-1)^{i-k} i (1 - e^{-\lambda_s t})^{i-1} \lambda_s e^{-\lambda_s t}}{1 - \sum_{i=k}^w C_w^i (-1)^{i-k} (1 - e^{-\lambda_s t})^i} \quad (7)$$

Были проанализированы характеристики безотказности современных интерфейсных и вычислительных систем. На основе этих данных были проведены расчеты вероятности неконтролируемого отказа в полете (десять летных часов), а также вероятность контролируемого отказа воздушного судна за межрегламентный период (500-600 часов налета). Расчеты производились для различных вариантов структуры платформы. В результате этих расчетов было определено:

1. Платформа должна включать в свой состав по четыре модуля низкочастотного и высокочастотного интерфейса, по четыре вычислительных модуля с встроенными модулями портов высокочастотного интерфейса и по два модуля коммутатора.

2. С целью унификации платформы для работы с аппаратными и программными приложениями, реализующими функции с различными категориями безопасности полетов, платформа должна иметь возможность функционировать в следующих вариантах:

– Интерфейсно-вычислительная система с четырехкратным резервированием трактов (для реализации на ней функций, отказы которых могут привести к последствиям категоризируемым как «аварийная» или «катастрофическая»);

– две интерфейсно-вычислительных системы, каждая из которых двукратно резервирована (для реализации на ней функций, отказы которых приводят к последствиям категорируемым как «сложная ситуация»);

– четыре интерфейсно-вычислительных системы (без резервирования), для реализации на них функций, отказы которых могут привести к последствиям категорируемым как «усложнение условий полета».

Для выполнения функций по выявлению аппаратных и программных ошибок, допущенных при разработке аппаратной части платформы, а также программ базового математического обеспечения и функциональных приложений платформа должна разрабатываться следующим образом:

– функционально одинаковые аппаратные модули платформы должны иметь максимально возможные различные схемно-технические реализации;

– в каждый из четырех вычислительных модуля платформы должны быть встроены, по крайней мере, три различных операционных системы реального времени унифицированного вычислительного узла, содержащего мощные многоядерные фон Неймановские, графические и сигнальные процессоры, а также оперативную и энергонезависимую память, внутренний интерфейс и сервис, обеспечивающий решение всех необходимых задач на борту ЛА;

– При перечисленных выше условиях невозможно применять традиционные методы мажоритарного контроля, требующие:

– идентичности систем не только по обрабатываемым функциям, но и аппаратному и программному исполнению;

– синхронизации сигналов, прошедших через различные системы;

– задания допуска на расхождение значений параметра, прошедшего через различные системы, не всегда чувствительного к отказам системы (расширение допуска приводит к ошибкам первого рода, а его сужение к ошибкам второго рода).

Регрессионный фильтр.

От этих недостатков свободен метод сравнения сигналов, прошедших через регрессионный фильтр. Такие фильтры реализуются в мажоритарных элементах, встроенных в каждый вычислительный модуль. В качестве критерия сравнения был выбран доверительный интервал на остаточную дисперсию регрессии. Остаточная дисперсия регрессии не зависит от изменения значений параметров, а доверительный интервал на неё не зависит от случайных флуктуаций и чувствителен только к отказам.

Метод был разработан, апробирован и запатентован в Российской Федерации, как «Способ и вычислительная система отказоустойчивой обработки информации критических функций летательных аппаратов». Математика метода сводится к следующему:

Гарольд Крамер [2,] доказал, что статистика Ψ отношения квадратов остаточной дисперсии к её оценке, помноженная на число реализаций ансамбля C , распределена по закону χ^2 с $V = C - n - 1$ степенями свободы (n -число точек в одной реализации), т.е.:

$$\Psi = \frac{(\sigma_o)^2 C}{(\sigma_{oc}(t_n))^2}, \quad (8),$$

где:

- $(\sigma_o)^2$ – значение остаточной дисперсии параметра,
- $(\sigma_{oc})^2$ – оценка остаточной дисперсии параметра

Плотность вероятностей распределения χ^2 определяется формулой

$$K_V(x) = \begin{cases} P_V(\chi^2 \leq x) & \text{при } x > 0, \\ 0 & \text{при } x \leq 0. \end{cases} \quad (9)$$

Выражение для $P_V(\chi^2 \leq x)$ имеет следующий вид:

$$P_V(\chi^2 \leq x) = \frac{1}{2^{\frac{V}{2}} \Gamma(\frac{V}{2})} x^{\frac{V}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}, \quad (10),$$

где $\Gamma(\frac{V}{2})$ – гамма-функция, интегральное представление (формула Эйлера), которой для непрерывных значений z имеет следующий вид [17, стр. 143-144]:

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} x^{z-1} e^{-x} dx. \quad (11)$$

Для целочисленных $z > 0$ имеет место следующие соотношения:

$$\Gamma(z+1) = z!, \quad 0! = \Gamma(1) = 1.$$

Введем обозначение $\frac{V}{2} = z + 1$, тогда справедливо равенство

$$\Gamma\left(\frac{V}{2}\right) = \left(\frac{V}{2} - 1\right)!. \quad (12)$$

Подставив (12) в (10), получим следующую, удобную для вычислений, формулу:

$$P_V(\chi^2 \leq x) = \frac{1}{2^{\frac{V}{2}} \left(\frac{V}{2} - 1\right)!} x^{\frac{V}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}. \quad (13)$$

На основании выше изложенного можно записать следующее неравенство:

$$t_{\min}(V, P_{\min}) \leq \frac{(\sigma_o)^2 V}{(\sigma_{oc}(t_n))^2} < t_{\max}(V, P_{\max}) \quad (14)$$

где t_{\min} и t_{\max} – соответственно квантили распределения (10) для вероятностей P_{\min} и P_{\max} при V степенях свободы.

Тогда доверительный интервал для оценки стандартного отклонения, с вероятностью доверия равной $P_D = P_{\max} - P_{\min}$ будет иметь вид следующего неравенства:

$$\sigma_{oc}(t_n) \sqrt{\frac{t_{\min}(V, P_{\min})}{V}} \leq \sigma_o < \sigma_{oc}(t_n) \sqrt{\frac{t_{\max}(V, P_{\max})}{V}}. \quad (15)$$

На основании (15) нижняя и верхняя оценки доверительного интервала стандартного отклонения остаточной дисперсии соответственно имеют значения

$$\sigma_{oc}(t_n)_H = \sigma_{oc}(t_n) \sqrt{\frac{t_{\min}(V, P_{\min})}{V}}, \quad \sigma_{oc}(t_n)_B = \sigma_{oc}(t_n) \sqrt{\frac{t_{\max}(V, P_{\max})}{V}}. \quad (16)$$

Доверительный интервал стандартного отклонения остаточной дисперсии определяется формулой

$$D_{oc}T = \sigma_{oc}(t_n)_B - \sigma_{oc}(t_n)_H \quad (17)$$

Тогда условия сопоставимости и несопоставимости доверительных интервалов стандартного отклонения остаточной дисперсии параметра, прошедшего через 1-й и 2-й тракты соответственно, запишутся в виде следующих неравенств:

$$|D_{oc1} - D_{oc2}| \leq 0,5 \text{ - сопоставимо, } |D_{oc1} - D_{oc2}| \geq 0,5 \text{ - несопоставимо} \quad (18)$$

Разработанная, по изложенным выше принципам, унифицированная отказоустойчивая платформа для функциональных подсистем интегрированных комплексов авионики воздушных судов находится на стадии испытаний и сертификации.

Библиографический список

1. Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев “Математические методы в теории надежности.”, Москва, “Наука”, 1965 г.
2. Крамер Г. “Математические методы статистики”, под редакцией А.Н. Колмогорова, Москва, “Мир”, 1973 г.
3. Буц, Интегрированная модульная авионика – прямой путь к системам, устойчивым к ошибкам. Daimler Chrysler Aerospace Airbus Kreetslag 10, D-21129, Гамбург, 2005г.
4. Авакян А.А., Сучков В.Н., Искандеров Р.Д., Шурман В.А., Копненкова М.В., Вовчук Н.Г. *Patent RU № 2413975 C2, 10.03.11.*

- 5.Подобедов Д. В. «Интерфейс SpaceWire», СКБ КП ИКИ РАН, подготовлено по материалам ECSS-E-50-12 Space Engineering, SpaceWire: SERIAL POINT-TO-POINT LINKS DRAFT ISSUE C (г. Таруса)
- 6.Нормы летной годности самолетов транспортной категории (АП-25). Москва. 1993 г.
- 7.Guide to Information Integrated Modular Avionics. Development Guidance and Certification Considerations RTCA/DO-297 ,Washington, Guide to Information Integrated Modular Avionics. Development Guidance and Certification Considerations RTCA/DO-297 ,Washington,
- 8.АРИНК 429 «Система передачи цифровой информации. Тип 33», 1977г
9. Проект1 стандарта ARINC-825 «Общая аттестация протокола опроса шины локальной сети контроллеров бортового назначения», Корпорация AERONAUTICAL RADIO, INC 2551 Riva Road, Annapolis, Maryland 21401-7435 USA, 2007 г.,
- 10.Интерфейс магистральный параллельный МПИ системы электронных модулей. Общие требования к совокупности правил обмена информацией. ГОСТ 26765.51-86. Москва, издательство стандартов, 1986 г.
- 11.Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования. ГОСТ 26765.52-87. Москва, издательство стандартов, 1988 г.
- 12.Что такое модульная авионика? What is Integrated Modular Avionics? 2006 год. p.p. 1-2, www-users.cs.york.ac.uk/~philippa/IMA.html.