

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ ОТКАЗО-УСТОЙЧИВЫХ КОМПЛЕКСОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

FEATURES OF ARCHITECTURE OF FAULT-TOLERANT INTEGRATED SYSTEMS OF AIRCRAFT EQUIPMENT

А. А. Авакян,

доктор технических наук, профессор, АО «НИИ авиационного оборудования» (г. Жуковский)

Ю. А. Романенко,

доктор технических наук, профессор, АО «НПО «Турботехника» (г. Протвино)

В статье дается описание разработанной отказоустойчивой интерфейсно-вычислительной платформы «Вычислитель универсальный интерфейсный интегрированной модульной авионики» (ВУИИМА), характеристики безотказности которой удовлетворяют требованиям норм летной годности [1] и регулярности полетов [2]. Кроме того, представлена архитектура комплексов бортового оборудования летательных аппаратов (КБО ЛА), состоящая из подсистем интегрированной модульной авионики (ИМА) на базе платформы ВУИИМА, в которой обмен информацией между подсистемами ИМА происходит по линиям связи без центрального коммутатора.

Ключевые слова: отказоустойчивость, летательный аппарат, вероятность отказов

A. A. Avakyan,

Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC "Institute of Aircraft Equipment",

Yu. A. Romanenko,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific-Production Association Turbotekhnika

The article describes the failover interface-designed computing platform «The computer interface universal integrated modular avionics» (CIUIMA), characteristics of reliability which satisfy the requirements of the airworthiness standards [1] and regularity [2]. In addition the architecture of avionics systems of aircraft (AASA), subsystems composed of integrated modular avionics (IMA) based on the platform (CIUIMA), in which the exchange of information between subsystems (IMA) occurs by linkage of mitral valve without switch.

Keywords: fault tolerance, aircraft, the possibility of system failure

Под отказоустойчивыми будем понимать комплексы бортового оборудования летательных аппаратов (далее – КБО ЛА), способные правильно функционировать в заданный период (например, между регламентными работами на ЛА) с выполнением всех норм летной годности и регулярности полетов.

Если на какой-либо из систем КБО реализована функция, отказ которой может привести к катастрофической ситуации, то, согласно нормам летной годности [1, с. 14], вероятность неконтролируемого отказа системы не должна превышать 10^{-9} отказа на час налета. Если при этом КБО должен сохранять отказоустойчивость на периоде между регламентными работами ЛА, например, периоде 600 летных

часов, то, согласно нормам регулярности полетов [2, пункт 6.8], вероятность отказа, приводящего к невыполнению системой норм летной годности, должна быть меньше 10^{-4} отказа на час налета.

В [3, с. 72, 73] показано, что эти требования можно выполнить, если систему реализовать на платформе ВУИИМА, функциональная схема которой приведена на рис. 1. На рисунке видно, что отказоустойчивость достигается за счет избыточности интерфейсно-вычислительных трактов. Таких трактов в платформе четыре. В [3, с. 31] были выведены следующие формулы для расчетов зависимости вероятности отказа и интенсивности отказов избыточной системы от периода функционирования:

– вероятность отказа

$$Q_S(t) = \sum_{i=k}^W C_w^i (-1)^{i-k} (1 - e^{-\lambda_S t})^i \quad (1)$$

– интенсивность отказов

$$\lambda_S(t) = \frac{\sum_{i=k}^W C_w^i (-1)^{i-k} (1 - e^{-\lambda_S t}) \lambda_S e^{-\lambda_S t}}{\sum_{i=k}^W C_w^i (-1)^{i-k} (1 - e^{-\lambda_S t})^i}, \quad (2)$$

где W – число элементов системы;

λ_S – интенсивность отказов элемента системы;

C_w^i – число сочетаний из W по i .

В [3, с. 90] по формуле (1) был произведен расчет вероятности неконтролируемого отказа платформы за межрегламентный период 600 летных часов хотя бы двух из четырех трактов платформы $Q_{\text{нп}}(600)$ (отказ мажоритарной системы):

$$Q_{\text{нп}}(600) = 5,94 \cdot 10^{-10} \quad (3)$$

Нормы летной годности [1, с. 14] предъявляют следующие требования к надежности аппаратуры, на которой реализуются критические функции. Вероятность отказа за период полета, приводящая к таким последствиям, как:

- катастрофическая ситуация, не должна превышать 10^{-9} ;
- аварийная ситуация, не должна превышать 10^{-7} ;
- сложная ситуация, не должна превышать 10^{-6} .

На основании проведенных расчетов можно заключить, что характеристики безотказности платформы, структурная схема которой приведена на рис. 1, удовлетворяют требованиям норм летной годности.

В [3, с. 94] по формуле (1) были проведены расчеты следующих характеристик безотказности платформы, которые позволяют оценить выполнение требований норм регулярности полетов:

- вероятность контролируемого отказа хотя бы одного из трактов платформы за 600 часов:

$$Q_{\text{кп}}(600) = 1,84 \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

- вероятность автоматического восстановления платформы при возникновении отказов хотя бы в одном из трактов в межрегламентный период равный 600 часов налета:

$$Q_{\text{вп}}(600) = 1 - 1,84 \cdot 10^{-3} = 0,9981 \quad (5)$$

К регулярности полетов предъявляются следующие требования. Нормативная допустимая продолжительность задержки отправок в рейс по причине устранения отказов бортового оборудования регламентируется документом [2, пункты: 7.4, 7.6, 7.8] и не должна превышать 15 минут.

Вероятность восстановления работоспособности и отказоустойчивости в заданное время оперативного ТО комплекса при подготовке самолета к полету при всех видах отказов и повреждений, в том числе и не диагностируемых бортовыми средствами контроля, должна быть не менее 0,998 [2, пункт 6.8].

Результаты расчетов, выполненные по формулам (3), (4) и (5), показывают, что характеристики безотказности платформы, структурная схема которой приведена на рис. 1, удовлетворяют как требованиям норм летной годности, так и регулярности полетов при эксплуатации платформы в межрегламентный период 600 летных часов с автоматическим восстановлением отказавших платформ. Таким образом, характеристики платформы позволяют реализовать в межрегламентный период 600 летных часов эксплуатацию по принципу без технического обслуживания (Maintenance Free Operating Periods – MFOPS).

На функциональной схеме платформы (рис. 1) видно, что по интерфейсу ARINC-429 информация на входы каждого тракта платформы подается через многофункциональные интерфейсные модули (МИМ), а выдается из платформы через два модуля объединения выходов (МОВ). Информация по интерфейсам Ethernet и Fibre Chanel подается и выдается по дуплексным каналам связи через два коммутатора каждого интерфейса Ethernet и Fibre Chanel. С точки зрения формирования входной в платформу и выходной из платформы информации коммутаторы выполняют функции реконфигурации структуры платформы для формирования исправного интерфейсно-вычислительного тракта при возникновении разладок (сбоев, перемежающихся и устойчивых отказов, программных и конструктивных ошибок) в компонентах платформы.

Каждый из модулей МИМ и МОВ платформы, кроме каналов необходимых для связи с аппаратными приложениями, имеют «п» входных и выходных каналов для обмена информацией с «п» подсистемами ИМА. Точно так же каждый коммутатор интерфейсов Ethernet и Fibre Chanel, кроме дуплексных каналов связи с аппаратными приложениями платформы, имеет «п» дуплексных каналов для связи с другими подсистемами ИМА.

Наличие МИМ, МОВ и коммутаторов позволяет создавать на основе платформы

ВУИИМА подсистемы ИМА. При этом модули МИМ, МОВ интерфейса ARINC-429, коммутаторы интерфейсов Ethernet и Fibre Chanel выполняют следующие функции подсистемы ИМА:

- интеграцию аппаратных приложений платформы как со стороны входа в платформу, так и со стороны выхода из платформы;
- автоматическое восстановление системы ИМА при возникновении в ней разладок посредством реконфигурации структуры за счет избыточного множества компонент платформы и аппаратных приложений;
- с помощью временных циклограмм доставку информации, принимаемой от других систем

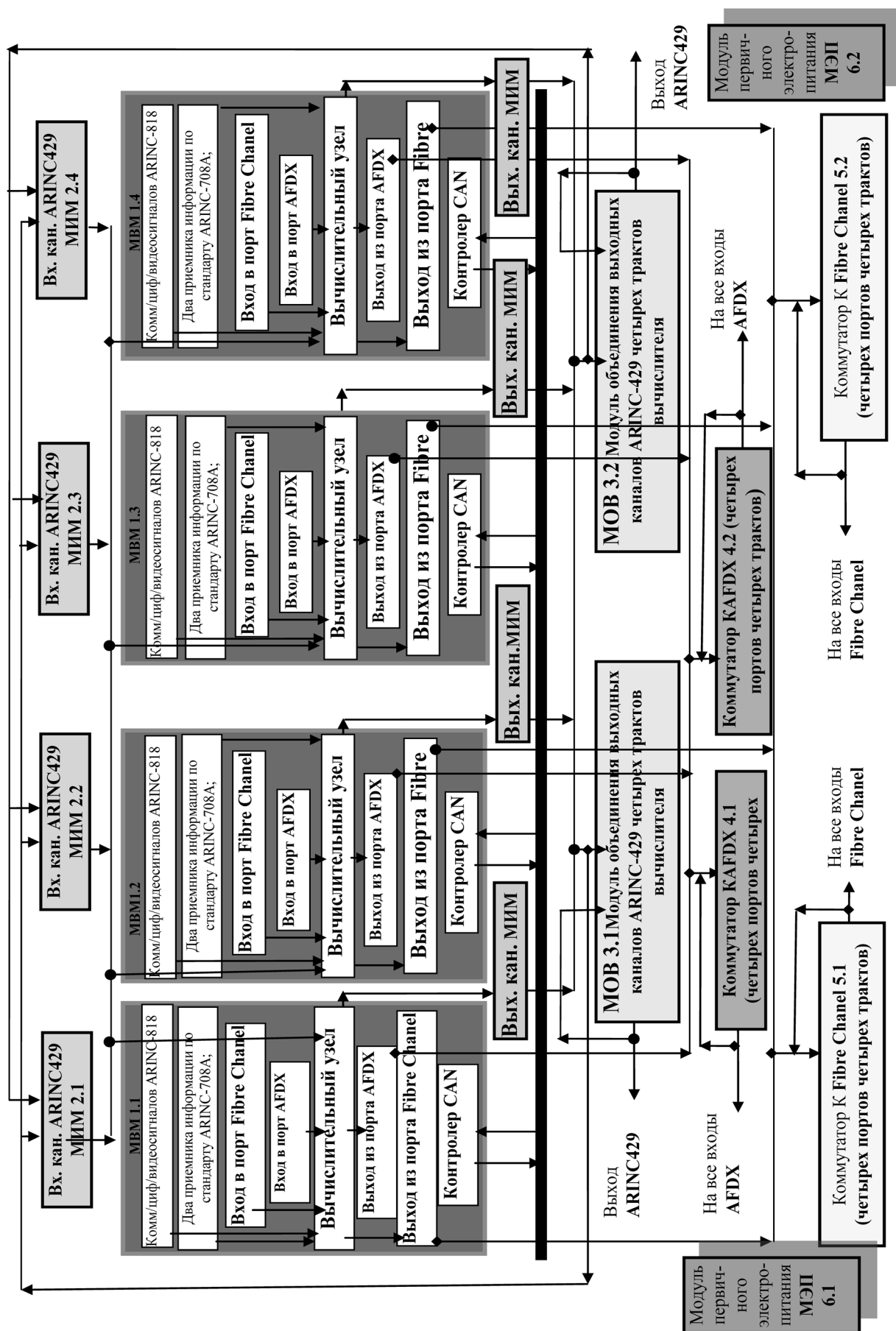


Рис. 1. Функциональная схема отказоустойчивой платформы ВУИИМА

КБО ЛА и передаваемой в другие системы КБО ЛА, на дуплексные порты коммутаторов.

Таким образом, КБО ЛА, состоящий из подсистем, созданных на основе платформ ВУИИМА, получает возможность структурироваться посредством максимально простой архитектуры, приведенной на рис. 2.

Наличие в многофункциональном вычислительном модуле (МВМ) каждого тракта программ системы управления избыточностью, включающего в свой состав программы мониторинга рабочего состояния и реконфигурации структуры платформы при возникновении разладок, позволяет выполнять все функции аппаратных и программных приложений подсистемы ИМА, а также изложенные выше функции коммутаторов с выполнением требований норм летной годности и регулярности полетов.

Ограничением архитектуры, приведенной на рис. 2, является количество подсистем ИМА, которое не может превышать числа «n», т.е. относительно количества систем предлагаемая простая архитектура является закрытой. Однако это ограничение не является недостатком архитектуры, потому что неоткрытость по количеству систем не позволяет создавать чрезмерно сложные КБО ЛА. Производительность современных вычислительных средств позволяет интегрировать в подсистему ИМА достаточно большой набор функций. Для КБО ЛА характерны следующие подсистемы ИМА:

- обработки инерциальных и высотно-скоростных параметров;
- самолетовождения и навигации;
- управления полетом;
- обработки информации зависимых наблюдений;

- отображения информации и сигнализации о состоянии систем на многофункциональных индикаторах;
- предупреждения критических режимов с искусственным интеллектом, содержащим информацию руководства летному экипажу и подсказки летному экипажу;
- внутри самолетной и внешней связи.

Как видно из этого перечня, типовых подсистем ИМА в КБО ЛА не более восьми. В перспективе их количество может только уменьшиться за счет повышения вычислительной производительности, что позволит объединить родственные подсистемы. Например, «Обработка инерциальных и высотно-скоростных параметров» и «Самолетовождение и навигация», а также подсистем «Управление полетом» и «Предупреждение критических режимов с искусственным интеллектом, содержащим информацию руководства летному экипажу и подсказки летному экипажу».

Наличие в МВМ каждого тракта программ системы управления избыточностью, включающего в свой состав программы мониторинга рабочего состояния и реконфигурации структуры платформы при возникновении разладок, позволяет выполнять все функции аппаратных и программных приложений системы ИМА, а также изложенные выше функции коммутаторов с обеспечением выполнения требований норм летной годности и регулярности полетов в межрегламентный период.

Литература

1. Авиационные правила. Ч. 25: Нормы летной годности самолетов транспортной категории. М.: Изд-во Межгос. Авиаци. комитета, 2009.
2. Типовые требования к эксплуатационно-техническим характеристикам комплексов бортового оборудования гражданских магистральных самолетов, самолетов МВЛ и авиации общего назначения. Утверждена заместителем директора ГосНИИ «Аэронавигация» В.Я. Кушельманом 10 мая 1994 г.
3. Авакян А. А., Ключев В. В. Синтез сложных многофункциональных отказоустойчивых систем электроники. М.: ИД «Спектр», 2014.

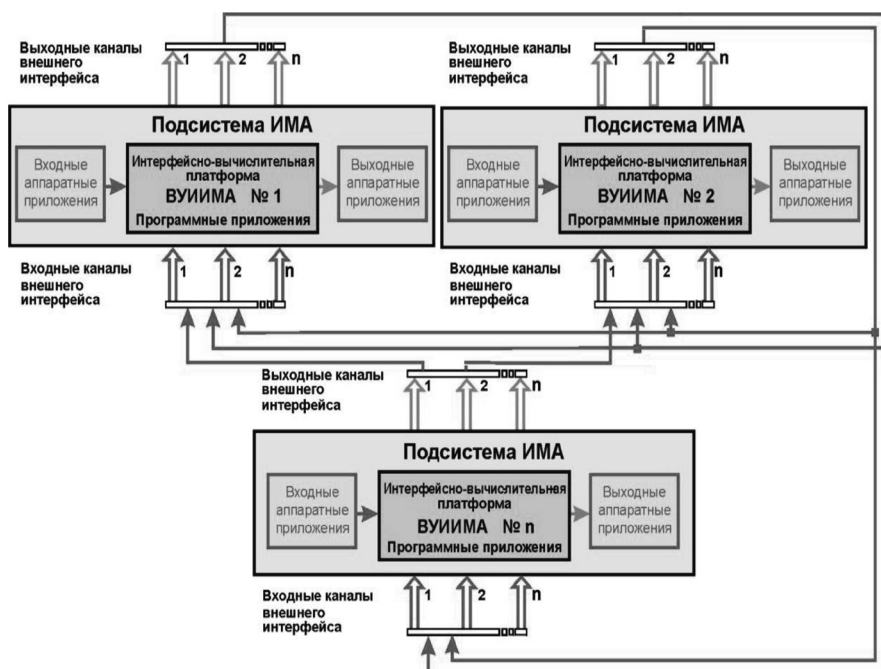


Рис. 2. Архитектура отказоустойчивого КБО ЛА