

УДК: 681.518.3

## **Разработка архитектуры бортового сервера данных для применения в составе комплекса радиоэлектронного оборудования с применением концепции интегрированной модульной авионики**

**Титов А.Г.<sup>1\*</sup>, Неретин Е.С.<sup>1,2\*\*</sup>, Дудкин С.О.<sup>1,2\*\*\*</sup>, Брусникин П.М.<sup>1,2\*\*\*\*</sup>**

<sup>1</sup>*ОАК-Центр комплексирования, Авиационный переулок, 5, Москва, 125167, Россия*

<sup>2</sup>*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*\*e-mail: [anton.titov@uac-ic.ru](mailto:anton.titov@uac-ic.ru)*

*\*\*e-mail: [evgeny.neretin@gmail.com](mailto:evgeny.neretin@gmail.com)*

*\*\*\*e-mail: [sergey.dudkin@uac-ic.ru](mailto:sergey.dudkin@uac-ic.ru)*

*\*\*\*\*e-mail: [Pavel.Brusnikin@uac-ic.ru](mailto:Pavel.Brusnikin@uac-ic.ru)*

***Статья поступила 22.03.2019***

### **Аннотация**

В современные комплексы бортового оборудования (КБО) входят системы, для которых необходимы хранение и обработка большого объема информации. При этом требуется обеспечивать доступ к данным в режиме реального времени.

Проведенный анализ существующих систем хранения данных показал, что на образцах отечественных воздушных судов информация хранится чаще всего на вычислителях, где основными функциями выступает не хранение данных, а обработка данных. Основная часть вычислительных ресурсов тратится на обеспечение работы приложений. Это приводит к медленной обработке запросов к базе данных (БД), что в свою очередь влияет на скорость работ систем, которым необходимы данные из БД или которые ведут запись в БД

Статья посвящена разработке бортового сервера данных (БСД) с применением концепции интегрированной модульной авионики (ИМА) для комплекса бортового радиоэлектронного оборудования среднемагистрального самолёта МС-21.

Основные функции, выполняемые БСД, – это хранение БД самолётных систем (например, бортовой системы технического обслуживания и системы самолетовождения), поддержка систем управления базами данных (СУБД) для этих БД и предоставление доступа к ним по запросам функциональных приложений в составе КБО.

БСД представляет собой отдельную вычислительную платформу сервера данных, который обеспечивает выполнение нескольких независимых функциональных приложений и взаимодействие с бортовым оборудованием по интерфейсам AFDX, USB, Ethernet, RS-232.

В статье предложены и описаны четыре режима функционирования: стартовый режим, рабочий режим, режим расширенного контроля и технологический режим, описан алгоритм перехода между режимами работы БСД.

Предложены требования к бортовому серверу данных, требования к программному обеспечению, архитектура и конструктивное исполнение бортового сервера данных.

Применение БСД позволит разгрузить вычислители функциональных приложений самолётных систем, упростить работу обслуживающего персонала, взаимодействующего с системой бортового технического обслуживания и экипажа

самолёта, составляющего план полёта с использованием навигационных данных, обрабатывающихся на сервере.

**Ключевые слова:** база данных, бортовой сервер данных, бортовая система технического обслуживания, интегрированная модульная авионика, архитектура сервера, модуль памяти.

### Введение

Современные комплексы бортового радиоэлектронного оборудования содержат в себе системы, требующие хранения и обработку больших объёмов данных на борту самолёта. При этом необходимо обеспечивать доступ к данным в режиме реального времени [1, 2, 3].

В частности, к таким системам относятся система самолётовождения (ССВ) и бортовая система технического обслуживания (БСТО). Объём базы данных таких систем могут достигать 10 Гб.

Обработка такого объема информации требует больших вычислительных ресурсов, ввиду чего проведение её на вычислителях с установленным функциональным программным обеспечением (ФПО) самолётных систем является нецелесообразным.

Целью данной статьи является разработка бортового сервера данных (БСД) для комплекса радиоэлектронного оборудования (БРЭО) среднемагистрального пассажирского самолёта МС-21-300 с применением концепции интегрированной модульной авионики (ИМА) [15, 17, 21].

БСД предназначен для использования в качестве вычислительной платформы сервера данных самолёта, обеспечивающей выполнение функций хранения баз данных и поддержки функций систем управления базами данных с квазиодновременным доступом к базам данных по запросам функциональных приложений в составе КБО [20]. Технический персонал получает доступ к БД БСТО, содержащей информацию обо всех отказах на борту самолёта за текущий и 63 предыдущих полёта. Для экипажа ВС предоставляется доступ к аэронавигационной базе данных (АНБД), содержащей информацию об аэропортах, схемах вылета и прибытия, воздушных трассах. Исходными данными для разработки БСД являются требования к комплексу БРЭО самолёта МС-21-300 [4, 5, 6].

Для достижения поставленной цели необходимо провести анализ существующих систем хранения данных и исходных данных на комплекс БРЭО, технических требований и стандартов DO-254 / КТ-254, DO-178С / КТ-178С, ГОСТ 18977-79, DO-160G / КТ-160G, которые описывают требования к разработке программного обеспечения и аппаратной части, внешних воздействующих факторов, условий эксплуатации оборудования [7, 8, 9, 10, 11, 12].

В рамках работы производилось составление технического задания на разработку сервера и спецификации требований к его архитектуре, осуществлялась разработка архитектуры БСД, разработка требований к ПО БСД и разработка конструктивного исполнения сервера данных.

## **Анализ существующих систем хранения данных на борту самолётов**

Рассмотрим существующие аналоги систем хранения данных зарубежных и отечественных производителей, эксплуатируемых на современных воздушных судах гражданской и транспортной авиации.

Устройства хранения данных применяются на многих зарубежных самолётах – Boeing, Airbus, Embraer и других фирм. У разных производителей такие устройства являются как отдельной системой (Thales), так и входят в состав другой системы (часто встречается в составе информационной системы (ИС)). Данные системы имеют довольно большой различный функционал – от обеспечения сетевой безопасности на борту, до хранения видео от системы видеонаблюдения. Но есть и общая функция, которая присуща всем данным системам – это хранение больших баз данных и предоставление доступа к ним в реальном масштабе времени.

Рассмотрим систему хранения данных на борту самолета компании UTC в составе системы «Network Server System» (NSS).

Network Server System (NSS) – главный компонент информационной системы, которая обеспечивает поддержку интерфейсов и информационное взаимодействие между различными системами самолета. NSS основан на платформе UTAS-SIS Aircraft Interface Device (AID). Архитектура системы и взаимодействие с другими системами представлены на рисунке 1.

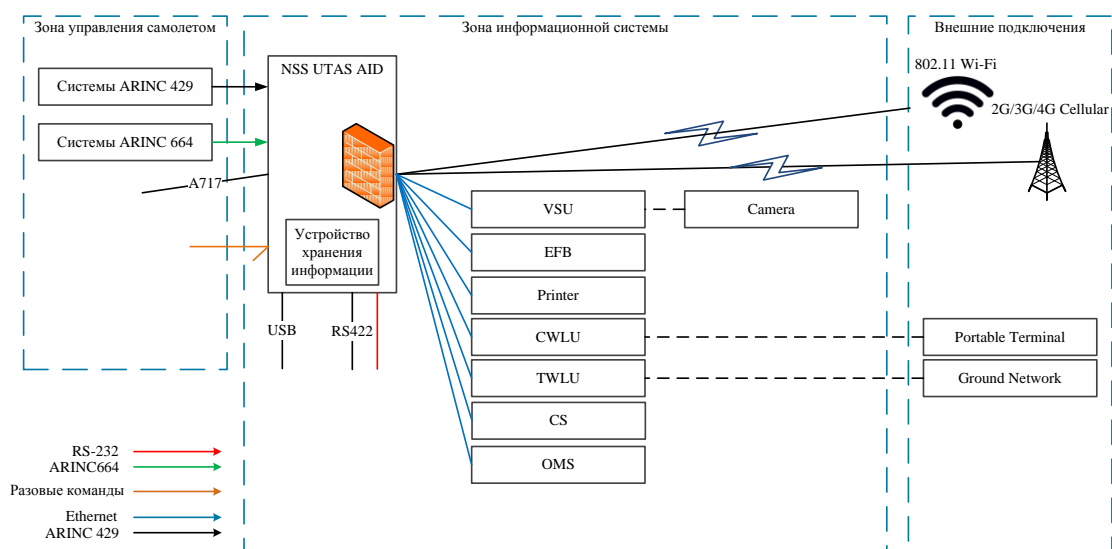


Рисунок 1 – Архитектура системы Aircraft Interface Device и взаимодействие с другими системами

Платформа AID разработана в соответствии со стандартами ARP 4754A, ARP 4761, RTCA/DO-297, DO-178B/C, DO-254, DO-160G и др. ПО, загружаемое в AID, имеет уровень не ниже E.

Одними из важных функций системы являются:

#### 1. Обеспечение сетевой безопасности

- Физическое разделение сетей, где возможно ограничить нежелательные перекрестные связи.
- Обеспечение аппаратного и/или программного (брандмауэр) разделения между различными доменами.
- Отключение каких-либо несистемных важных сервисов и каналов связей.
- Ограничение информационного обмена, инициируемого с «земных» систем.

- Поддержка цифровых подписей для загружаемого ПО.
- Использование инструментов COTS для обнаружения системных уязвимостей.
- Запись логов успешных и неуспешных сетевых запросов доступа.

## 2. Оптимизация параметров полета

Функция помогает экипажу вести полет с наиболее эффективным расходом топлива. AID обеспечивает доступ к запросам данных авионики.

## 3. Загрузка данных по ARINC 615

Функция обеспечивает загрузку данных по интерфейсу ARINC 429 согласно стандартам, ARINC 615A и ARINC 615.

## 4. Запись параметров полета

Функция обеспечивает автоматическую запись данных полета через заданные интервалы времени. Информация посылается на «землю». Если полет проходит не штатно, система увеличивает частоту записи и отсылки данных.

Еще одним зарубежным аналогом выступает система On-Board Data Server (ODS) компании Thales. В предложенной архитектуре для ODS функции разделены между уже установленным CRIOM MC 21, двумя безопасными прокси-серверами (SPS) LRU и Портативным терминалом доступа обслуживания (PMAT).

CRIOM обеспечивает безопасность критически важных функций и SPS размещают функциональное приложение. SPS – это аппаратные средства DAL-D по

DO-254, которыми управляет оперативный Гипервизор. SPS размещает разделы, выделенные функциям загрузки данных, BITE, A664 Ethernet и т.д. и раздел с встроенной Linux, файловым сервером и базой данных SQL.

SPS соединен с переключателем A664, уже установленным на MC 21, чтобы соединить интерфейсом с авиационной радиоэлектроникой и PMAT, содержащим NMI функции загрузки данных.

Архитектура системы On-Board Data Server и взаимодействие с другими системами представлены на рисунке 2.

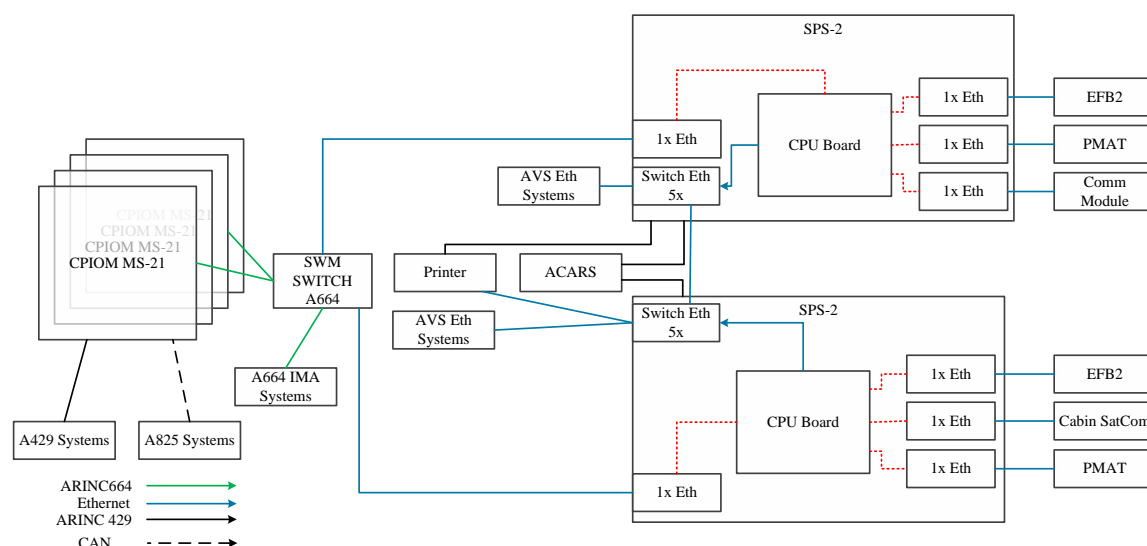


Рисунок 2 – Архитектура системы Aircraft Interface Device и взаимодействие с другими системами

Подобные решения предложены компанией Rockwell Collins. Система Secure Server Router (SSR) предназначена для хранения файлов и БД, поддержки приложений, обеспечения безопасности сетей, обеспечение беспроводной связи в кабине самолета и с наземными системами. Состоит из одного блока.



Основными функциями системы являются Поддержка приложений, загрузка ФПО, БД, файлов, поддержка соединения EFV.

На образцах отечественной авиационной техники для хранения баз данных отдельные системы ранее не использовались. На самолёте Sukhoi Superjet 100 БД хранились и обрабатывались каждая на своём вычислителе – БД БСТО на многофункциональном индикаторе (МФИ), аэронавигационная база данных (АНБД) на вычислителе ССВ. Схема хранения и предоставления доступа к БД представлена на рисунке 3.

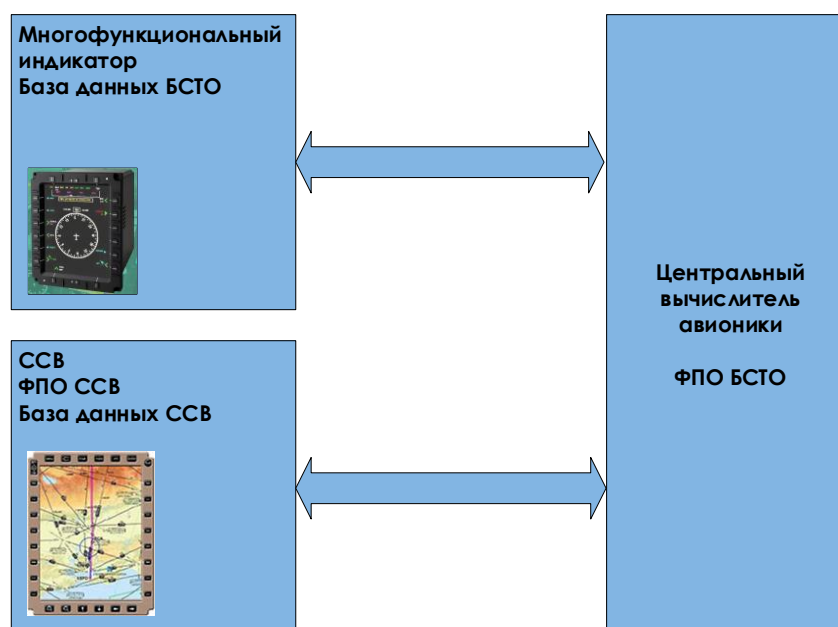


Рисунок 3 – Схема реализации хранения и предоставления доступа к БС БСТО и АНБД на SSJ-100

Ни для МФИ, ни для вычислителя ССВ хранение БД и обработка запросов к ним не является основной функцией. Большая часть вычислительных ресурсов тратится на обеспечение работы функциональных приложений, что приводит к

медленной обработке запросов к БД. Это в свою очередь влияет на скорость работ систем, которым необходимы данные из БД или которые ведут запись в БД [13, 18].

### **Схема взаимодействия БСД с сопряженными системами**

Характеристики разрабатываемого БСД должны соответствовать требованиям руководящего документа ARINC 624-1 Design guidance for onboard maintenance system и требованиям технического задания на комплекс БРЭО самолёта МС-21 [14].

Исходя из требований на комплекс БРЭО и требований ARINC 624-1 сервер БСД должен обеспечивать информационный обмен с БСТО по бортовой локальной вычислительной сети ADN по резервированному каналу AFDX в соответствии со стандартом ARINC 664.

Также с целью проведения технологического обслуживания сервер должен обеспечивать информационный обмен по технологическим интерфейсам: USB, RS-232, ARINC 600 (Ethernet), РК. Схема взаимодействия БСД с сопряженными системами представлена на рисунке 4 [16].

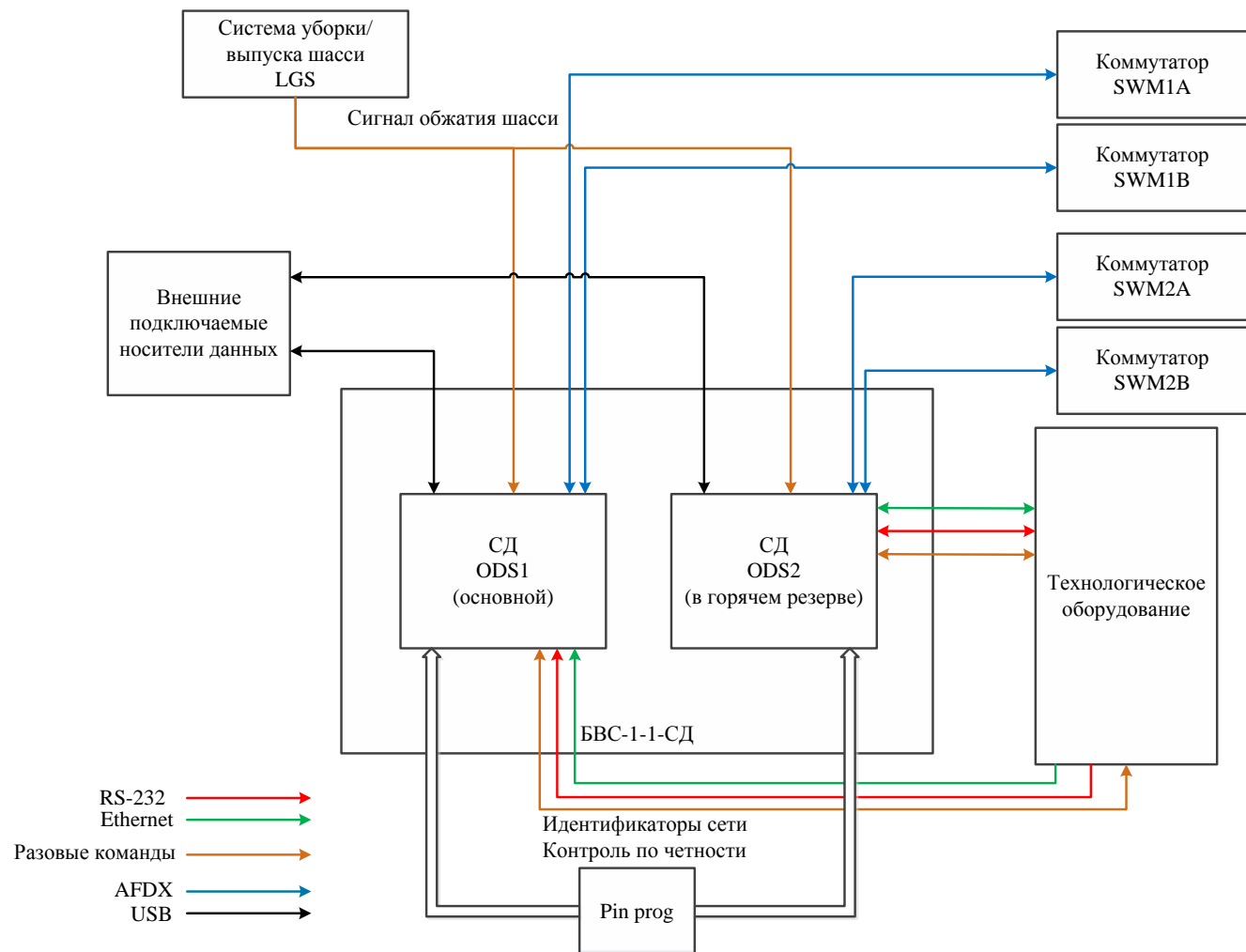


Рисунок 4 – Схема взаимодействия БСД с сопряженными системами

В сервере должны быть предусмотрены четыре режима функционирования: стартовый режим, рабочий режим, режим расширенного контроля и технологический режим.

Стартовый режим запускается автоматически при подаче питания. В нём должны быть проведены:

- инициализация аппаратуры блока;
- стартовый контроль аппаратуры;
- определение идентификационного адреса сервера в самолётной сети по комбинации входных разовых команд (РК).

По прохождению стартового контроля БСД должен сформировать РК «Сигнал исправности». Стартовый режим должен длиться не более 45 секунд с момента подачи питания.

Запуск режима расширенного контроля выполняется при приёме от системы БСТО команды инициализации интерактивного режима. В данном режиме доступно проведение тестов расширенного контроля с целью определения исправности блока.

БСД должен переходить в технологический режим в случае одновременного наличия РК «Технологический режим» и РК «Сигнал обжатия шасси» во время процедуры инициализации при запуске. Выход из технологического режима производится отключением питания или подачей РК «Ручной сброс».

Алгоритм перехода между режимами работы БСД представлен на рисунке 5.

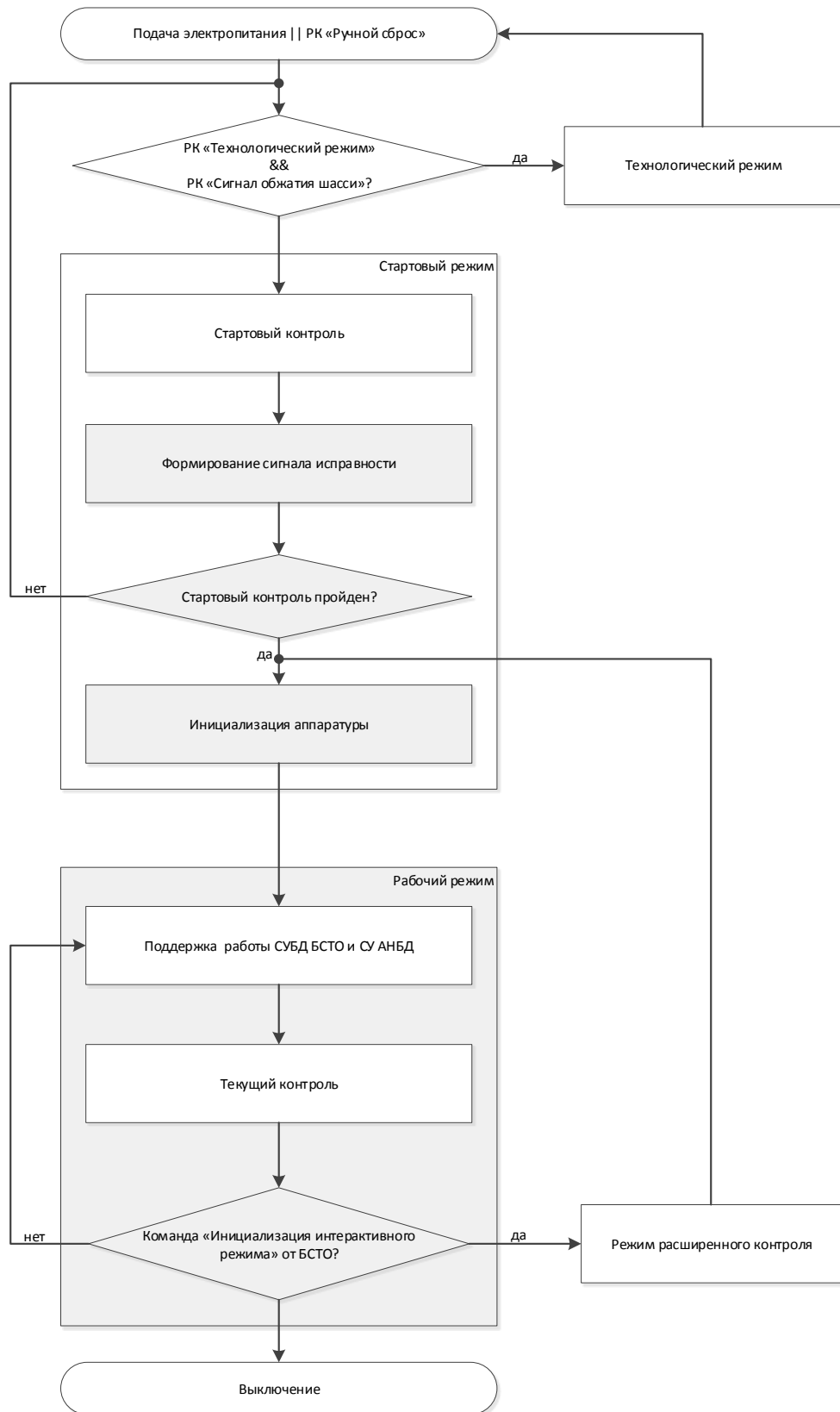


Рисунок 5 – Алгоритм перехода между режимами

## Разработка архитектуры бортового сервера данных

В соответствии с техническими требованиями к комплексу БРЭО аппаратная часть БСД должна быть разработана с применением концепции интегрированной модульной авионики и иметь уровень гарантии проектирования в соответствии с DO-254/КТ-254 не ниже С [9, 12, 19].

Разработанная архитектура БСД представлена на рисунке 6.

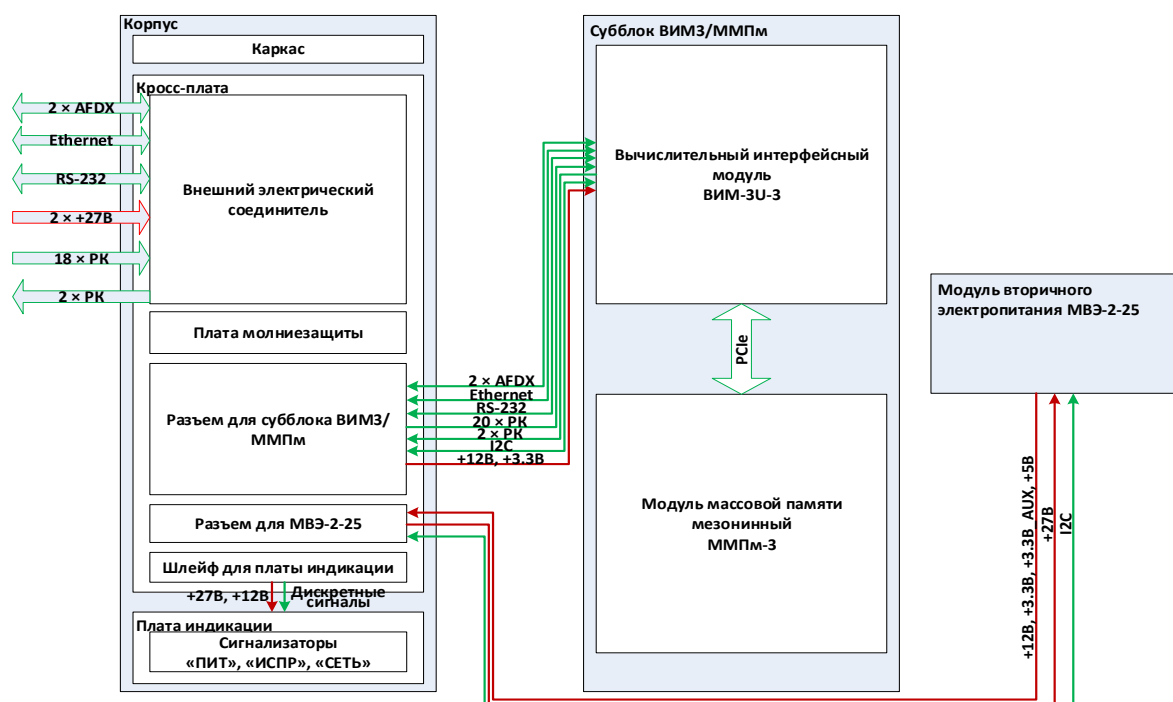


Рисунок 6 – Разработанная архитектура блока БСД

В качестве вычислительно-интерфейсного модуля выбран ВИМ-3U-3 на базе процессора Freescale P1010 с архитектурой PowerPC с установленной ОСРВ VxWorks-653. Данный модуль обладает следующими характеристиками:

- ОЗУ 256 Мбайт с коррекцией ошибок;
- ПЗУ NOR FLASH 64 Мбайт;
- ПЗУ NAND FLASH 64 Мбайт;

- ПЗУ nvRAM 256 Кбайт;
- набор интерфейсов: PCIe 2,5 Gbps, AFDX (ARINC 664) x2, Ethernet (ARINC 646), RS-232 x2, 8 входных РК, 2 выходных РК, 10 конфигурационных РК, I2C, JTAG;
- электропитание +12 В, +3,3 В, 27 В;
- потребляемая мощность 7 Вт.

В качестве модуля памяти выбран модуль ММПм-3, удовлетворяющий всем предъявляемым требованиям. Основные характеристики модуля:

- интерфейс PCIe;
- ёмкость накопителя 256 Гбайт SSD;
- электропитание +12 В, +3,3 В;
- потребляемая мощность не более 15 Вт.

### **Конструктивное исполнение БСД**

БСД должен обладать типоразмером 1 MCU в соответствии со стандартом ARINC 600. Размер блока должен быть не более: по высоте – 197 мм, по ширине – 30 мм, по длине – 365 мм. Масса не должна превышать 3 кг.

На лицевую панель блока БСД должны быть выведены светодиодные индикаторы исправности, наличия напряжения сети, вторичного электропитания, а также должен быть выведен технологический разъём, содержащий порты Ethernet, RS-232 и входные РК «Ручной сброс» и РК «Технологический режим». Со стороны лицевой панели должна быть предусмотрена ручка для переноски.

Исходя из предложенной архитектуры системы, можно считать, что модули МВИ-3U-3, ММПм-3, МВЭ-2-25, кросс-плата соединены последовательно. Отказ одного из них приводит к отказу блока. Интенсивность отказов изделия при последовательном соединении элементов рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{\text{изделия}} = \sum \lambda_{\text{посл}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{посл}}$  – суммарная интенсивность отказов элементов, соединенных последовательно.

Интенсивность отказа модуля определяется по формуле:

$$\lambda_{\text{элемента}} = \frac{1}{T_c}. \quad (2)$$

Так как отказ платы индикации не приводит к нарушению работоспособности БСД, её можно не учитывать при расчёте надёжности блока.

В результате проведённых расчётов суммарная интенсивность блока:

$$\lambda_{\text{изделия}} = 1,1 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}.$$

Вероятность безотказной работы блока в течение одного часа:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\text{изделия}} \cdot t} = 0,999998 \quad (3)$$

Вероятность отказа блока в течение одного часа:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 2 \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

Средняя наработка блока на отказ и повреждение:



$$T_C = \frac{1}{\lambda_{\text{изделия}}} = 90909 \text{ ч.} \quad (5)$$

С учётом двукратного нагруженного резервирования блока расчёт надёжности представлен ниже.

Вероятность безотказной работы системы:

$$P(t)_P = 1 - (1 - e^{-\lambda_{\text{изделия}} t})^2 = 0,999999. \quad (6)$$

Вероятность отказа системы в течение часа:

$$Q(t)_P = 1 - P(t)_P = 1 \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

Средняя наработка системы на отказ и повреждение:

$$T_{cp} = \sum_{i=0}^n \frac{1}{i+1} = 1,5 \cdot T_C = 136363,5 \text{ ч,} \quad (8)$$

что превышает требуемое значение 40 000 ч более чем в 3 раза.

Проведённый расчёт показателей надёжности БСД показал соответствие полученных характеристик требуемым.

### Заключение

На основе проведённого анализа существующих систем хранения данных, требований авиационных стандартов и требований технического задания на комплекс БРЭО сформулированы требования на разработку бортового сервера данных самолёта МС-21-300, разработаны требования верхнего уровня к программному обеспечению БСД, разработана архитектура блока БСД, произведён

анализ надёжности БСД, подтвердивший соответствие требований разработанного блока требованиям ТЗ.

Применение данного блока позволит упростить работу обслуживающего персонала, взаимодействующего с системой бортового технического обслуживания и экипажа самолёта, составляющего план полёта с использованием навигационных данных, обрабатываемых на сервере.

Блоки подобного типа ранее не использовались на образцах отечественной авиационной техники, а предыдущие решения проигрывают данному по совокупности параметров, поэтому проводить разработку БСД целесообразно.

### **Библиографический список**

1. Дудкин С.О., Брусникин П.М., Копылов И.А., Неретин Е.С. Разработка бортового сервера данных на базе интегральной модульной авионики для самолета МС-21-200 // XLIV Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения – 2018». Сборник тезисов докладов. (Москва, 17-20 апреля 2018). - М.: Изд-во МАИ, 2018. Т. 2. С. 56.
2. Копылов И.А., Брусникин П.М., Дудкин С.О., Неретин Е.С. Разработка архитектуры бортового сервера данных с применением концепции ИМА // XXVI международная научно-техническая конференция «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации». Сборник трудов. (Алушта, 14-20 сентября 2017). – М.: ИД «МЕДПРАКТИКА-М», 2017. С. 44 - 45.

3. Дудкин С.О., Брусникин П.М. Бортовой сервер данных с применением интегральной модульной авионики для самолёта МС-21 // 25-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2018». Тезисы докладов. (Зеленоград, 18 - 19 апреля 2018). – М.: МИЭТ, 2018. С. 114.
4. Авакян А.А. Унифицированная интерфейсно-вычислительная платформа для систем интегрированной модульной авионики // Труды МАИ. 2013. № 65. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35845>
5. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики: монография. – М.: Машиностроение, 2010. – 224 с.
6. MS-21 Program Integrated Modular Avionics System. CPIOM Specification, EU, THALES Avionics, 2012, 97 p.
7. ГОСТ 18977-79. Комплексы бортового оборудования самолетов и вертолетов. Типы функциональных связей. Виды и уровни электрических сигналов. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
8. Квалификационные требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники. КТ-178С. – М.: АР МАК, 2016. – 106 с.
9. Руководство по гарантии конструирования бортовой электронной аппаратуры. КТ-254. – М.: АР МАК, 2008. – 84 с.

10. DO-178C. Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification, USA, Washington, DC: TCA, Inc. 2011, 144 p.
11. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. (Внешние воздействующие факторы – ВВФ). Требования, нормы и методы испытаний. КТ-160G. – М.: АР МАК, 2014. – 324 с.
12. DO-254. Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware, USA, Washington, DC: RTCA, Inc. 2000, 137 p.
13. Агеев В.М., Павлова Н.В. Приборные комплексы летательных аппаратов и их проектирование. – М.: Машиностроение, 1990. – 432 с.
14. ARINC 624-1. Design guidance for onboard maintenance system. Published: August 30, 1993, 102 p.
15. Igor Kabashkin. Design of Embedded Architecture for Integrated Diagnostics in Avionics Domain // 16th Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, Riga, Latvia, 19-22 October, 2016, available at: [https://mafiadoc.com/design-of-embedded-architecture-for-integrated-sciencedirect\\_5b266006097c47302a8b459c.html](https://mafiadoc.com/design-of-embedded-architecture-for-integrated-sciencedirect_5b266006097c47302a8b459c.html)
16. Jian FU, Jean-Charles MARE, Liming YU, Yongling FU. Multi-level virtual prototyping of electromechanical actuation system for more electric aircraft // Chinese Journal of Aeronautics, 2018, no. 31, pp. 892 - 913.
17. Zehai Gao, Cunbao Ma, Yige Luo, Zhiyue Liu. IMA health state evaluation using deep feature learning with quantum neural network // Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2018, no. 76, pp. 119 - 129.

18. John Larmouth. ASN.1 Complete. Open Systems Solutions, Morgan Kaufmann Publishers, 1999, pp. 47 - 58.
19. Thomas Gaska, Chris Watkin, Yu Chen. Integrated Modular Avionics - Past, present, and future // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2015, no. 30, pp. 12 - 23.
20. DO-297. Integrated Modular Avionics (IMA) Development. Guidance and Certification Considerations, USA, Washington, 2005, 137 p.
21. Поляков В.Б., Неретин Е.С., Иванов А.С., Будков А.С., Дяченко С.А., Дудкин С.О. Архитектура перспективных комплексов управления бортовым оборудованием // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <https://mai.ru/publications/index.php?ID=93292>