

АРХИТЕКТУРА КОМПЛЕКСА БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТРАНСПОРТНОГО САМОЛЁТА

Арутюнов А.Г.* , Кривиченко Я.О.** , Медведев А.С.*** , Орлов В.С.****

*Авиакомпания «Волга-Днепр»,
ул. Карбышева, 14, Ульяновск, 432072, Россия
* e-mail: artem.arutyunov@volga-dnepr.com
** e-mail: yaroslav.krivichenko@volga-dnepr.com
*** e-mail: andrey.medvedev@volga-dnepr.com
**** e-mail: vladimir.orlov@volga-dnepr.com*

Представлена архитектура бортового радиоэлектронного оборудования перспективного транспортного самолёта, отвечающая современным мировым требованиям концепции CNS/ATM, построенная по принципам интегрированной модульной авионики. Приводятся состав и техническое описание вычислительной части комплекса, компоновка информационно-управляющего поля кабины. Рассмотрен состав бортового функционального программного обеспечения, реализующего выполнение функций связи, навигации и наблюдения.

Ключевые слова: комплекс бортового оборудования, интегрированная модульная авионика, сетевая архитектура, функциональное программное обеспечение.

Введение

В рамках конкурса «Перспективный транспортный самолёт XXI века», проводимого группой компаний «Волга-Днепр» в 2014 г. был сформирован облик перспективного транспортного самолёта (ПТС). Для этого самолёта разрабатывается проект архитектуры комплекса бортового оборудования (КБО), отвечающий современным требованиям к функциям аэронавигации и управления воздушным движением и принципам построения КБО.

Реализация концепции «Связь, навигация и наблюдение при организации воздушного движения» CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management) накладывает новые требования на системы бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО). Глобальный аэронавигационный план ИКАО на 2013—2028 гг. [1] описывает методику блочной модернизации системы гражданской авиации и технические дорожные карты, определяя сроки внедрения технологий, которые будут обеспечивать выполнение требований, предъявляемых глобальной навигационной системой к системам связи, навигации и наблюдения, управлению информацией и бортовому радиоэлектронному оборудованию.

Применение новых средств связи, навигации и наблюдения позволит повысить уровень безопасно-

сти полетов, пропускную способность и эффективность системы организации воздушного движения, сократит вредные воздействия воздушного транспорта на окружающую среду. Воздушные суда (ВС) смогут использовать наиболее эффективные маршруты, уменьшая при этом время полета и расход топлива.

На сегодняшний день основным направлением развития КБО является интеграция функций разрозненных бортовых систем в многофункциональные вычислительные комплексы. Базовой концепцией построения интегрированного комплекса бортового оборудования (ИКБО), способной удовлетворить современным и перспективным техническим, экономическим и организационным требованиям, является концепция интегрированной модульной авионики (ИМА).

Внедрение на ВС ИКБО на базе концепции ИМА позволяет обеспечить высокую надежность, широкую функциональность, соответствие современным требованиям к БРЭО в условиях максимальной экономичности обслуживания.

Концепция интегрированной модульной авионики

Концепция ИМА [2—4] основывается на принципах открытой сетевой архитектуры и единой вычислительной платформы. Под единой вычисли-

тельной платформой подразумевается создание унифицированной модульной аппаратной структуры, основными элементами которой являются:

- вычислительный крейт, обеспечивающий аппаратными мощностями исполняемое программное обеспечение (ПО). Платформа ИКБО ИМА в общем случае включает в свою структуру несколько вычислительных крейтов;

- удаленные концентраторы, реализующие связь разнородных устройств из состава БРЭО (датчиков, исполнительных устройств, вычислителей периферийных систем и пр.) с вычислительным ядром платформы ИМА;

- сетевые коммутаторы AFDX (Avionics Full-Duplex Switched Ethernet), служащие для объединения элементов ИКБО в единую бортовую информационную сеть и управления информационным обменом;

Принцип открытой сетевой архитектуры реализуется организацией информационного обмена между крейтами вычислительной платформы посредством применения протоколов связи AFDX.

Принципы построения ИКБО

ИКБО ПТС состоит из вычислительной части, информационно-управляющего поля (ИУП) кабины и периферийных систем КБО.

Вычислительная часть представляет собой комплекс аппаратно-программных средств, объединенных в единую сеть передачи информации, осуществляющий функции обработки информации и формирования управляющих сигналов. Вычислительная часть состоит из следующих компонентов:

- крейтов центральной информационно-управляющей системы (ЦИУС), обеспечивающих исполнение программного обеспечения, осуществляющего функции обработки сигналов с органов управления и источников первичной информации, управления системами бортового радиоэлектронного оборудования, формирования данных для вывода на индикацию. В совокупности с возможностями реконфигурации ИМА-систем, дублирование крейта позволяет обеспечить высокий уровень надежности;

- крейтов подсистемы радионавигации и связи CNS/ATM, состоящих из специализированных аппаратных и программных модулей, решающих задачи цифровой обработки сигналов (ЦОС) и управления приемопередающим оборудованием радиочастотных (РЧ) модулей. Особенности задач ЦОС требуют специальных аппаратных средств для обработки сигналов и управления РЧ модулями. Учитывая критичность выполняемых функций, для

подсистемы выбрали двукратное аппаратное резервирование;

- крейтов вычислительной системы управления полетом и двигателями (ВСУПД), обеспечивающих формирование сигналов для управления рулевыми поверхностями самолета, а также осуществляющих функции улучшения устойчивости и управляемости, триммирования и балансировки. Выделение под вышеописанные задачи аппаратных средств в виде отдельного крейта, как и двукратное физическое резервирование, продиктовано высочайшей степенью критичности выполняемых функций и особыми требованиями к отказобезопасности и отказоустойчивости системы управления полетом;

- коммутаторов AFDX сети, предназначенных для объединения элементов ИКБО в единую сеть передачи данных и для маршрутизации данных внутри этой сети. Коммутаторы представляют собой отдельный конструктив, каждый из которых способен обеспечивать подключение до 24 каналов передачи данных;

- удаленных крейт-концентраторов, реализующих интеграцию элементов периферийного и общесамолетного оборудования в единую AFDX сеть посредством коммутации ее с линиями связи, использующими другие протоколы передачи данных. Архитектура ИКБО ПТС подразумевает распределенное внутри фюзеляжа ВС множество удаленных крейтов-концентраторов. Их расположение позволяет оптимизировать маршрутизацию данных, снизить запаздывания прохождения сигналов в контурах управления и минимизировать количество проводов в составе КБО.

Обобщенная структурная схема вычислительной части ИКБО представлена на рис. 1.

Информационно-управляющее поле кабины экипажа реализует индикационное и сигнализационное обеспечение экипажа, а также включает полный спектр органов управления системами самолета и элементами КБО.

Основой индикационной части ИУП выбрана схема с пятью мультифункциональными индикаторами (МФИ) диагональю 15 дюймов, из которых четыре располагаются по два напротив каждого из пилотов и еще один — на центральной панели. Такая компоновка позволяет оптимально распределить информационную нагрузку и гарантировать наиболее удобную для пилотов реконфигурацию отображаемой информации при единичных отказах МФИ. Также в состав ИУП включены индикаторы на лобовом стекле (ИЛС), интегрированная система резервных приборов (ИСПП) и дисплеи электронных планшетов Electronic Flight Bag (EFB)

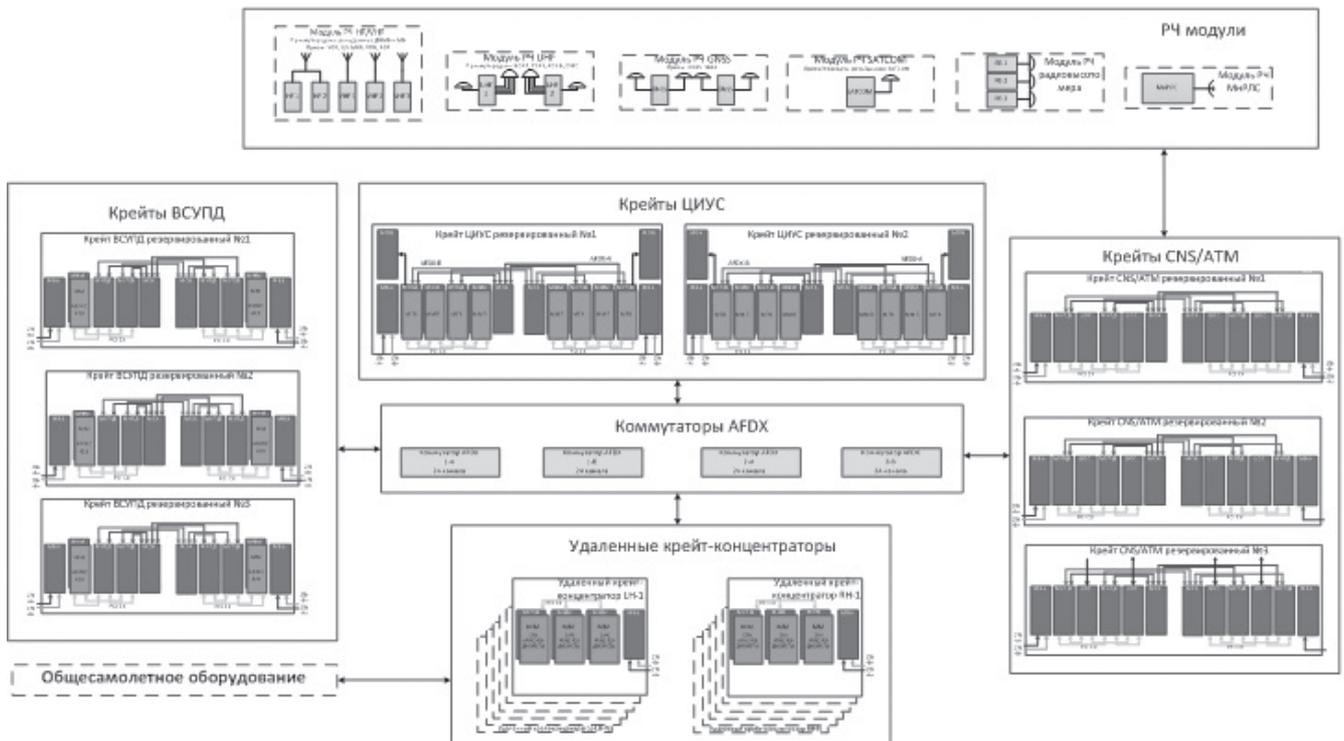


Рис. 1. Обобщенная структурная схема вычислительной части ИКБО

для обоих пилотов. Схема размещения пультов в целом соответствует общепринятой и доказавшей свою эффективность и эргономичность на современных ВС. Структурная схема ИУП представлена на рис. 2.

Периферийные системы выполняют специализированные функции и в силу конструктивных особенностей не входят в состав ИМА-платформы. К таким системам относятся: совмещенная система

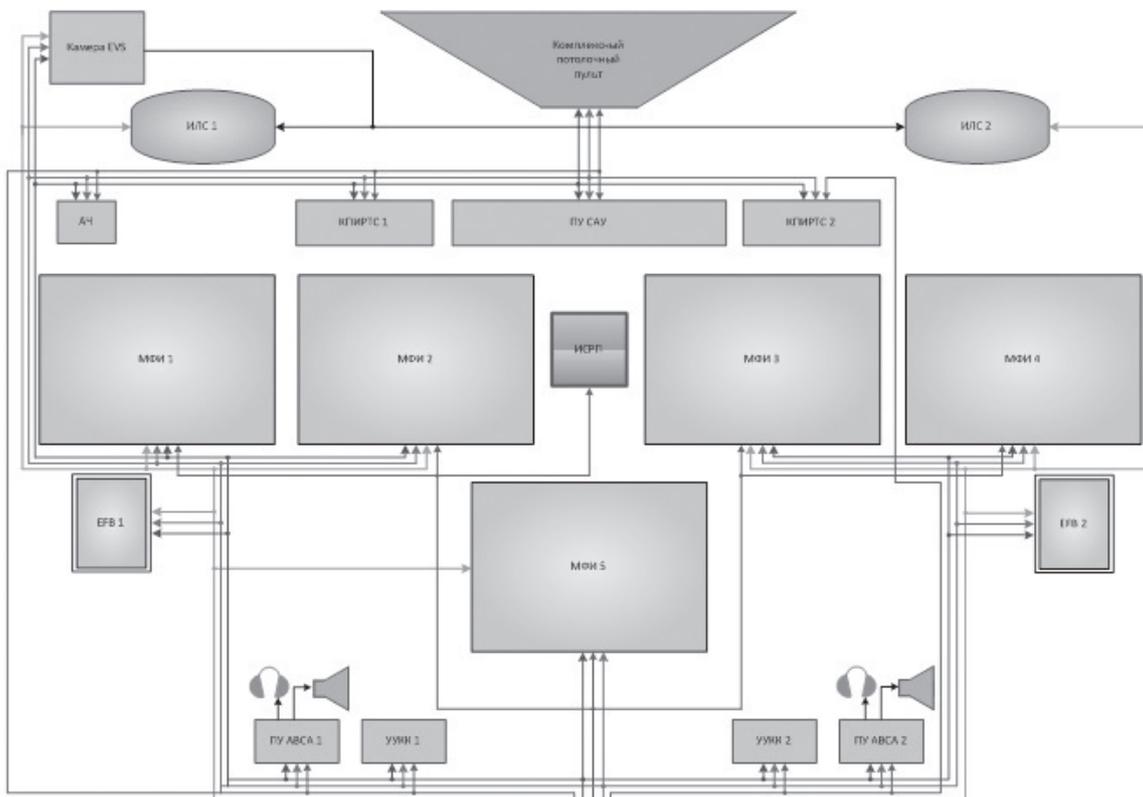


Рис. 2. Структурная схема информационно-управляющего поля

воздушных сигналов и инерциальная система ADIRS (Air Data Inertial Reference System); система регистрации речевых и параметрических данных; авиационные аварийные маяки ELT (Emergency Locator Transmitter); модуль персональной информации ВС АРМ (Aircraft Personality Module); бортовой принтер; тепловизор системы улучшенного видения EVS (Enhanced Vision System).

Компоновка информационно-управляющего поля кабины ПТС

Подсистема отображения информации ИУП предназначена для индикационного обеспечения экипажа информацией для осуществления самолетовождения и навигации, информацией о функционировании элементов и подсистем ИКБО и самолетных систем, а также выдачи штатной и отказной сигнализации.

В состав подсистемы отображения информации ИУП входят пять МФИ. Каждый МФИ представляет собой унифицированное комплектующее изделие, способное выполнять любые функции по отображению информации. Специфические функции отображения информации конкретного МФИ определяются местом установки его в кабине экипажа.

Для организации отображения информации на МФИ используется оконная система размещения информационных кадров. При этом на кадре может быть применен послойный вывод информации.

Функцией по умолчанию для МФИ 1 и МФИ 4 является отображение для КВС и 2П соответственно информации комплексного пилотажного индикатора (КПИ), включающего авиагоризонт, указатели параметров полета в вертикальной плоскости (высоты, угла тангажа, вертикальной скорости, нормальной перегрузки, угла атаки), указатели курса, указатели VOR и ILS. Также на МФИ 1 и МФИ 4 по умолчанию могут индицироваться часы (CLOCK), поле отображения чеклистов штатных и экстренных ситуаций (CHKL) и меню обмена текстовыми сообщениями по линии CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communication). На кадр КПИ в поле авиагоризонта возможно выводить слои информации от систем улучшенного (EVS) и синтетического SVS (Synthetic Vision System) видения. В поле указателя курса можно выводить информацию от метеонавигационной радиолокационной станции (МнРЛС), системы предупреждения столкновений TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System), системы предупреждения близости земли TAWS (Terrain Awareness and Warning System).

МФИ 2 и МФИ 3 по умолчанию делят плоскость дисплея в вертикальной плоскости на две равные части для отображения двух индикационных кадров. По умолчанию на этих МФИ отображаются кадры комплексного индикатора навигационной обстановки (КИНО) и комплексного индикатора самолетных систем (КИСС). Кадр КИНО с динамическим отображением навигационной обстановки (по умолчанию на левом кадре МФИ 2 и правом кадре МФИ 3) представляет информацию в следующих режимах:

- режим карты (схема полета по курсу; с возможностью вывода слоев МнРЛС, системы TCAS, системы TAWS, слоя вертикального профиля полета);

- режим плана полета (схема полета на север);

- режим радионавигации.

Кадр КИСС отображает состояние основных параметров силовой установки и общесамолетных систем. На одном из кадров КИСС необходимо постоянно выводить данные системы индикации параметров работы двигателя и предупреждения об отказах.

МФИ 5 предназначен для отображения по умолчанию двух (для каждого из членов экипажа) виртуальных интерактивных многофункциональных пультов управления (МФПУ) вычислительной системы самолетовождения (ВСС).

Распределение индикационных кадров по всем МФИ, входящим в ИУП, изображено на рис. 3. Каждый из вышеописанных индикационных кадров может отображаться на любом из пяти МФИ. Реконфигурация отображения информации осуществляется как по командам экипажа, так и автоматически, при отказах МФИ.

Функции, выполняемые ИКБО ПТС

Функции систем бортового оборудования в рамках концепции ИМА выполняют программные приложения, называемые функциональным программным обеспечением (ФПО). ФПО работает под управлением операционной системы реального времени (ОСРВ), по стандарту ARINC 653 [5]. Разработка и жизненный цикл ФПО, равно как и разбиение по уровням критичности, регулируются и сертифицируются в соответствии с требованиями DO-178C [6].

Основным вычислителем для ПО, реализующего функции связи, навигации и наблюдения, является крейт ЦИУС, а для специализированного ФПО, требующего специальных аппаратных средств обработки сигналов, используется крейт CNS/ATM.

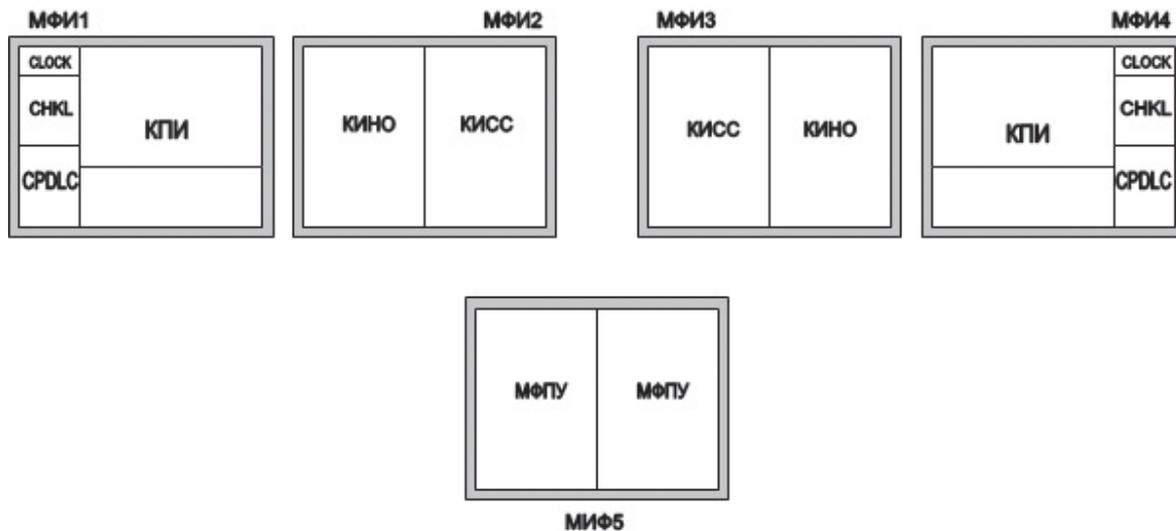


Рис. 3. Распределение индикационных кадров на МФИ

Функции связи выполняет программное обеспечение цифрового обмена данными, предназначенное для обеспечения информационного автоматизированного обмена данными по линии «борт—земля—борт» с центрами управления воздушным движением и центром управления полетами авиакомпании посредством сетей авиационной связи ACARS и ATN по HF, VHF и спутниковому каналу связи в режимах VDL-A, VDL-2, HF DL, SATCOM. ФПО связи также служит для формирования и выдачи в ИУП сигналов речевого и визуального воспроизведения экипажу стандартных формализованных сообщений, световой и звуковой сигнализации о приеме сообщений, полученным по каналам обмена данными.

Задачи навигации решают приложения вычислительной системы самолетовождения, выполняемые в ЦИУС. При штатном функционировании систем первичной информации, ВСС должна обеспечивать наиболее жесткие требования PBN: RNAV 1 и RNP 0.1.

Функции наблюдения реализуют системы: автоматического зависимого наблюдения вещательного ADS-B (Automatic Dependent Surveillance — Broadcast); информирования о воздушном движении TIS-B (Traffic Information Service — Broadcast); предупреждения столкновения самолётов в воздухе TCAS; наблюдения за земной поверхностью TAWS; наблюдения за метеобстановкой.

Приложения автоматического зависимого наблюдения вещательного ADS-B позволяют повысить ситуационную осведомленность экипажа в полете и на поверхности аэродрома [7].

Система предупреждения столкновения самолётов в воздухе TCAS предназначена для определения относительного положения сближающихся ВС и

выдачи рекомендаций экипажу по предотвращению столкновений, а также для обеспечения сокращенного минимума вертикального эшелонирования RVSM (Reduced Vertical Separation Minima).

Функция наблюдения за земной поверхностью реализуется системой предупреждения о сближении с земной поверхностью TAWS, формирующей отображение подстилающего рельефа местности по курсу полета ВС с цветной кодировкой опасных участков. Система TAWS формирует звуковую и визуальную сигнализацию в случае распознавания потенциально опасных ситуаций в процессе полета.

Наблюдение за метеобстановкой предназначено для формирования сигнализации при обнаружении опасных метеорологических явлений и информационного обеспечения для индикации карт метеобстановки. ФПО наблюдения за метеобстановкой обеспечивает обнаружение непогоды, формирование информации о непогоде на малых высотах, обнаружение турбулентности, обнаружение сдвига ветра, прогнозирование зон возникновения молний и града, защиту при пролете грозных фронтов сверху, по информации от бортовой МнРЛС и передаваемой по цифровым метеорологическим сервисам.

Выводы

На сегодняшний день ИМА применяется ведущими производителями при построении КБО на таких ВС, как Airbus 380 и Boeing 787, принципы ИМА также реализуется в проекте отечественного самолета МС-21.

Предложенный проект ИКБО отличается более глубокой интеграцией ИМА-систем, в нём реализуются функции системы автоматического управ-

ления, пилотажно-навигационного и радиосвязного оборудования. Проект ИКБО ПТС представляет собой масштабируемый мультифункциональный отказоустойчивый комплекс, соответствующий требованиям к оборудованию ВС транспортной категории, а также удовлетворяющий перспективным требованиям к функциям аэронавигации и управления воздушным движением ICAO и Eurocontrol, в частности он реализует концепцию системы CNS/ATM.

Библиографический список

1. Глобальный аэронавигационный план на 2013-2028 гг. ИКАО Doc 9750-AN/963. Издание четвертое. — Монреаль, Канада: Международная Организация Гражданской Авиации, 2013. — 128 с.
2. Федосов Е.А., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Интегрированная модульная авионика // Радиоэлектронные технологии. 2015. № 1. С. 66-71.
3. Чуянов Г.А., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Перспективы развития комплексов бортового оборудования на базе интегрированной модульной авионики // Известия Южного федерального университета. 2013. № 3 (140). С. 55-62.
4. Данилов В.Ю. Перспективы создания объединенной бортовой радиосистемы CNS/ATM на базе технологий ИМА. URL: www.modern-avionics.ru/Files/02-GosNIIAS-Danilov-29.08.2013.ppt, 29.08.13.
5. Avionics Application Software Standard Interface, ARINC Specification 653-1, Annapolis, USA, 2003. — 216 с.
6. Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification, RTCA DO-178C, Washington, USA, 2011. — 144 с.
7. Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) for Aircraft Surveillance Applications (ASA), RTCA DO-289, Washington, USA, 2003. — 914 с.

ON-BOARD EQUIPMENT COMPLEX ARCHITECTURE FOR PROSPECTIVE TRANSPORT AIRCRAFT

Arutyunov A.G. *, Krivichenko Ya.O. **, Medvedev A.S. ***, Orlov V.S. ****

Volga-Dnepr airlines,

14, Karbisheva, Ulyanovsk, 432072, Russia

** e-mail: artem.arutyunov@volga-dnepr.com*

*** e-mail: yaroslav.krivichenko@volga-dnepr.com*

**** e-mail: andrey.medvedev@volga-dnepr.com*

***** e-mail: vladimir.orlov@volga-dnepr.com*

Abstract

The article presents the structure of the on-board radio-electronic equipment that meets modern international requirements of CNS/ATM conception and is based on integrated modular avionics (IMA) principles. Implementation of IMA conception allows provide high reliability, enhanced functionality and compliance with modern requirements to on-board radio-electronic equipment. Architecture of the on-board equipment includes computer complex, description of information for flight deck information management field and software applications.

The computational part of the complex project includes the contents and datasheet of computing blocks, as well as the contents and designation of mezzanine modules, which perform special functions and determine functionality of the crates.

The flight deck information management field arrangement corresponds to modern allocation schemes of information consoles and allows provide their effectiveness and ergonomics. This field consists of five

15" multifunction displays, two head-up displays and two Electronic Flight Bag (EFB) data tablets for the pilot and co-pilot. The article presents the description of and information frames distribution over multifunction displays.

The article outlines the on-board equipment functions executed by software applications while IMA conception realization. Functional software realizes all modern communication, navigation and surveillance functions. The software applications are executed by the computation complex crates. The article suggests the applications distribution over the crates according to their functionality.

The proposed project of on-board equipment complex differs from the existing ones in large state integration of IMA systems, realizing functions of automated control systems, flight-control-navigation and radio-communication equipment. The project of on-board equipment complex for prospective transport airplane presents scalable multifunction fault-tolerant complex corresponding to the requirements for transport

category aircraft, and meeting the prospective ICAO requirements to air traffic navigation and control.

Keywords: onboard equipment complex, integrated modular avionics, network architecture, functional software.

References

1. *Global'nyi aeronavigatsionnyi plan na 2013–2028*. ICAO Doc 9750-AN/963, Montreal', Kanada, 2013, 128 p.
2. Fedosov E.A., Kos'yanchuk V.V., Sel'vesyuk N.I. *Radioelektronnye tekhnologii*, 2015, no. 1, pp. 66-71.
3. Chuyanov G.A., Kos'yanchuk V.V., Sel'vesyuk N.I. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta*, 2013, no. 140, pp. 55-62.
4. Danilov V.Yu. *Perspektivy sozdaniya ob'edinennoi bortovoi radiosistemy CNS/ATM na baze tekhnologii IMA*, available at: www.modern-avionics.ru/Files/02-GosNIIAS-Danilov-29.08.2013.ppt (accessed 29.08.2013).
5. *Avionics Application Software Standard Interface*, ARINC Specification 653-1, Annapolis, USA, 2003, 216 p.
6. *Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification*, RTCA DO-178C, Washington, 2011, 144 p.
7. *Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) for Aircraft Surveillance Applications (ASA)*, RTCA DO-289, Washington, 2003, 914 p.