

А.В. Наумов

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВИОНИКИ ДЛЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

*Рассмотрены основные направления развития авионики самолетов в гражданской авиации. Даны общие требования к функциональному назначению и составу бортового оборудования самолета. Проведен анализ выбора авионики самолета с точки зрения ее архитектуры и экономической эффективности. Сделан вывод о необходимости новых подходов к проектированию интегрированных комплексов бортового оборудования, прежде всего, на основе математических методов выбора состава и технических характеристик оборудования самолета.*

Направления развития авионики в гражданской авиации прежде всего определяют требования к функциональному назначению бортового оборудования и самолета в целом.

К таким требованиям можно отнести:

- полную автоматизацию режимов полета от взлета до посадки;
- полет по заранее запрограммированным оптимизированным с учетом текущей летной и метеообстановки траекториям в любых зонах земного шара при высокой интенсивности воздушного движения;
- посадку на оборудованные аэродромы категорий I, II, III А, В, С, а также малооборудованные и необорудованные аэродромы;
- обеспечение высокой точности навигации, в том числе по физическим полям Земли;
- внедрение перспективных методов навигации FANS;
- сокращение норм вертикального и горизонтального эшелонирования;
- достижение практически полной безопасности пассажирских и транспортных перевозок;
- сведение к минимуму ошибочных действий экипажа за счет оптимизации взаимодействия экипажа с воздушным судном (ВС), внедрение методов речевого и сенсорного управления, создания адаптивных рабочих мест экипажа;
- создание толерантных информационно-управляющих структур, исключающих возможность возникновения опасных отказов и неисправностей;
- использование новых диапазонов частот спутниковых систем связи;
- организацию диспетчерского контроля трассовой обстановки по навигационным данным;
- прямой радиоприем телевизионных программ;
- обеспечение телефонных переговоров пассажиров в полете с наземными абонентами городских телефонных сетей.

Перспективный бортовой интегрированный электронный комплекс должен включать в свой состав пилотажно-навигационное, радиосвязное оборудование, систему индикации, многорежимные пульта управления, самолетные системы с системой управления общесамолетной авионикой.

летным оборудованием, бортовую автоматизированную систему контроля, экспертную систему, цифровые датчики первичной информации, объединенные посредством мультиплексных и радиальных связей в единую информационно-управляющую систему. Бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО) нового поколения должно комплексироваться на базе иерархической структуры с многомагистральной топологией, позволяющей изменять конфигурацию комплексов.

Основными нововведениями в области БРЭО будут: интеграция функций, массивов памяти, программного обеспечения на базе языков высокого уровня; панорамная трехмерная индикация; использование тепловизионных и спутниковых систем для посадки ВС; применение экспертных систем; создание волоконно-оптических информационных систем связи; создание сверхнадежных (необслуживаемых) систем БРЭО, оптимизация структур цифровых вычислительных систем и оборудования в целом.

Перспективный комплекс авионики должен: соответствовать международным требованиям и стандартам; проектироваться с использованием принципов интеграции авионики для самолетов различных классов; соответствовать международной системе проверки демонтируемого оборудования; работать в международной системе спутниковой связи ИНМАРСАТ и международной аварийно-спасательной системе КОСПАС-САРСАТ; обеспечивать контроль целостности выходных данных; иметь возможность гибко наращивать (усекать) выполнение функциональных задач; состоять из стандартных систем, независимых от конкретного самолета, или адаптируемых с помощью программно-технических средств под конкретный тип самолета.

Доработка существующего парка самолетов должна удовлетворять вновь вводимым таким требованиям ИКАО, в части:

- вертикального эшелонирования через 1000 футов;
- разнеса каналов 8,33 кГц для радиоволн декаметрового диапазона радиосвязи;
- помехозащищенности аппаратуры VOR/ILS;
- предупреждения столкновения самолетов с землей;
- предупреждения столкновения самолетов в воздухе;
- работы адресных ответчиков в режиме ATC/S;
- обнаружения опасных метеобразований и сдвига ветра;
- работы по каналам спутниковой связи SATCOM;
- оснащения самолетов аварийным радиобудем.

Анализ международных требований к перспективному бортовому оборудованию показывает, что развитие авионики идет по пути создания интегральной модульной авионики, [1]. Целью внедрения интегральной модульной электроники (ИМА) является снижение стоимости жизненного цикла ВС для авиалиний за счет снижения веса самолета и увеличения полезной нагрузки, числа незапланированных технических обслуживаний и потребности в запасных частях, возможности изменений и дополнений сервиса в течение жизненного цикла ВС.

Ключевыми элементами ИМА является наличие общего шасси, централизованных источников питания, высокопроизводительных микропроцессоров, многопередатчиковой шины данных.

Компоненты ИМА:

- шкафы с задней платой и модулями, устройство ввода-вывода (УВВ), блок питания (БП), вычислительными модулями;
- шины данных (ARINC 629, ARINC 429);
- оборудование совместимое с ARINC 629;
- концентраторы данных;
- устройства согласования радиочастотных сигналов (обеспечивают сопряжение самолетных антенн с шиной данных).

Шкафы аппаратных модулей, а также авиационная электронная аппаратура размещаемая вне шкафов, соединяются глобальными шинами данных, отвечающих требованиям ARINC 629. Внутришкафная связь выполняется с использованием стандарта на информационную шину данных на задней плате ARINC 659.

Требования к размерам шкафа и модулям, стандартным соединителям и соответствующим параметрам, которые гарантируют физическую взаимозаменяемость компонентов модулей устанавливает ARINC 650 "Монтаж, интерфейсы интегральной модульной авиационной электроники".

Концепция централизованного технического обслуживания изложены в Руководстве по проектированию бортовой системы технического обслуживания ARINC 624. Руководство по сертификации и контролю за конфигурацией авиационной электроники ARINC 617 устанавливает порядок сертификации IMA. При разработке используется также ARINC 613A "Язык АДА" и ARINC 609 "Источник электроэнергии".

При внедрении концепции IMA на различных типах самолетов будут использоваться стандартные взаимозаменяемые модули без модификаций. Стандартизация функциональных модулей приведет к взаимозаменяемости продукции различных разработчиков. Стандарты на шкаф в сборе не дают особого выигрыша и их введение не предвидится.

Подход IMA позволяет осуществлять квалификацию функциональных компонентов независимо от самолетов за счет использования стандартизированных блоков, что позволит упростить требуемую сертификацию типа.

Конечным результатом сертификации является одобрение функций самолета и, в конечном итоге, самолета в целом.

Задачи сертификации включают в себя три различных этапа:

- подтверждение общих условий работы, обеспечиваемых шкафом;
- подтверждение режимов работы каждой функции, реализуемой в шкафу;
- подтверждение итоговой композиции функций в конкретном шкафу.

Одной из перспектив концепции IMA является внедрение новой философии технического обслуживания авиационной электроники, которая заключается в улучшенной диагностике аппаратуры, снижении или устранении неподтвержденных снятий с борта, отсрочки технического обслуживания вне основной базы.

Подход к резервированию в системе IMA рассматривается на двух уровнях: резервирование на функциональном уровне и резервирование компонентов. Для комплекта отказоустойчивой электроники интервал времени технического обслуживания для отдельных функций составляет по крайней мере 15000 ч. Более того, желательно чтобы все функции

авиационной электроники продолжали функционировать в течение 200 ч после первого отказа с 99-процентной вероятностью успеха.

Отказоустойчивостью называется способность оборудования продолжать работать с установленными характеристиками после того, как произойдут один или несколько отказов. Предпочтительно, чтобы техническое обслуживание произошло на плановой основе до того, как функция откажет окончательно.

Интегральная модульная электроника формируется на основе концепции мощных компьютеров с операционной системой, позволяющей осуществлять независимую толерантную к отказам обработку прикладных программ. Повышение отказоустойчивости достигается за счет аппаратных и программных ресурсов. Вычислительные характеристики контролируются через сторожевые таймеры, которые контролируют время выполнения функции. Если время превышает предписанные ограничения, то процессор снимается для диагностического тестирования. Также используется выходной контроль, голосование по множеству информации. Используется N-вариантное программирование.

Документ ARINC 651 оговаривает пять типовых архитектур интегральной модульной электроники:

**Архитектура "А".** Использует отдельные шкафы, связанные шинами данных ARINC 629. Отказоустойчивость обеспечивается резервированием шкафов. Модули LRM работают автономно аналогично аппаратуре серии 700. Используется блок центрального процессора, УВВ и БП.

**Архитектура "В".** Использует мощный вычислительный модуль для общих вычислительных функций. Удаленно расположенные датчики, исполнительные механизмы и система индикации совместимы с шиной ARINC 629. Шкафы соединяются по ARINC 629. Резервирование на уровне процессоров и разнотипных программ в шкафах.

**Архитектура "С".** Базируется на логически централизованных физически распределенных элементах. Шкафы содержат модули электропитания, шлюзы, вычислительное ядро. Сигналы ввода/вывода обрабатываются удаленными концентраторами (основное отличие от архитектуры "В"). Шлюз обеспечивает связь между ARINC 629 и ARINC 659.

**Архитектура "D".** Распределенная структура, где компоненты способны независимо и динамично управлять своей работой в автономном режиме и не зависят от центрального элемента, управляющего их работой.

Прикладные программы высокой критичности отделены от менее критичных.

Предусмотрены волоконно-оптические передачи информации, соответствующие ARINC 629. Резервирование на уровне шкафа или модуля определяется уровнем критичности функций.

**Архитектура "Е".** Представляет собой комбинацию физически централизованной и распределенной архитектур. Частичное внедрение идей ИМА осуществлено на самолетах Boeing 777 и Dornier 328.

Документом DOC 002 NAT ICAO, 1994 г. вводятся в действие нормы вертикального эшелонирования через 1000 футов (300 м) в Северной Атлантике на эшелонах 290 – 410. В перспективе требования к нормам вертикального эшелонирования будут еще более ужесточаться.

Должна обеспечиваться точность выдерживания навигационных параметров, приведенных в таблице.

### ТРЕБОВАНИЯ ИКАО К ОРГАНИЗАЦИИ САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ

Тип воздушного пространства	Назначение	Требуемая точность
RNP1	RNAV, зона аэродрома	$\pm 1,85$ км ( $\pm 1.0$ м.миль)
RNP4	Континентальные маршруты с обеспечением радионавигационными средствами	$\pm 7,4$ км ( $\pm 4,0$ м. миль)
RNP12,6	Северная Атлантика и районы с неполным перекрытием радионавигационными средствами	$\pm 23,3$ км ( $\pm 12,6$ м. миль)
RNP20	Океанические маршруты с низкой интенсивностью движения и регионы без наземного радионавигационного обеспечения	$\pm 37,0$ км ( $\pm 20,0$ м. миль)

Создание перспективной авионики требует и новых подходов к проектированию интегрированных комплексов бортового оборудования, прежде всего, на основе математических методов выбора состава и технических характеристик оборудования ВС [2].

Эффективность проектируемых вариантов комплексов бортового оборудования представляет собой комплексную категорию, которая характеризуется сложной системой экономических показателей ВС, к которым можно отнести: прибыль, объем выполняемой работы, себестоимость летного часа, суммарные издержки, налет самолета. Причем, технические характеристики БРЭО оказывают влияние на эксплуатационно-технические характеристики самолета. Анализ литературы и опыт эксплуатации ВС подтверждает вывод, что существует зависимость между характеристиками БРЭО и показателями ВС [3-6].

Задача выбора состава и технических характеристик бортового оборудования является задачей системного проектирования и сводится к выбору и обоснованию приемлемых для ВС параметров БРЭО.

Рассматриваемую проблему можно представить в виде следующей математической постановки:

$$P_{BC}(T_{\text{экспл}}) = \Phi_1(P_{\text{пл}}(T_{\text{экспл}}); P_{\text{СУ}}(T_{\text{экспл}}); P_{\text{БРЭО}}(T_{\text{экспл}}) / A) \rightarrow \max,$$

где  $P_{BC}(T_{\text{экспл}})$  – функционал прибыли от применения ВС на протяжении жизненного цикла;  $P_{\text{пл}}(T_{\text{экспл}})$  – функционал прибыли от применения планера на протяжении жизненного цикла;  $P_{\text{СУ}}(T_{\text{экспл}})$  – функционал прибыли от применения силовой установки на протяжении жизненного цикла;  $P_{\text{БРЭО}}(T_{\text{экспл}})$  – функционал прибыли от применения БРЭО на протяжении жизненного цикла;  $A$  – вектор параметров ВС.

Задача проектирования сводится к поиску и определению таких проектных параметров БРЭО, которые обеспечат максимальную прибыль ВС на протяжении жизненного цикла. Для технологии проектирования БРЭО математическую постановку можно выразить как

$$P_{BC}(T_{\text{экспл}}) = \Phi_2(P_{\text{БРЭО}}(T_{\text{экспл}}) / A_{\text{БРЭО}}^{(0)}) \rightarrow \max,$$

при

$$Q(M) = Q_z(M), B(A_{\text{БРЭО}}^{(0)}) \geq B^{(0)}, R = \Phi[M(y)],$$

где  $P_{BC}(T_{\text{экспл}})$  – функционал прибыли от применения ВС на протяжении жизненного цикла;  $P_{\text{БРЭО}}(T_{\text{экспл}})$  – функционал прибыли от применения БРЭО на протяжении жизненного

цикла;  $A_{БРЭО}^{(0)}$  – вектор параметров БРЭО (включает состав БРЭО и характеристики аппаратуры);  $Q(M)$  – выполняемый объем задач БРЭО;  $Q_3(M)$  – заданный объем задач БРЭО;  $B(A_{БРЭО}^{(0)})$  – уровень безопасности БРЭО;  $B^{(0)}$  – заданный уровень безопасности;  $R$  – реальность создания БРЭО (возможность создания аппаратуры промышленностью);  $M(y)$  – вновь устанавливаемая аппаратура;  $y$  – тип вновь разрабатываемой аппаратуры.

Таким образом, установив зависимость между характеристиками оборудования и ВС, при проектировании бортовых комплексов оборудования пассажирских самолетов можно проводить поиск точечных значений характеристик аппаратуры и оценивать эксплуатационно-технические показатели ВС.

#### Вывод:

1) анализ международных требований к перспективному бортовому оборудованию и опыт эксплуатации ВС показывает, что развитие авионики идет по пути создания интегральной модульной авионики;

2) создание перспективной авионики требует новых подходов к проектированию интегрированных комплексов бортового оборудования, прежде всего, на основе математических методов выбора состава и технических характеристик оборудования ВС.

#### Список литературы

1. *ARINC*. Руководство по проектированию интегральной модульной авиационной электроники. ARINC 651, 1994.
2. *Наумов А.В.* Математическая постановка задачи выбора состава и технических характеристик бортового оборудования ВС // Проблемы информатизации и управления. Вып. 3 – К.: КМУГА, 1998. – С. 259-263.
3. *Моисеев С.В.* Экономические критерии выбора радиоэлектронных комплексов самолетов. – М.: Машиностроение, 1984. – 198 с.
4. *Попов И.А., Скворцов В.В., Мицтитис А.К.* Исследование и проектирование больших технических систем. – К.: КИ ВВС, 1995. – 320 с.
5. *НЭЦАУВД, НИИАО.* Временная методика оценки экономической эффективности пилотажно-навигационного оборудования самолетов ГА. N 25-87-III. – М. – 1987.

Стаття надійшла до редакції 4 травня 1998 року.

**Олександр Васильович Наумов** (1952) закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації у 1976 році. Начальник бригади перспективного проектування бортового обладнання літаків. Автор двох наукових праць, має 6 авторських свідоцтв в галузі проектування бортового обладнання.

**Olexandr V. Naumov** (b. 1952) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1976). Head of the team of perspective design of airborne equipment. Author of two publications and six inventions in the field of designing airborne equipment.