

УДК 629.7: 621.396

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ФУНКЦИОНАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Д.Б. РЫЧЕНКОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Логвиным А.И.

В статье рассматривается выделение функционально значимых элементов (ФЗЭ) радиоэлектронного оборудования воздушных судов с использованием процедур MRB и АВПО.

**Ключевые слова:** анализ логистической поддержки, радиоэлектронное оборудование воздушных судов, функционально значимые элементы.

Мировой опыт гражданской авиации показал, что техническая эксплуатация (ТЭ) радиоэлектронного оборудования (РЭО) в большой степени влияет на безопасность полётов (БП). До последнего времени процесс формирования плановых работ по техническому обслуживанию (ТО) РЭО осуществлялся в соответствии с международной практикой на основе процедуры MRB (Maintenance Review Board) – «Процедура организации экспертизы ТО» [2]. Однако ТО РЭО должно дифференцироваться в зависимости от степени влияния и изменения технического состояния конкретного элемента РЭО на уровень БП.

### 1. Проблема при определении ФЗЭ на основе процедуры MRB

В соответствии с процедурами MRB, РЭО воздушных судов (ВС) должно быть отнесено к важным для технического обслуживания системам ВС (Maintenance Significant Items – MSI). Но здесь возникает проблема, связанная с выделением перечня MSI, обозначим такие системы - ФЗЭ.

Процесс определения ФЗЭ является консервативным процессом (использующим инженерные оценки), основанным на оценках ожидаемых последствий отказов. Подход «сверху – вниз» используется для процесса идентификации (определения) важнейших элементов РЭО на наивысшем управляемом уровне. Изготовитель разбивает самолёт на системы и подсистемы с нумерацией в соответствии с ATA 2200. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут определены все съёмные (заменяемые) компоненты, установленные на самолёте. Используя подход «сверху – вниз», изготовитель ВС составляет перечень элементов, к которым будут применены вопросы для выбора ФЗЭ:

- может ли отказ быть не обнаружен или обнаружен с малой вероятностью летным экипажем во время выполнения им обычных обязанностей?
- может ли отказ, в том числе отказ аварийных систем и оборудования, влиять на БП (на земле или в полёте)?
- может ли отказ иметь существенное влияние на лётную эксплуатацию?
- может ли отказ иметь существенное влияние на экономику?

Для тех элементов, которые по крайней мере на один из четырех вопросов отвечают ДА, требуется MSG-3 анализ, и для них должен быть определен наивысший управляемый уровень. Для анализа нужно выбрать более высокий уровень, который включает этот элемент как часть высокоуровневой системы.

ФЗЭ – это обычно система или подсистема, которая в большинстве случаев на один уровень выше того низшего уровня, которому соответствуют установленные на самолёте съёмные компоненты. Этот уровень рассматривается как наивысший управляемый уровень, то есть уровень, кото-

рый достаточно высок, чтобы избежать ненужного анализа, но достаточно детален, чтобы правильно проанализировать все рассмотренные функции, функциональные отказы [5] и их причины.

Для тех элементов, которые по всем вопросам отвечают НЕТ, MSG-3 анализ не требуется и дальнейший выбор ФЗЭ на более низшем уровне не нужен. Эти элементы низшего уровня дальнейшего анализа не требуют, но должны быть сведены в отдельный перечень.

В зарубежных источниках практически весь состав бортового РЭО относится к функционально значимым элементам (ФЗЭ), однако это во многих случаях не является правильным, так как применение процедур MRB является достаточно затратным элементом ТО, что многие авиакомпании РФ себе позволить не могут. Многие авиакомпании РФ могут использовать различные виды стратегий и методы эксплуатации. В зависимости от условий эксплуатации РЭО конкретной авиакомпании необходимо определять рекомендации по ТО ФЗЭ только тех изделий, которые будут эксплуатироваться в данной авиакомпании [3].

## 2. Определение ФЗЭ на основе анализа видов, последствий и критичности отказов

Согласно ГОСТ 27.310-95 [1], анализ видов и последствий отказов (АВПО) – формализованная, контролируемая процедура качественного анализа проекта, заключающаяся в выделении на некотором уровне разукрупнения его структуры возможных (наблюдаемых) отказов разного вида, в прослеживании причинно-следственных связей, обуславливающих их возникновение, и возможных (наблюдаемых) последствий этих отказов на данном и вышестоящих уровнях, а также – в качественной оценке и ранжировании отказов по тяжести их последствий. Процедура АВПО, дополненная оценками показателей критичности анализируемых отказов, получила название АВПКО – анализ видов, последствий и критичности отказов. АВПКО является неотъемлемой частью анализа логистической поддержки (АЛП) изделия и служит основным источником исходных данных для большинства задач АЛП. С другой стороны, АВПКО может служить дополнительным инструментом для специалистов по надежности и отказобезопасности ВС и его систем.

В рамках подготовки к проведению АВПКО выполняют следующие действия:

- создание рабочей группы;
- подготовка необходимых исходных данных (в том числе использование логистической структуры функций (ЛСФ) и логистической структуры изделия (ЛСИ));
- разработка правил кодирования видов отказов и классификации тяжести последствий отказа.

Источником исходных данных для проведения АВПКО служит имеющаяся документация на изделие, в состав которой входят:

- техническое задание (ТЗ) на разработку изделия;
- техническое описание изделия;
- функциональные, принципиальные и монтажные схемы;
- конструкторские документы (чертежи, спецификации, технические требования и др.);
- ЛСФ и ЛСИ;
- данные о надежности комплектующих изделий;
- отчеты о надежности, полученные при испытаниях опытных образцов или эксплуатации аналогов;
- требования нормативно-технических документов;
- отчеты о надежности из текущего производства;
- данные о влиянии отказов изделия (системы) на окружающую среду;
- другие документы, необходимые для правильного и полного понимания особенностей функционирования изделия в ожидаемых (заданных) условиях эксплуатации.

АВПКО проводится итеративно на всех стадиях АЛП. Для выполнения анализа необходимо предварительно выполнить структурный и функциональный анализ изделия, то есть разрабо-

тать ЛСИ, ЛСФ и установить связи между ними. На стадии функционального анализа предметом АВПКО являются ЛСФ и функциональные отказы. На второй стадии АЛП предметом анализа являются ЛСИ и отказы её элементов, а также смешанная структура, полученная после установления связей между элементами ЛСФ и ЛСИ. Для простых изделий целесообразно анализировать только ЛСИ, тогда как для сложных технических изделий анализу должна подвергаться смешанная структура.

АВПКО должен проводиться, начиная с самых ранних стадий разработки, и систематически повторяться на последующих стадиях с целью оценки проекта для выявления критичных элементов конструкции и определения приоритетности корректирующих и компенсирующих действий. АВПКО делится на два этапа [4]:

- анализ видов и последствий отказов;
- качественный и количественный анализ критичности (АК).

Наибольший интерес для выбора ФЗЭ конкретного эксплуатанта (конкретных условий эксплуатации) представляет определение причин отказов конструктивных элементов (легкосъемных элементов). При определении причин отказа элемента ЛСИ следует учитывать выбранный нижний уровень декомпозиции для данного типа элементов. Если рассматриваемый элемент ЛСИ является неразделяемым компонентом, то для его видов отказов причины могут быть описаны простым текстом или выбраны из соответствующего справочника классификатора.

Если рассматриваемый элемент подлежит более глубокому анализу (то есть практически все элементы РЭО), то причина отказа такого элемента описывается в терминах отказов (комбинаций отказов) компонентов структуры. Определение причин отказов элементов нижнего уровня, разукрупнения осуществляется определением связи между функциями ФЗЭ и выполнением данных функций.

Качественный АК выполняется, как правило, на ранних стадиях разработки, когда конструкция изделий еще не полностью определена, и нет количественных данных о надежности всех комплектующих изделий. Для выполнения этого вида анализа каждому виду отказа необходимо назначить качественный параметр, характеризующий вероятность его возникновения – уровень вероятности возникновения. Возможные значения этого параметра регламентированы в табл. 1.

Таблица 1

Уровни вероятности возникновения отказа

| Уровни вероятности возникновения отказа | Описание                                                                           |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| A                                       | Вероятность возникновения отказа за 1 осредненный час полета – более $10^{-2}$     |
| B                                       | Вероятность возникновения отказа за 1 осредненный час полёта $10^{-4}$ - $10^{-2}$ |
| C                                       | Вероятность возникновения отказа за 1 осредненный час полёта $10^{-7}$ - $10^{-4}$ |
| D                                       | Вероятность возникновения отказа за 1 осредненный час полёта $10^{-9}$ - $10^{-7}$ |
| E                                       | Вероятность возникновения отказа за 1 осредненный час полёта менее $10^{-9}$       |

Процедура качественного анализа критичности заключается в назначении видам отказов приоритетов корректирующих и компенсирующих действий в зависимости от категории тяжести последствия отказа (КТПО) и ожидаемого уровня вероятности возникновения отказа.

Для этого виды отказов распределяются по матрице критичности, на горизонтальной оси которой отложены значения КТПО, а на вертикальной – уровни вероятности возникновения отказа (рис. 1). В зависимости от того, в какую область матрицы критичности попадает вид от-

каза, ему назначается соответствующий приоритет корректирующих и компенсирующих действий.

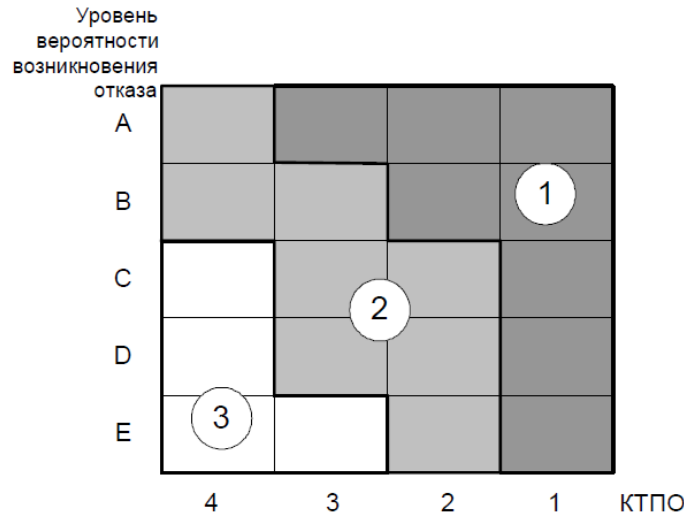


Рис. 1. Матрица критичности для качественного анализа

На поздних стадиях разработки изделия, когда, как правило, известны интенсивности отказов всех компонентов, может быть проведен количественный анализ критичности. Процедура количественного анализа заключается в назначении видам отказов элементов ЛСИ приоритетов корректирующих и компенсирующих действий в зависимости от КТПО и рассчитанного числа критичности, а также в упорядочении элементов ЛСИ по значениям этих чисел.

Для выполнения количественного анализа критичности необходимо задать параметры:

- $\lambda_i$  – интенсивность отказов  $i$ -го элемента;
- $\alpha_{ij}$  – доля  $j$ -го вида отказа  $i$ -го элемента;
- $\beta_{ij}^K$  – вероятность последствия  $K$ -й категории тяжести для  $j$ -го вида отказа  $i$ -го элемента.

Число критичности  $j$ -го вида отказа  $i$ -го элемента ЛСИ рассчитывается по формуле

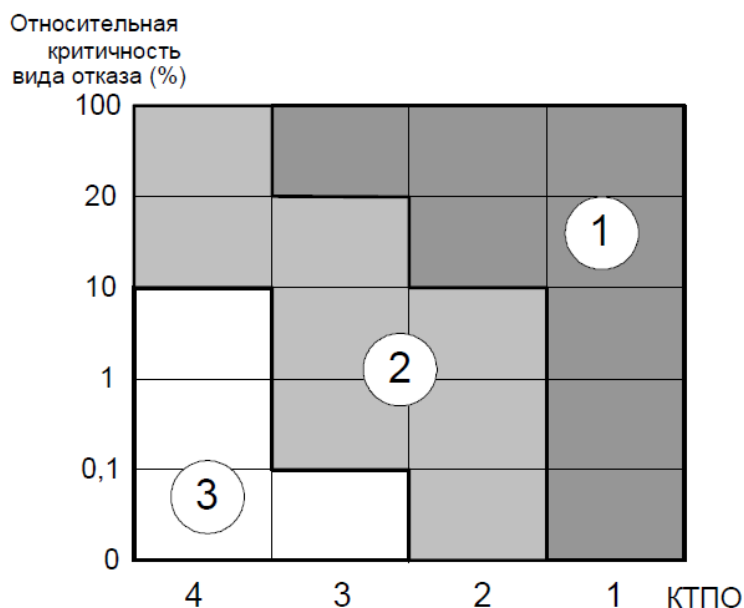
$$Cm_{ij}^K = \beta_{ij}^K \cdot \alpha_{ij} \cdot \lambda_i \cdot (T_{\text{РАБОТЫ}})_i,$$

где  $Cm_{ij}^K$  – число критичности  $j$ -го вида отказа  $i$ -го элемента ЛСИ наихудшей категории последствий отказа;  $(T_{\text{РАБОТЫ}})_i$  – наработка  $i$ -го элемента ЛСИ за время миссии. Из вышесказанного следует, что  $Cm_{ij}^K$  равно количеству отказов  $j$ -го вида  $i$ -го элемента ЛСИ, приводящего к наихудшей категории последствий, которое может возникнуть за время наработки.

Для назначения приоритетов видам отказов они распределяются по матрице критичности, на горизонтальной оси которой отложены значения КТПО, а на вертикальной – числа критичности видов отказов. Рекомендуется использовать относительную величину – относительное число критичности вида отказа, которое определяется по формуле

$$P_{ij} = \frac{Cm_{ij}^K}{\lambda_{\text{ФИ}} \cdot T_{\text{наработки}}},$$

где  $Cm_{ij}^K$  – число критичности вида отказа  $i$ -го элемента ЛСИ (1);  $\lambda_{\text{ФИ}}$  – интенсивность отказов функциональных изделий;  $T_{\text{наработки}}$  – наработка изделия. На рис. 2 изображена матрица критичности, используемая для количественного анализа критичности видов отказов. На матрице выделены области равных приоритетов, назначаемые, как и в случае качественного анализа критичности, аналитиком, проводящим АВПКО для каждого изделия индивидуально. Особенностью этой матрицы является то, что на вертикальной оси размещается непрерывная шкала относительных чисел критичности в отличие от дискретной шкалы (рис. 1).



**Рис. 2.** Матрица критичности для количественного анализа

В зависимости от того, в какую область матрицы критичности попадает вид отказа, ему назначается соответствующий приоритет корректирующих и компенсирующих действий: 1 – высокий; 2 – средний; 3 – низкий. Элементы ЛСИ, имеющие хотя бы один вид отказа 1-го приоритета, как правило, нуждаются в обязательном изменении конструкции с целью устранения критичного вида отказа или снижения тяжести его последствий (понижения приоритета). Элементы, чьи виды отказов получили 2-й приоритет, могут также потребовать доработки с целью повышения надежности или нуждаются в разработке программы планово-профилактического обслуживания на этапе эксплуатации. Некоторые элементы 3-го приоритета также могут потребовать профилактического обслуживания на этапе эксплуатации.

## Выводы

Современные методики выбора ФЗЭ позволяют в той или иной степени составить необходимый перечень регламентных работ по РЭО. Однако вышеуказанные методики в большей части рассматривают ФЗЭ на весь парк ВС без привязки к условиям эксплуатации конкретной авиакомпании. Оптимальная методика выбора ФЗЭ, учитывающая условия эксплуатации, должна быть установлена путем дополненного анализа, учитывающего изменение выходных параметров ФЗЭ под действием физико-химических процессов в компонентах ФЗЭ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27.310-95. *Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.* М.: Изд-во стандартов, 1995. 14 с.
2. MSG-3. *ATA Specification 2200, Information Standards for Aviation Maintenance.* The Air Transport Association. Washington, DC, 2010.
3. Еремин А.В. *Применение методов логического анализа для совершенствования процессов технического обслуживания.* Дисс... канд. техн. наук. М.: МГТУ ГА, 2007. 142 с.
4. *Руководство по проведению анализа логистической поддержки изделий авиационной техники.* М.: НИЦ CALS «Прикладная логистика», 2010. 204 с.
5. Новожилов Г.В., Неймарк М.С., Цесарский Л.Г. *Безопасность полета самолета. Концепция и технология.* М.: Машиностроение, 2003.

## MODERN METHODS OF SELECTING MAINTENANCE SIGNIFICANT ITEMS OF AIRCRAFT AVIONICS EQUIPMENT

Rychenkov D.B.

The article discusses the selection of functionally important elements of aircraft avionics using the procedures of MRB and AVPO.

**Keywords:** analysis of logistic support, avionics equipment of the aircraft, maintenance significant elements.

### REFERENCES

1. **GOST 27.310-95.** *Nadeznost v tekhnike. Analys vidov, posledstvij i critichnosti otkazov.* M.: Izd-vo standartov. 1995. 14 p. (In Russian).
2. *MSG-3. ATA Specification 2200. Information Standards for Aviation Maintenance.* The Air Transport Association. Washington. DC. 2010. 56 p.
3. **Eremin A.V.** *Primenenie metodov logicheskogo analiza dlja sovershenstvovanija protsessov tekhnicheskogo obsluzivaniya.* Diss... kand. tehn. nauk. M.: MSTU CA. 2007. 142 p. (In Russian).
4. *Rukovodstvo po provedeniju analiza logisticheskoy podderzhki izdelij aviacionnoj tehniki.* M.: NIC CALS «Prikladnaja logistika». 2010. 204 p. (In Russian).
5. **Novozhilov G.V., Nejmark M.S., Cesarkij L.G.** *Bezopasnost' poleta samoleta. Konceptija i tehnologija.* M.: Mashinostroenie. 2003. 156 p. (In Russian).

### Сведения об авторе

**Рыченков Денис Борисович**, 1989 г.р., окончил МГТУ ГА (2012), аспирант МГТУ ГА, автор 3 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования.