

**Шишкин В.В., Романов Ю.В., Стенюшкин Д.И.**

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМ FRACAS ДЛЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ИСТОЧНИКОВ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ**

*В статье представлена методика разработки электронной структуры бортового авиационного оборудования в аспекте обеспечения надежности на постпроизводственных этапах жизненного цикла, позволяющая повысить эффективность систем FRACAS за счет автоматизированного анализа общей причины, направленного на определение источников систематических отказов и разработку результативных корректирующих действий.*

**Ключевые слова:** электронная структура изделия, систематический отказ, источник отказа, корректирующие действия.

Современный рынок авиационной техники (АТ) характеризуется повышением требований авиакомпаний к обеспечению надежности воздушных судов (ВС) и их бортового оборудования (БО). При заключении контрактов на поставку БО для современных воздушных судов, таких, как Ан-148, SSJ-100, Ту-204СМ, МС-21, особое внимание в рамках послепродажного обслуживания уделяется программам гарантии надежности и регулярности вылета. Неспособность поставщика АТ продемонстрировать наличие ресурсов для реализации такой программы делает его продукцию неконкурентоспособной. С другой стороны, отмечается непрерывный рост сложности БО, обусловленный расширением функциональных задач и диапазона условий эксплуатации. Кроме того, сохраняется тенденция к сокращению времени, отводимого на проектирование и технологическую подготовку производства БО, что определяется ростом конкуренции на рынке поставщиков БО.

В этих условиях возникает необходимость в разработке новых методов и инструментальных средств, позволяющих:

- обеспечить эффективную реализацию программы гарантии надежности на постпроизводственных этапах и продемонстрировать потребителю АТ возможность такой реализации;
- использовать полученную в результате реализации программы информацию для проектирования и технологической подготовки новых проектов БО.

Наиболее эффективно для решения поставленной задачи могут применяться системы, реализующие анализ отчета об отказах системы и корректирующих действий (FRACAS). Это системы

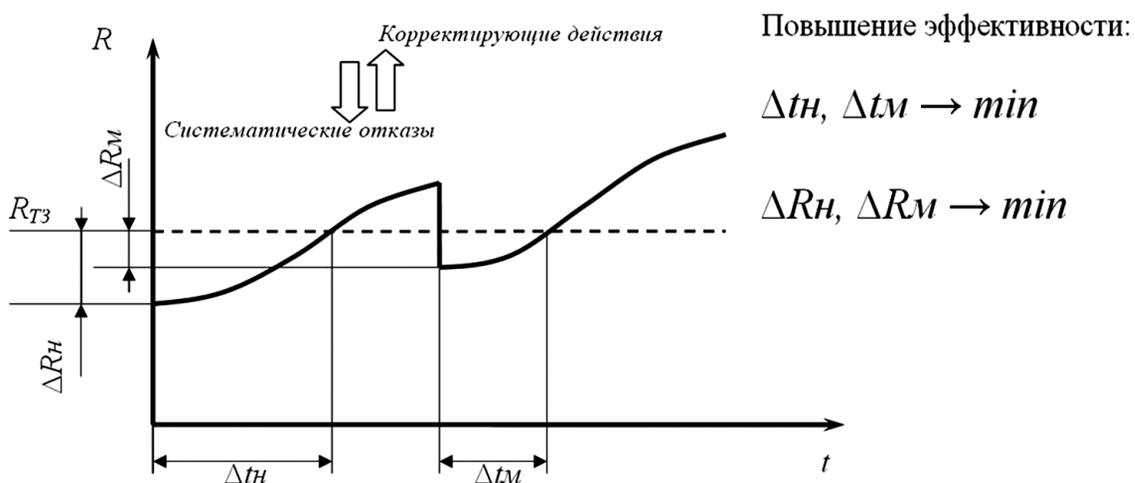
замкнутого цикла, которые обычно включают следующие этапы: регистрация отказов – анализ отказов – определение необходимых корректирующих действий – оценка результативности корректирующих действий. В настоящее время на рынке программных комплексов, реализующих принцип FRACAS, представлены системы Relex FRACAS (PTC) и FRACAS FavoWeb (A.L.D.) [1, 2].

Хотя преимущества применения систем FRACAS являются очевидными, реализовать эффективную систему, гарантирующую обеспечение надежности БО на постпроизводственных этапах жизненного цикла, довольно сложно. Проблема состоит в том, что результативность корректирующих действий зависит от точности и своевременности определения причины отказа, что является трудно формализуемой задачей. Также остается трудно формализуемой задача использования полученных по результатам реальной эксплуатации данных для анализа надежности новых проектов.

В результате существующие системы представляют собой средства, позволяющие автоматизировать сбор информации об отказах и оценку надежности (количественный анализ). Определение причин отказов по данным эксплуатации и использование полученной информации в новых проектах (качественный анализ) по-прежнему представляет собой трудоемкий процесс, требующий больших затрат и постоянного участия высококвалифицированных специалистов.

Для определения критериев результативности системы FRACAS рассмотрим изменение уровня надежности БО на постпроизводственных этапах. Учитывая сложность современного БО и его жизненного цикла, в начальный период эксплуатации БО характерно наличие систематических отказов. Это приводит к снижению надежности БО в эксплуатации на некоторое значение  $\Delta R_n$ . Величина  $\Delta R_n$  зависит от количества видов дефектов, приводящих к систематическим отказам и от количества БО, выпущенного с такими дефектами.

При выявлении несоответствия требованиям к надежности БО в процессе эксплуатации проводятся корректирующие действия, направленные на изжитие причин систематических отказов. В результате по мере устранения причин систематических отказов и доработки изделий, находящихся в эксплуатации, происходит повышение надежности и доведение уровня надежности до требуе-



- $\Delta t_n$ - время доведения показателя надежности до требуемого в начальный период эксплуатации;
- $\Delta t_m$ - время доведения показателя надежности до требуемого после модернизации;
- $\Delta R_n$ - уровень несоответствия показателя надежности в начальный период эксплуатации;
- $\Delta R_m$ - уровень несоответствия показателя надежности после модернизации;
- $R$ - показатель надежности, статистическая оценка которого зависит от количества отказов;
- $t$ - время.

Рис. 1. Критерии эффективности обеспечения надежности БО

мого. Время доведения надежности до требуемого уровня  $\Delta t_n$  зависит от времени определения причин систематических отказов, времени разработки результативных корректирующих действий, времени определения объема коррекции и проведения доработок.

Часто в процессе эксплуатации БО проводится его модернизация, обусловленная расширением спектра функциональных задач. При проведении существенной модернизации также возможно появление систематических отказов и снижение уровня надежности на значение  $\Delta R_m$ , на доведение которого до требуемого уровня необходимо время  $\Delta t_m$ .

Таким образом, повышение эффективности обеспечения надежности БО можно охарактеризовать следующими критериями:

$$\Delta t_n, \Delta t_m \rightarrow \min; \Delta R_n, \Delta R_m \rightarrow \min.$$

Изменение уровня надежности в начальный период эксплуатации и после проведения модернизации показано на рис. 1.

Как было показано в [3], для решения указанных задач необходимо создание специализированных методов и программных модулей обработки данных, функционирующих под управлением PDM-системы. При этом необходимо решить задачу разработки электронной структуры изделия (ЭСИ) в указанном аспекте.

Для построения модели будем опираться на следующие определения, приведенные в [4].

Причина отказа – обстоятельства в ходе разработки, производства или использования, которые привели к отказу.

Систематический отказ – отказ, однозначно вызванный одной причиной, которая может быть устранена только модификацией проекта или производственного процесса, правил эксплуатации и документации.

Из определений следует, что источниками отказов являются процессы разработки, производства и эксплуатации. Источниками общей причины отказов элементов при этом являются общие реализации процессов ЖЦ.

Таким образом, содержательная часть ЭСИ, разработанной в аспекте системы FRACAS, должна, кроме данных о составе БО и связях его составных частей, содержать данные о значимых с точки зрения источника отказов процессах.

Структуру БО можно представить в виде формулы:

$$O = (K, Q, t), \quad (1)$$

где  $K$  – множество элементов системы;

$Q$  – множество связей между элементами;

$t$  – момент времени, к которому относится описание БО.

Среди всего множества элементов БО можно выделить классы эквивалентности по уровню надежности (элементы одного типа). Из множества элементов, имеющих одинаковый уровень надежности, можно выделить подмножества элементов, имеющих одинаковые источники общей причины. Таким образом, формируются варианты применения однотипных элементов БО относительно каждого источника систематических отказов.

При этом наличие систематических отказов по какому-либо источнику отказов вызывает резкое увеличение интенсивности отказа одного из вариантов применения и, как следствие, наличие неоднородности статистических оценок, что может являться критерием необходимости разработки корректирующих действий по данному процессу.

Таким образом, выражение (1) необходимо дополнить до вида

$$O = (K, Q, P, R, t), \quad (2)$$

где символ P означает параметры процессов, характеризующие элементы БО с точки зрения источников общей причины;

символ R – параметры, определяющие фактическую интенсивность отказа элемента или параметра потока отказов.

Оценка результативности корректирующих действий выполняется сравнением надежности элементов, изготовленных без учета корректирующих действий, с элементами, изготовленными с учетом корректирующих действий. Для идентификации внедренных корректирующих действий выражение (2) необходимо дополнить до вида

$$O = (K, Q, P, R, C, t), \quad (3)$$

где символ C – атрибут, определяющий признак внедренного корректирующего действия.

Таким образом, для разработки модели БО в аспекте обеспечения надежности необходимо определить:

- перечень и значения атрибутов, характеризующих структуру БО;
- перечень и значения атрибутов, характеризующих источники общей причины;
- перечень и значения атрибутов для выполнения статистических оценок;
- перечень и значения атрибутов, определяющих внедрение корректирующих действий;
- порядок изменения значений атрибутов в процессе ЖЦ.

Процессы ЖЦ БО являются объектом исследования с точки зрения формирования проектных решений при проектировании БО и разработки корректирующих действий и оценки их результативности при эксплуатации БО. В процессе ЖЦ БО формируется событийно-динамическое пространство, в котором решаются задачи:

- оценки новых проектов БО при проектировании по результатам эксплуатации изделий-аналогов;
- определения причин систематических отказов, разработки корректирующих действий и оценки их результативности.

Модель жизненного цикла БО в аспекте обеспечения надежности приведена на рис.2.

В 2011 году разработаны: База данных для экспертной системы для анализа безотказности авиационных бортовых информационных систем [5] и Экспертная система для анализа безотказности авиационных бортовых информационных систем [6].

При их разработке учтен опыт реализации программ гарантий надежности БО различного назначения, а именно: комплексных информационных систем сигнализации; систем электронной сигнализации; систем предупреждения критических режимов; комплексных систем электронной

индикации и сигнализации; систем аварийной сигнализации; систем внутрикабинного освещения; систем преобразования аналоговой и дискретной информации; систем управления общесамолетным оборудованием; систем ограничительных сигналов; систем воздушных сигналов вертолетов; бортовых информационных систем контроля; систем восприятия воздушных данных, установленных на ВС: Ту-204, Ту-214, Ту-334, Ил-96-300, Ил-96-400, Ил-76, Ил-114, Ан-148, Ка-226, Ка-31, Ка-32, Ансат и др.

Источники отказов процесса проектирования выбраны в соответствии с Руководством по оценке правильности применения электрорадиоизделий, используемым предприятиями промышленности при анализе причин отказов электрорадиоизделий в образцах аппаратуры и выработке предложений по повышению ее надежности [7], и квалификационными требованиями КТ-160D, устанавливающими условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования [8].

Источники отказов процесса производства выбраны в соответствии с базовым перечнем специальных технологических процессов (СПТП), разрабатываемым для авиационной промышленности в целом, а также перечнем СПТП, составляемым для конкретных изделий АТ [9].

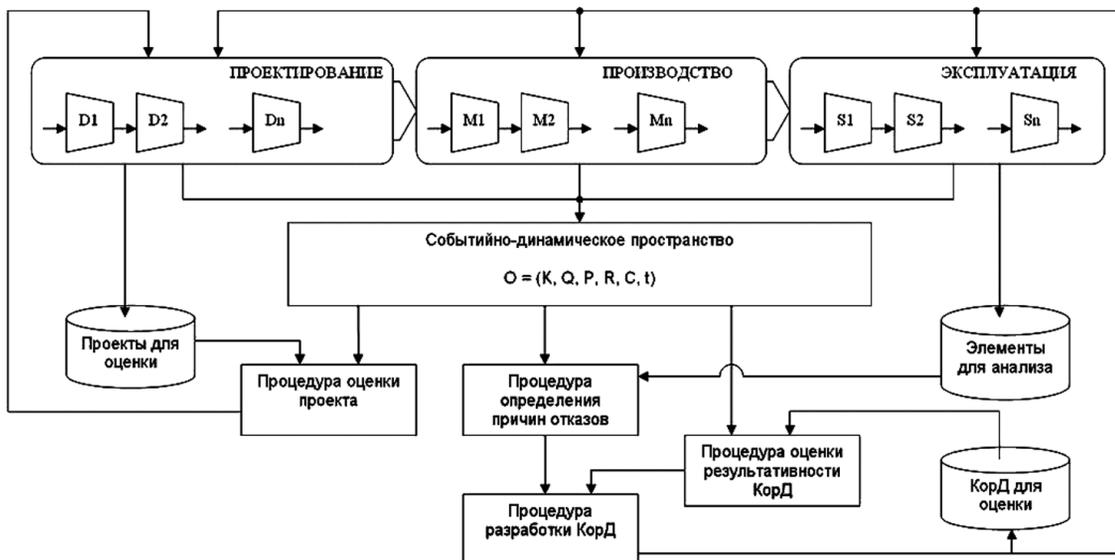


Рис. 2. Модель жизненного цикла БО в аспекте обеспечения надежности

Так как базовый перечень процессов сформирован с точки зрения предприятия-разработчика и изготовителя БО, детализация постпроизводственного этапа на процессы проводилась с меньшей степенью. При этом для модели сформированы совокупности процессов, осуществляемых в рамках одного предприятия, такие, как монтаж на ВС, эксплуатация, ремонт, которые рассматриваются как отдельные процессы.

Внешний вид интерфейсной части модуля определения источников систематических отказов и оценки результативности корректирующих действий представлен на рис. 3.

Верхняя часть экрана содержит сведения об анализируемом элементе или узле БО и рассматриваемом процессе.

В правой части экрана расположено поле вариантов применения. Варианты применения показаны в виде графа, вершины которого соответствуют анализируемому элементу, а узлы – подмножествам элементов, распределенных по источникам общей причины.

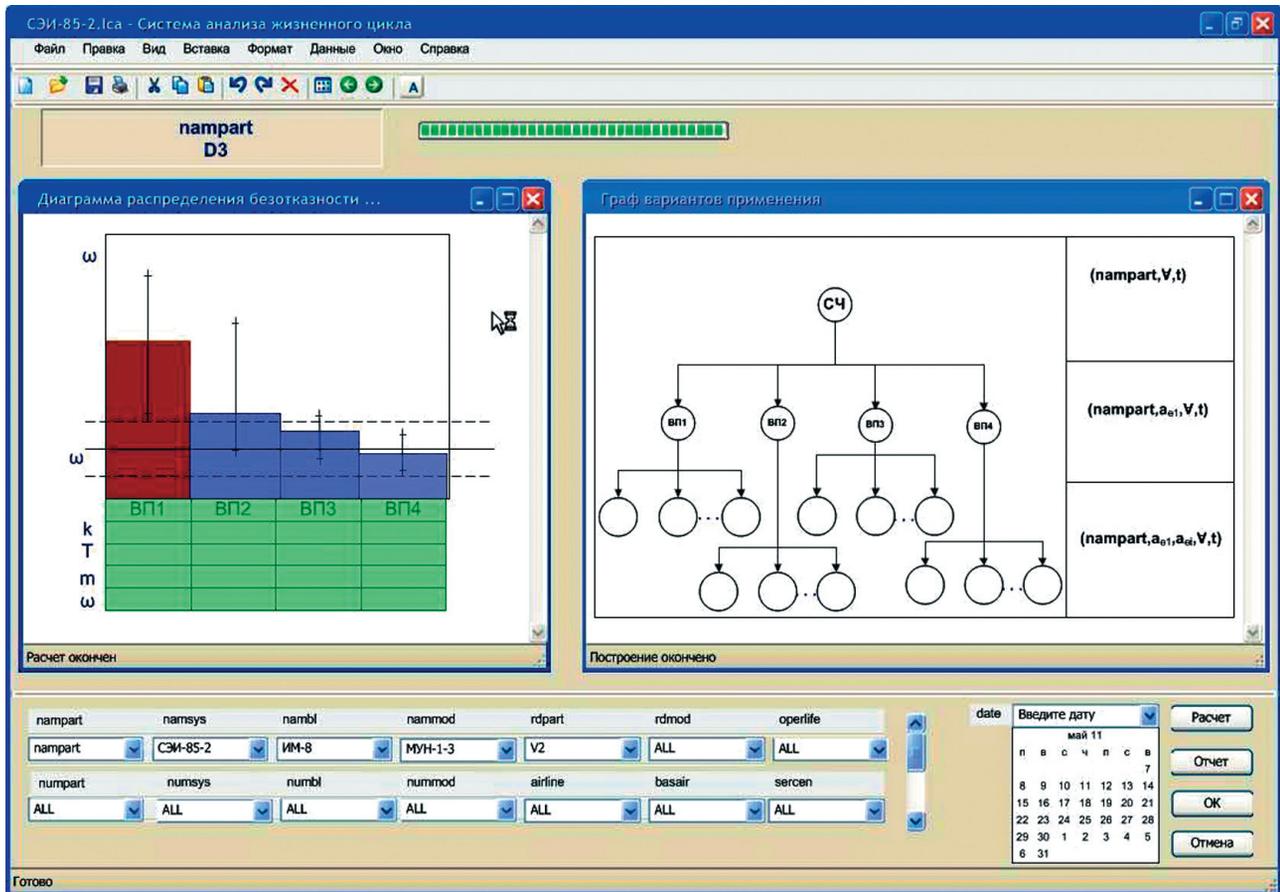


Рис. 3. Интерфейсная часть модуля определения причин систематических отказов

В левой части экрана расположено поле диаграммы. Каждый столбец диаграммы представляет собой статистическую оценку надежности одного из вариантов применения с доверительными границами показателя. Столбцы диаграммы, статистические оценки которых неоднородны, выделяются цветом.

В нижней части экрана расположен конструктор, который позволяет вносить изменения в кортежи, по которым формируются варианты применения. Это позволяет эксперту при необходимости вмешиваться в процесс анализа для реализации своих стратегий.

Также предусмотрена возможность изменения даты актуальности модели для анализа. Это позволяет анализировать динамику уровня надежности.

## Заключение

В работе разработана электронная структура БО с точки зрения анализа информации об отказах и разработки корректирующих действий и рассмотрена модель БО в аспекте системы FRACAS, позволяющая в событийно-динамическом пространстве атрибутов процессов ЖЦ решать задачи определения источников систематических отказов с последующей разработкой корректирующих действий и оценкой их результативности.

## Литература

1. [сайт]. URL: [www.relex.com/products/fracas.asp](http://www.relex.com/products/fracas.asp) (дата обращения: 12.11.2012)
2. Программный продукт FAVOWEB. Краткое описание и преимущество. Компания ALD. с. 17.
3. **Романов Ю.В.** Использование CALS – технологий для повышения эффективности процесса обеспечения безотказности бортового радиоэлектронного оборудования / Ю.В. Романов, В.В. Шишкин // Надежность. – 2009 – №4. С.36-44
4. Надежность в технике. Термины и определения: ГОСТ Р 27.002-2009. – М.: Стандартинформ, 2010. – 54 с.
5. **Шишкин В.В.** Экспертная система для анализа безотказности авиационных бортовых информационных систем / В.В. Шишкин, Ю.В. Романов, Д.И. Стенюшкин // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2012610068. – М.: РОСПАТЕНТ, 10.01.2012.
6. **Шишкин В.В.** База данных для экспертной системы для анализа безотказности авиационных бортовых информационных систем. / В.В. Шишкин, Ю.В. Романов, Д.И. Стенюшкин // Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2012620014. – М.: РОСПАТЕНТ, 10.01.2012.
7. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Руководство по оценке правильности применения электрорадиоизделий. Комплексная система контроля качества: РД В 319.01.09-94 (ред. 2-2000). Ч. 1: Общие положения. Карты рабочих режимов и условий применения электрорадиоизделий / МО РФ. – М., 2000. – 152 с.
8. Квалификационные требования. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. Требования, нормы и методы испытаний: КТ-160D / АРМАК. – М., 2004. – 323 с.
9. Руководящий технический материал. Специальные технологические процессы. Требования к порядку разработки, оформлению документации при подготовке производства, изготовлении и ремонте авиационной техники: РТМ 1.4.2118-2003. – Введ. 2004-01-01. – М.: ОАО «НИАТ», 2004г.- 26 с.