

УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ
им. В.А. Трапезникова РАН

В.С. Викторова, А.С. Степанянц

**ПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

(теория, методы расчета, программное обеспечение)

УДК 681.5.

Викторова В.С., Степанянц А.С. Проектный анализ контролепригодности технических систем (теория, методы расчета, программное обеспечение) / Научное издание. - М.:ИПУ РАН, 2010. - 71с.

Излагается методология анализа контролепригодности технических систем, включая теоретическое обоснование, методы и программы расчета показателей. Методология охватывает три этапа анализа. Первый этап включает задание структуры и определения параметров исследуемого объекта на основе данных анализа видов и последствий отказов. На втором этапе формулируются и рассчитываются показатели контролепригодности и оценивается их влияние на надежность и ремонтпригодность объекта. Третий этап содержит описание алгоритмов и программного обеспечения оценки эффективности средств встроенного контроля и построения распределений показателей контролепригодности по уровням критичности отказов. Методология внедрена в авиастроительном проекте.

Изложенный материал будет полезен как специалистам в области теории надежности (анализ надежности и контролепригодности технических систем), так и студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

Рецензенты: д.т.н, проф. А.А.Амбарцумян, д.т.н, проф. Б.Г.Волик.

Утверждено к печати Редакционным советом Института

Текст воспроизводится в виде, утвержденном Редакционным советом Института

Москва, 2010

ISBN 978-5-91450-052-5

ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ
УПРАВЛЕНИЯ 2008

Оглавление

1. Введение	4
2. Формирование исходных данных анализа	8
2.1. Построение иерархической структуры анализируемого объекта	8
2.2. Анализ видов, последствий и критичности отказов	10
2.3. Организация сбора исходных данных FMEA для анализа контролепригодности	11
3. Исследование контролепригодности систем	14
3.1. Показатели и модели оценки характеристик контроля	14
3.2. Сравнительный анализ контролепригодности	20
3.3. Абсолютная оценка показателей контролепригодности	24
3.4. Оценка влияния показателей контролепригодности на характеристики надежности системы	29
3.5. Оценка влияния показателей контролепригодности на характеристики ремонтпригодности системы	34
3.6. Описание модуля расчета показателей контролепригодности	37
4. Построение распределений показателей надежности и контролепригодности по уровням критичности отказов	50
4.1. Основные расчетные соотношения	50
4.2. Описание модуля ранжирования показателей контролепригодности по уровням критичности	52
4.2.1. Построение распределений показателей функциональных систем	53
4.2.2. Построение распределений показателей воздушного судна	55
5. Анализ эффективности средств встроенного контроля	58
6. Расчет группы показателей среднего числа отказов	61
7. Оценка показателей контролепригодности по объединенным данным FMEA и CMS	64
Литература	66
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Ввод FMEA данных	68
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Структура базы данных СПО АК	70

1. Введение

Оценка технического состояния системы обеспечивается наличием функций и средств контроля, которые определяют контролепригодность системы – ее приспособленность к обнаружению отказов и выявлению причин (места) их возникновения. Оперативный встроенный контроль технического состояния агрегатов и функциональных подсистем, контроль правильности выполнения функций (при его идеальной работе) позволяет в полной мере реализовать возможности резервирования, своевременно принимать меры по реконфигурации структуры и изменению режимов функционирования, обеспечивая, тем самым, свойство отказобезопасности системы в целом. Организация контроля сказывается на времени технического обслуживания и ремонта, которое является одним из определяющих факторов готовности, ремонтпригодности и стоимости эксплуатации систем. Однако контроль не является идеальным – во-первых, он сам отказывает, а, во-вторых, не абсолютно все отказы и события им распознаются. Поэтому для обеспечения высоких показателей надежности и безопасности систем требуется проведение тщательного проектного анализа средств контроля (СК), расчет показателей контролепригодности, выявление зависимостей показателей надежности и безопасности от характеристик СК. А в процессе эксплуатации необходим сбор и обработка статистической информации о работе контроля с целью подтверждения требований ТЗ и достигнутых при проектировании характеристик, а так же выработки рекомендаций по модернизации последующих проектов.

С целью систематизации исследований характеристик СК разработана методология проведения проектного анализа контролепригодности на уровнях подсистем и системы в целом. Данная методология прошла апробацию в ЗАО “Гражданские Самолеты Сухого” при проектировании функциональных систем российского регионального самолета Sukhoi SuperJet 100 (RRJ). Методология включает

- определение, структуризацию и процедуры ввода исходных данных анализа

- определение, формулы и алгоритмы вычисления показателей контролепригодности
- описание взаимосвязи показателей контролепригодности и надежности
- изложение подхода к оценке влияния показателей контролепригодности на характеристики надежности и ремонтпригодности самолета
- описание программной реализации ввода и хранения исходных данных, расчетных соотношений, генерации отчетов

Согласно предлагаемой методологии анализ контролепригодности выполняется как последовательность следующих взаимосвязанных этапов:

- построение иерархической структуры анализируемого объекта (воздушного судна -ВС)
- проведение анализа видов и последствий отказов агрегатов ВС, ориентированного на исследование контролепригодности
- расчет показателей контролепригодности агрегатов и функциональных систем ВС
- построение распределений показателей по уровням критичности отказов для функциональных систем и ВС в целом
- оценка эффективности встроенных средств контроля
- расчет групп показателей среднего числа отказов функциональных систем и ВС
- анализ полученных результатов
- автоматическая генерация отчетов

Для автоматизации каждого из этапов разработано специализированное программное обеспечение анализа контролепригодности (СПО АК), содержащее

- модуль расчета показателей контролепригодности функциональных систем и агрегатов
- модуль оценки эффективности встроенных средств контроля
- модуль ранжирования показателей контролепригодности по уровням критичности отказов
- модуль расчета среднего количества отказов функциональных систем и самолета в целом
- модуль оценки глубины контроля по данным Централизованной Системы Обслуживания (СМС)

СПО АК разработано в интегрированной среде Delphi, является приложением базы данных MS Access и использует OLE автоматизацию для генерации отчетов форматов MS Office. Структура ПО показана на рис.1.1.

В работе содержится описание каждого из этапов, включая теоретические положения, алгоритмы проведения расчетов, формулы вычисления показателей, описание структуры, состава базы данных, элементов интерфейса пользователя специализированного программного обеспечения анализа контролепригодности.

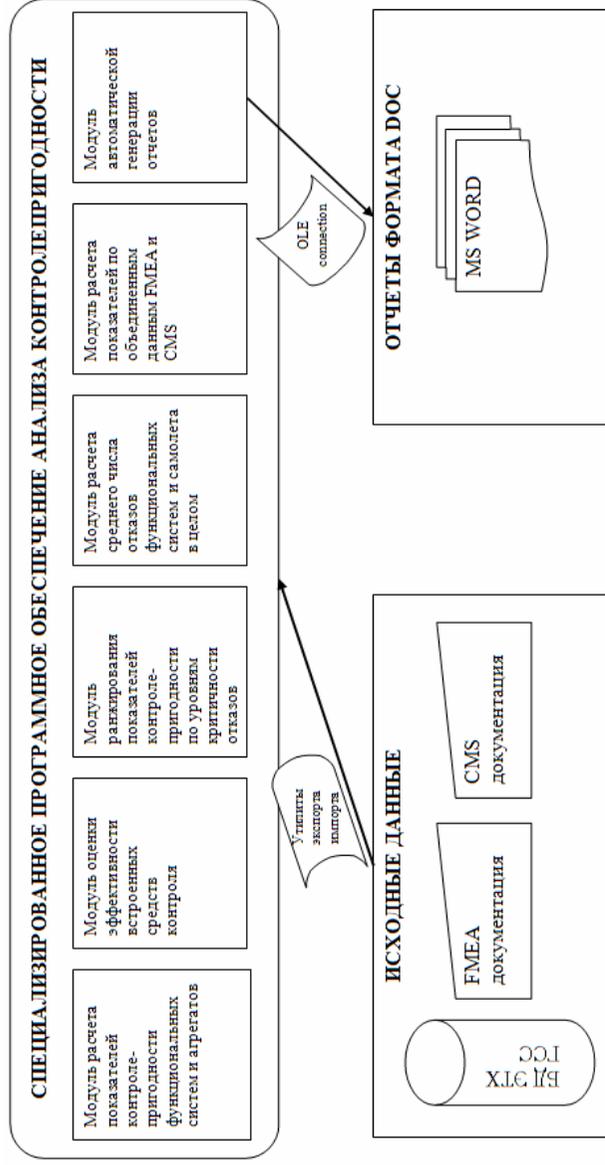


Рис.1.1. Структура Специализированного Программного Обеспечения Анализа Контролепригодности

2. Формирование исходных данных анализа

2.1. Построение иерархической структуры анализируемого объекта

Первым этапом для выполнения исследований контролепригодности является подготовка необходимой входной информации по структурным и надежностным характеристикам объекта контроля и средств контроля.

Анализируемый объект представляется деревом с произвольным числом потомков для каждого родительского узла. Самый верхний узел (узел нулевого уровня) – объект (воздушное судно в целом); узлы следующего уровня – функциональные системы; каждая система может содержать произвольное число вложений; узлам самого нижнего уровня, не имеющим потомков, соответствуют типовые элементы замены (в ряде зарубежных нормативных материалов такие элементы называются LRU – Line Replaceable Unit). В терминах программного обеспечения анализа надежности, такая иерархическая древовидная структура называется системным деревом. Каждому узлу системного дерева присваивается уникальный идентификатор (ID). Рекомендуется применять кодировку как можно более высокого, лучше всего международного уровня. При отсутствии международных можно использовать внутреннюю для отрасли или предприятия кодировку элементов. Однако следует иметь в виду, что чем выше уровень кодирования, тем более ценными и общедоступными являются результаты анализа. Применительно к данной методологии в качестве ID LRU был использован иерархический код ATA [1], первые два символа которого определяют функциональную систему, а четыре последующих – съемный элемент. Соответственно системное дерево объекта анализа строится с тремя уровнями иерархии (самолет в целом, функциональная система, LRU).

В рамках описываемой методологии автоматизация анализа контролепригодности осуществляется двумя совместно работающими программными средствами - универсальный комплекс анализа надежности и безопасности Relex (компания PTC, США) (www.relex.com), специализированное программное

обеспечение анализа контролепригодности СПО АК. Первичный ввод информации осуществляется в базу данных Relex, которая при необходимости импортируется в базу СПО АК с помощью встроенных Relex-утилит импорта-экспорта. Такая организация работы позволяет избежать трудозатрат, связанных с дублированием ввода информации в специализированные приложения, и позволяет формировать эталонную базу данных, которая может быть использована при любых видах как количественного, так и качественного анализа надежности, безопасности, контролепригодности. Ввод информации в Relex осуществляется штатными средствами программы и описан в соответствующих руководствах [2,3]. Структура базы данных СПО АК приведена в приложении.

Каждому узлу системного дерева уровня функциональных систем ставятся в соответствие заданные по ТЗ/ТУ значения следующих показателей надежности и контролепригодности:

- средняя наработка до отказа $T_{\text{ср.задан.}}^1$
- коэффициент надежности средств контроля $M_{\text{к задан.}}$, определяемый как доля отказов средств контроля (СК) в общем потоке неисправностей функциональной системы
- полнота контроля $\eta_{\text{задан.}}$
- глубина контроля $\gamma_{\text{задан.}}$
- коэффициент несрабатываний средств контроля $K_{\text{нев.задан.}}$, т.е. доля отказов СК типа невыдачи сигнала об неисправности контролируемого объекта

Для каждого узла системного дерева уровня агрегатов (LRU) вводится следующая информация

- МТТФ (значение показателя может быть получено из проектной документации, статистических данных [4], моделей прогнозирования безотказности [5-9])
- количество агрегатов
- двоичный признак принадлежности к СК (1- агрегат принадлежит к системе контроля, 0 – не принадлежит)

Для узла любого уровня вводится идентифицирующая и описательная информация

¹ для обозначения $T_{\text{ср.}}$ в зарубежной литературе используется аббревиатура МТТФ - middle time to failure. Для невосстанавливаемых систем МТТФ = МТВФ (middle time between failures)

- код АТА
- наименование русское и английское

2.2. Анализ видов, последствий и критичности отказов

Анализ видов и последствий отказов компонентов технической и функциональной структур проектируемой системы или этапов технологического процесса является первым этапом проектного исследования надежности и безопасности. Общепринятой международной аббревиатурой для обозначения анализа видов и последствий отказов является FMEA (failure mode and effect analysis). Этот вид анализа относится к классу предварительного качественного и упрощенного количественного анализа на стадии проектирования. Если проводятся количественные оценки, то употребляется термин FMESA (failure mode, effect and criticality analysis). Первые опыты проведения FMEA относятся к аэрокосмическим проектам 60-х годов СССР и США. В 80-х годах процедуры FMEA стали внедряться в автомобильной промышленности США в Ford Motor Company. В настоящее время анализ видов и последствий отказов является обязательным этапом проектной оценки надежности и безопасности объектов космической, авиастроительной, атомной, химико-технологической, газо-нефтеперерабатывающих и т.д. отраслей.

Можно выделить три основные цели проведения FMEA

- выявление потенциально-возможных видов отказов компонентов системы и определение их влияния на систему в целом и возможно окружающую среду
- классификация видов отказов по уровням критичности или по уровням критичности и частоте возникновения (FMESA)
- выдача рекомендаций по пересмотру проектных решений с целью компенсации или устранения опасных видов отказов

FMEA является наиболее стандартизированной областью “надежностных” исследований. Процедура проведения и вид входной/выходной документации регламентируется соответствующими стандартами. Международно признанными являются документы:

- **MIL-STD-1629 Style FMECAs** - руководство по проведению анализа видов и последствий отказов, оценки

критичности, выявлению узких мест конструкций с точки зрения ремонтпригодности и живучести. Первоначально был ориентирован на военные применения.

- **SAE J1739, AIG-FMEA3, FORD FMEA** – пакет документов, регламентирующих проведение анализа видов и последствий отказов для объектов автомобильной промышленности, включая стадии проектирования и изготовления
- **SAE ARP5580** – руководство по проведению FMEA как коммерческих, так и военных проектов, объединяющий положения MIL-STD-1629 и автомобильных стандартов. Введено понятие групп эквивалентных отказов, т.е. с одинаковыми последствиями.

Общим для всех стандартов является то, что они регламентируют лишь последовательность и взаимосвязь этапов анализа, оставляя проектировщику свободу действий при конкретной реализации каждого этапа. Так, допускается произвольная настройка структуры таблиц FMEA, определение шкал частот возникновения отказов и тяжести последствий, введение дополнительных признаков классификации отказов и пр.

При проектировании уникальных технических объектов, в условиях отсутствия адекватных моделей безотказности и информации по объектам-аналогам результаты проведения FMEA являются одним из основных источников исходных данных для различных направлений “надежностных” исследований, в частности, анализа *контролепригодности*.

2.3. Организация сбора исходных данных FMEA для анализа контролепригодности

Для получения исходных данных при исследовании контролепригодности по результатам проведения анализа видов и последствий отказов необходимо решить задачу определения структуры входных форм FMEA, порождаемых в результате совместной работы проектировщиков системы и специалистов отделов надежности. Эта задача решается, исходя из вида и набора рассчитываемых показателей и используемых моделей анализа. Так, для получения исходных данных по оценке контролепригодности предлагается в FMEA включать поля, приведенные в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Структура таблицы FMEA для сбора исходных данных по контролепригодности

1	2	3	4 ²	5 ³	6	7 ⁴	8 ⁵	9 ⁶	10 ⁷	11	12	13	14
Наименование агрегата	Код АТА	Идентификатор вида отказа	Интенсивность отказов [1/ч]	Метод контроля	Признак сообщения	Критичность отказа	Фаза выполнения задания	Ложная тревога?	Индикатор глубины	Примечание	Наименование отказа	Наименование отказа (англ.)	ID отказа CMS

1 – на каждый агрегат (LRU) задается перечень видов отказов. Виды отказов могут быть получены от разработчиков функциональных систем или же взяты из специализированных библиотек видов отказов электронного, механического и электромеханического оборудования (FMD91, FMD97, MIL HDBK-338, NPRD3, RADC-TR-84-244, RADC-TR-844-244-4-A)

2 – на каждый вид отказа может задаваться как абсолютное значение его интенсивности, так и процент от суммарной интенсивности отказов данного агрегата

3 – для заполнения этого поля заранее формируется список используемых методов контроля. Например, в самолетостроении используется следующий список: ВIT, СВIT (непрерывный встроенный контроль), РВIT (автоматический контроль при включении), PFC (предполетная проверка, выполняемая пилотом), CREW (экипаж осуществляет визуальный контроль во время полета), TACKTILE FEEDBACK (экипаж осуществляет контроль по ощущениям), MAINT (наземный контроль при обслуживании), NONE (контроль отсутствует)

4 - критичность вида отказа – это стандартное поле, обязательно присутствующее в таблицах FMEA вне зависимости от ориентации анализа. Значения поля выбираются из сформированного экспертным путем списка. Каждый элемент списка определяет степень влияния вида отказа на подсистему, содержащую данный

LRU, и систему в целом. Индикатором критичности может являться как число, так и словесное описание. Примерами подобных списков являются: {1,2,3,4} – применяется в отечественном самолетостроении; {1,2,3,4,5,6,7,8,9,10} – применяется в зарубежном автомобилестроении, {Marginal, Minor, Catastrophic, Critical, Major} – список из стандарта MIL-STD-1629.

5 - значение поля “этап выполнения задания” выбирается из списка, формируемого, исходя из режимов работы объекта анализа. Так, например, для самолетостроения анализ видов и последствий отказов обычно проводится для этапов {запуск двигателя и выруливание, взлет, набор высоты, крейсерский полет, снижение, посадка, заруливание и выключение двигателя} или более укрупнено {взлет, полет, посадка}.

6 – поле “ложная тревога?” введено для разделения отказов LRU, относящихся к средствам контроля, на отказы типа несрабатывания и ложного срабатывания.

7 – индикатор глубины - это целое число, принимающее значения {1,2,3}; 1 – отказ выявляется до одного LRU; 2 – отказ выявляется до двух LRU; 3 – отказ выявляется до трех или более LRU.

Поля 12-14 введены для хранения информации из базы данных системы централизованного обслуживания CMS.

Структура предложенной таблицы FMEA ориентирует специалистов, проводящих анализ видов и последствий отказов, на сбор информации именно для исследований контролепригодности и позволяет должным образом сгруппировать исходные данные.

Форма ввода данных FMEA описана в приложении 1.

Структура базы данных специализированного программного обеспечения анализа контролепригодности приведена в приложении. 2.

3. Исследование контролепригодности систем

3.1. Показатели и модели оценки характеристик контроля

Для оценки степени влияния средств контроля на изменение работоспособности системы необходимо характеристики контроля определить на множестве возможных состояний системы, отражающих отказы ее элементов. Интегральную оценку качества контроля будем проводить по показателю **достоверность контроля** [9]. Но и отдельные составляющие, входящие в интегральную оценку, представляют интерес, как с точки зрения задания, обоснования требований к СК, так и для понимания причин снижения интегральной характеристики, выявления степени влияния составляющих. Основными характеристиками контроля, регламентированными нормативной документацией [10], в том числе зарубежной [11], являются:

- полнота контроля (*fault detection*)
- глубина контроля (*fault isolation*).

Полнота контроля характеризует долю отказов объекта контроля, обнаруживаемых при контроле работоспособности. В общем случае качество контроля определяется перечнем элементов (модулей), отказы которых выявляются контролем. Поэтому одной из характеристик полноты контроля может быть отношение числа контролируемых элементов к общему числу элементов рассматриваемого объекта контроля (например, в процентах). Однако для совместного моделирования «надежного поведения» объекта и средств контроля желательно задавать полноту контроля как некоторый вероятностный показатель или как отношение показателей, характеристик надежности (отказа) контролируемых элементов ко всем элементам. Целесообразность такого задания объясняется тем, что при моделировании «надежного поведения» анализируемого объекта (например, системы), можно будет «разбить» общий поток отказов на две составляющие – выявляемые контролем отказы и «скрытые» отказы. Полноту контроля в этом случае можно определить как условную вероятность контролируемого отказа, при условии, что отказ произошел:

$$\eta = \text{Pr ob}\{\text{контр.отказ}/\text{отказ на } (0, t)\} = \frac{1 - e^{-\int_0^t \Lambda_k(t) dt}}{1 - e^{-\int_0^t \Lambda(t) dt}}, \quad (3.1)$$

где Λ – суммарная интенсивность отказов объекта контроля (контролируемые + неконтролируемые); Λ_k – суммарная интенсивность контролируемых отказов.

Проведя усреднение интенсивностей отказов на интервале $(0, t)$, получаем:

$$\eta = \frac{1 - e^{-\lambda_{\text{к.усп.}}(t) \cdot t}}{1 - e^{-\lambda_{\text{усп.}}(t) \cdot t}} = \frac{\lambda_{\text{к.усп.}}}{\lambda_{\text{усп.}}}, \quad (3.2)$$

где $\lambda_{\text{усп.}} = \frac{1}{t} \int_0^t \lambda(t) dt$ и для реальных высоконадежных систем

$\lambda_{\text{усп.}} t \ll 1$.

Общие выражения (3.1, 3.2) для полноты контроля при экспоненциальных распределениях наработки до отказа элементов наиболее удобно задавать как отношение суммарной интенсивности отказов контролируемых элементов к суммарной интенсивности отказов всех элементов, т.е.

$$\eta = \frac{\sum_{j \in K} \lambda_j}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad (3.3)$$

где η – полнота контроля; n – количество элементов объекта контроля; K – подмножество контролируемых элементов; λ_i – интенсивность отказа i -го элемента. В этом случае определяемая полнота является условной стационарной вероятностью контролируемого отказа, при условии, что отказ произошел.

Глубина контроля характеризует «разрешающую» способность средств контроля. Понятие данной характеристики более разнообразное, чем полноты контроля. Например, можно понимать глубину контроля некоторой системы как глубину поиска неисправного компонента в иерархии компонент структуры системы: подсистема, ... , модуль, плата, элемент электро-радио

изделия (ЭРИ). В данной работе глубина будет определяться через типовые элементы замены (LRU) следующим образом. Если, при возникновении контролируемого отказа, контроль указывает на некоторое подмножество элементов, которые возможно отказали, то эти элементы одновременно снимаются (в том числе и не отказавшие) и заменяются на работоспособные (это и является спецификой оперативного обслуживания). По аналогии с полнотой глубину контроля также можно понимать как долю в общем количестве элементов анализируемого объекта контролируемых до одного LRU, двух LRU, трех LRU и т.д. Таким образом, глубина контроля может быть представлена рядом распределения. Составляющие этого ряда – стационарные вероятности снятия одного, двух ..., n LRU (где n – число элементов объекта контроля), при условии возникновения одного отказа. Если эти вероятности выражены через отношения количества элементов соответствующих подмножеств LRU к общему количеству LRU (например, в процентах), то такая характеристика является качественной, в том смысле, что она не связана с вероятностной моделью комплекса «объект контроля – средства контроля». С точки зрения «надежностного» анализа глубина контроля влияет на показатели ремонтпригодности, в частности, на среднее время восстановления работоспособности, на число ЗИП. Для формирования моделей потоков восстановления глубина контроля может определяться аналогично полноте через отношения суммарных интенсивностей отказов для каждого члена указанного ряда распределения по количеству снимаемых LRU:

$$\gamma_{1k} = \frac{\sum_{j \in G_k} \lambda_j}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad (3.4)$$

где γ_{1k} – характеристика 1 глубины контроля для k снимаемых элементов (модулей LRU); G_k – подмножество контролируемых элементов, при отказе любого из которых снимается k элементов.

В последнее время в некоторых документах, материалах, в том числе, в проектной документации гражданской авиации появился показатель MTBUR (Mean Time Between Unscheduled Removals или в некоторых источниках Mean Time Between Unscheduled Replacement), заимствованный из зарубежных документов. Часто

этот показатель связывают с глубиной контроля, в частности, вычисляют MTBUR умножением глубины γ_{11} на $T_{\text{ср. между}}$ (среднюю наработку между отказами). Это неверно по многим причинам, одна из которых та, что γ_{11} определяет лишь одну составляющую числа снимаемых модулей. Так, если глубина контроля такова, что ни один отказ не определяется с точностью до одного модуля, то γ_{11} будет равно нулю и тогда MTBUR также равно нулю, что неверно. Введение показателя MTBUR связано с повсеместным внедрением на западных предприятиях унифицированной процедуры сбора, анализа, документирования данных об отказах/инцидентах и соответствующих корректирующих действиях – FRACAS (failure reporting, analysis and corrective action system) [12,13]. В литературе по FRACAS этот показатель определяется как логистический (а не как показатель надежности!), и никак не может подменять основные показатели надежности, сформулированные в отечественных и зарубежных стандартах, литературе [14-17]. Критически можно высказаться также по поводу терминологической подмены нашего показателя *средняя наработка между отказами* ($T_{\text{ср. между}}$) показателем MTBF. MTBF есть величина обратная параметру потока отказов ($\text{MTBF}=1/\omega$) и следовательно включает как наработку между отказами, так и время восстановления, т.е. полный цикл времени между отказами. У нас же для $T_{\text{ср. между}}$ определена только одна составляющая, а именно наработка. Введение в отечественную практику и теорию надежности показателя $T_{\text{ср. между}}$, связано с желанием оценки не только временных, но и других ресурсных характеристик системы. Как правило, разработчики, расчетчики вычисляют показатель $T_{\text{ср. между}}$, а называют его MTBF, что некорректно. Очевидная связь между этими показателями осуществляется умножением MTBF на стационарный коэффициент готовности:

$$T_{\text{ср. между}} = K_{\text{стац.}} * \text{MTBF} \quad (3.5)$$

Другой вероятностной характеристикой глубины контроля может быть отношение математического ожидания числа отказов в системе к математическому ожиданию числа съёмов за наработку (полетные часы) t :

$$\gamma_2 = \frac{M\{n_{\text{отк.}}(t)\}}{M\{n_{\text{съёмов}}(t)\}} \quad (3.6)$$

Так вычисляемая глубина уже может быть связана с показателем типа MTBUR, если его определить как отношение наработки t к среднему числу съёмов:

$$\text{MTBUR} = \frac{t}{M\{n_{\text{съёмов}}(t)\}}, \quad (3.7)$$

где t – наработка, $M\{n_{\text{съёмов}}(t)\}$ – математическое число съёмов за эту наработку

Воспользуемся аппаратом деревьев событий для определения интегральной характеристики средств контроля – достоверности контроля.

Обозначим:

$A(\bar{A})$ – состояние работоспособности (неработоспособности)

объекта контроля;

$B(\bar{B})$ - состояние объекта признаётся работоспособным (неработоспособным) средствами контроля.

Тогда формально можно определить следующие результаты взаимодействия объекта и средств контроля :

- работоспособное состояние объекта признаётся контролем как работоспособное, что записывается $A\bar{B}$;
- работоспособное состояние объекта признаётся контролем как неработоспособное, что записывается $A\bar{B}$;
- неработоспособное состояние объекта признаётся контролем как работоспособное, что записывается $\bar{A}B$;
- неработоспособное состояние объекта признаётся контролем как неработоспособное, что записывается $\bar{A}\bar{B}$.

Правильная оценка состояния объекта контроля происходит, когда результат взаимодействия объекта и средств контроля имеет вид $A\bar{B}$ или $\bar{A}\bar{B}$. Определим достоверность контроля как

$$D = P(A\bar{B}) + P(\bar{A}\bar{B}) \quad , \quad (3.8)$$

а недостоверность как

$$\bar{D} = 1 - D = P(A \wedge \bar{B}) + P(\bar{A} \wedge B) \quad . \quad (3.9)$$

Составляющие недостоверности контроля можно записать $P(A\bar{B}) = P(A) \cdot P(\bar{B}/A)$; $P(\bar{A}\bar{B}) = P(\bar{A}) \cdot P(B/\bar{A})$, (3.10)

где $P(A)$, $P(\bar{A})$ - вероятности работоспособного состояния и отказа объекта контроля,

$P(\bar{B}/A)$, $P(B/\bar{A})$ - условные вероятности признания контролем отказа объекта, при условии его работоспособности, и работоспособности объекта, при условии его отказа, соответственно.

Для вычисления условных вероятностей воспользуемся аппаратом деревьев событий, введя в качестве учитываемых факторов полноту контроля и состояния контроля (работоспособность, и два вида отказа). Деревья событий, в принципе, являясь переборным методом, удобны для вычисления условных вероятностей тем, что позволяют декомпозировать всю задачу, помещая условие в корень дерева и рассматривая его как исходное событие. Причем условие может состоять не из одного события, а из любой их логической комбинации. Агрегирование показателей, вычисленных для выделенных при декомпозиции частей, в данном случае, проводится по формулам условной вероятности (в частности, (3.10)). Обозначим, η - полнота контроля, $K, \bar{K}_{лс}, \bar{K}_{нс}$ - события работоспособности и отказов типа ложного срабатывания и несрабатывания контроля. На рис 3.1, 3.2 представлены соответствующие деревья событий.

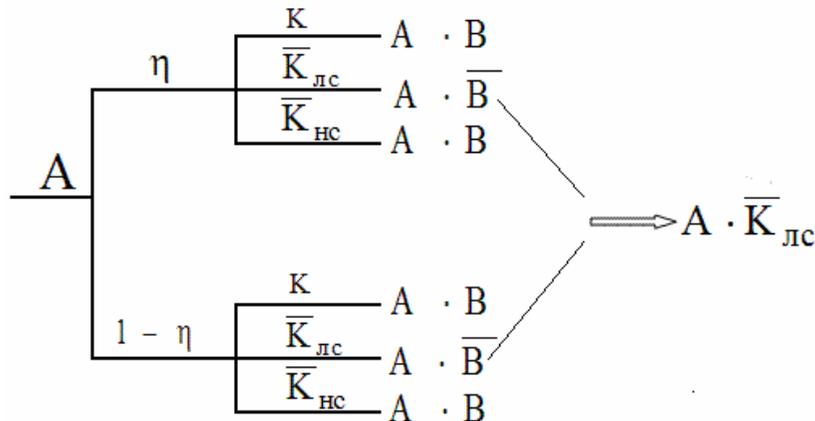


Рис.3.1. Дерево событий признания контролем отказа объекта.

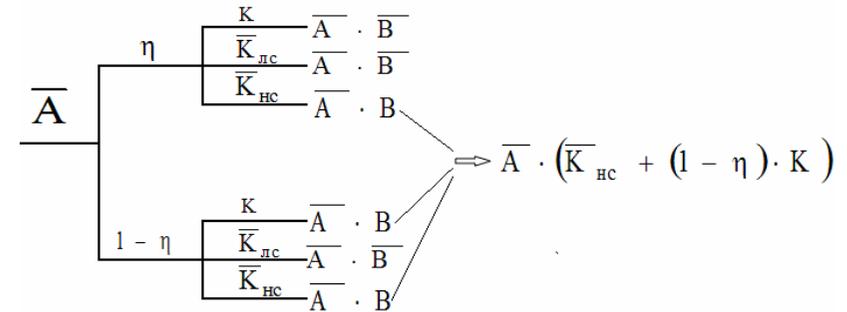


Рис.3.2. Дерево событий признания контролем работоспособности объекта.

После вычисления по ним искомых условных вероятностей, в соответствии с (3.9) получим

$$\bar{D}_1 = P(A) \cdot P(\bar{K}_{лс}) + P(\bar{A}) \cdot (P(\bar{K}_{нс}) + (1 - \eta) \cdot P(K)). \quad (3.11)$$

Здесь возникает еще один вопрос, как относиться (с точки зрения достоверности) к указаниям контроля на два или более LRU, при отказе одного из них (т.е. как ввести в недостоверность глубину контроля). Предлагается отнести такую ситуацию также к недостоверности контроля, так как идентификация хотя бы одного работоспособного LRU как отказавшего, приводит к необходимости изъятия его (их) из системы, а значит это несовершенство контроля. Такая ситуация возникает, когда событие $\bar{A} \cap \eta \cap K$ возникает с условной вероятностью $(1 - \gamma_{11})$. Таким образом, окончательно получаем

$$\begin{aligned} \bar{D} &= P(A) \cdot P(\bar{K}_{лс}) + P(\bar{A}) \cdot (P(\bar{K}_{нс}) + \\ &(1 - \eta) \cdot P(K)) + (1 - \gamma_{11}) \cdot P(\bar{A}) \cdot \eta \cdot P(K). \quad (3.12) \\ D &= 1 - \bar{D} \end{aligned}$$

3.2. Сравнительный анализ контролепригодности

Сравнительный анализ контролепригодности необходимо проводить по двум направлениям. Первое – это сравнение значений показателей контролепригодности функциональных систем воздушного судна между собой. Второе - сравнения требуемых по ТЗ на функциональную систему и полученных в процессе проектирования характеристик контролепригодности. Реализация

первого направления очевидна. На каждую систему рассчитываются как составляющие (полнота, глубина), так и интегральная характеристика контроля (достоверность) и далее сравниваются между собой. Общая идея второго направления заключается в проведении взаимосвязанных и единообразных (с точки зрения принятых модельных предположений) вычислений полноты, глубины и достоверности по данным как технического задания, так и проектирования. Проводимый таким образом анализ позволяет корректно сравнивать требования с полученными результатами. На этапе формирования требований задаются желаемые значения показателей для анализируемых систем (средняя наработка между отказами полнота, глубина контроля, требования по надежности контроля). Эти данные затем используются для вычисления DI (требуемой достоверности контроля). Далее проводятся расчеты показателей надежности и контролепригодности функциональных систем на основе данных анализа видов и последствий отказов и проектных характеристик надежности LRU, поставляемых разработчиками. Расчетные значения показателей надежности, полноты и глубины контроля используются в свою очередь для вычисления расчетной (проектной) достоверности контроля DII. Как требуемое по ТЗ (ТУ) значение показателя DI, так и расчетное DII вычисляются по формуле (3.12). При выполнении неравенства $DII \geq DI$ проектные решения по организации контролепригодности признаются удовлетворительными. В противном случае необходим пересмотр проектных решений.

Для определения составляющих выражения достоверности контроля DI используются следующие расчетные соотношения:

- вероятность безотказной работы системы за время выполнения задания $P(t)$

$$P(t) = e^{-\left(\frac{1}{T_{\text{ср.задан.}}}\right)t} \quad (3.13)$$

- вероятность безотказной работы средств контроля $P_k(t)$

$$P_k(t) = e^{-\left(\frac{M_{\text{задан.}}}{T_{\text{ср.задан.}}}\right)t} \quad (3.14)$$

- вероятность отказа средств контроля типа невыдачи сигнала об отказе контролируемой системы $P_{\text{нев.к.}}(t)$

$$P_{\text{нев.к.}}(t) = K_{\text{нев.к.задан.}}(1 - P_k(t)) \quad (3.15)$$

- вероятность отказа средств контроля типа выдачи ложного сигнала об отказе контролируемой системы при ее работоспособности $P_{\text{л.с.к.}}(t)$.

$$P_{\text{л.с.к.}} = K_{\text{л.с.к.задан.}}(1 - P_k(t)) = (1 - K_{\text{нев.к.задан.}})(1 - P_k(t)) \quad (3.16)$$

где $K_{\text{л.с.к.задан.}}$ – доля отказов СК типа выдачи ложного сигнала

- вероятность возникновения неконтролируемого отказа системы $Q_{\text{неконтр.}}(t)$

$$Q_{\text{неконтр.}}(t) = (1 - \eta_{\text{задан.}})(1 - P(t)) \quad (3.17)$$

- $P_{>1}(t)$ - вероятность съема более чем одного LRU при возникновении отказа LRU

$$P_{>1}(t) = (1 - e^{-\frac{1}{T_{\text{ср.задан.}}}t})\eta_{\text{задан.}}(1 - \gamma_{\text{задан.}}) \quad (3.18)$$

Для определения достоверности контроля DII необходимо выполнить следующие действия:

- для каждой системы воздушного судна провести разбиение входящих в них компонентов (LRU) на две группы – компоненты функционального назначения; компоненты, относящиеся к средствам контроля
- определить средние наработки до отказа функциональных систем $T_{\text{расч.}}$ на основе наработок ($MTTF_i$), входящих в них LRU:

$$T_{\text{расч.}} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{MTTF_i}} \quad (3.19)$$

$MTTF_i$ – средняя проектная наработка до отказа LRU, предоставляемая разработчиками функциональных систем. Если для каких-либо LRU введено резервирование, то $MTTF_i$ – это рассчитанная наработка с учетом вида резервирования.

- для каждой функциональной системы, определить суммарную наработку элементов, относящихся к СК, $T_{\text{к.расч.}}$:

$$T_{\text{к.расч.}} = \frac{1}{\sum_{i \in \text{СК}} \frac{1}{MTTF_i}} \quad (3.20)$$

- вычислить расчетный коэффициент надежности средств контроля $M_{к\text{ расч.}} = T_{\text{расч.}}/T_{к\text{ расч.}}$ и сравнить его с заданным по ТЗ/ТУ значением $M_{к\text{ задан.}}$. Если $M_{к\text{ расч.}}$ значительно отличается от заданного значения, то выдаются рекомендации о пересмотре проектных решений.
- на основе данных разработчика о полноте, глубине, доле отказов СК типа ложного срабатывания вычислить по (3.13 – 3.18) проектные значения для следующих показателей: вероятность безотказной работы системы $P_{\text{пр.}}(t)$, вероятность безотказной работы средств контроля $P_{к\text{ пр.}}(t)$, вероятность возникновения неконтролируемого отказа системы $Q_{\text{пр.неконтр.}}(t)$, вероятностей отказа средств контроля типа невыдачи $P_{\text{пр.нев.к.}}(t)$ и ложного срабатывания $P_{\text{пр.л.с.к.}}(t)$, вероятность срабатывания более, чем одного LRU $P_{\text{пр.>1}}(t)$
- определить проектную достоверность контроля ДП (по формулам (3.12)) для каждой функциональной системы воздушного судна в целом на основе рассчитанных значений показателей надежности и контролепригодности.

Если вычисления показателей надежности и контролепригодности проводить на основе данных анализа видов и последствий отказов LRU, то эти показатели будут характеризовать функциональные системы с точки зрения безопасности. Это связано с тем, что в списки видов отказов включены только те их них, которые в той или иной мере влияют на безопасность полета воздушного судна. Тогда $MTTF_i$ LRU будет вычисляться на основе интенсивностей видов отказов, приведенных в соответствующих строках FMEA таблицы:

$$MTTF_i = \frac{1}{\sum_{j \in \text{FMEA}} \lambda_{ij}} \quad (3.21)$$

А полнота (η_i) и глубина контроля (γ_i) будет определяться по формулам (3.3, 3.4), где к подмножеству K_i (контролируемых отказов i -го LRU) относятся виды отказов, помеченные в поле 5 таблицы FMEA (см. табл.2.1) как {BIT, CBIT, PBIT, PFC, CREW, TACKTILE FEEDBACK, MAINT}, т.е. все кроме {NONE}.

Показатель ДП, вычисленный по (3.12) с составляющими, определенными на основе FMEA, характеризует достоверность контроля с точки зрения безопасности.

3.3. Абсолютная оценка показателей контролепригодности

Помимо сравнительного анализа возможно осуществление абсолютных оценок средств контроля по показателю достоверности (недостоверности). Важным вопросом здесь является исследование зависимости недостоверности контроля от его надежности и от соотношения видов отказов типа несрабатывания и ложного срабатывания. Воспользовавшись выражением (3.12), проведем исследование зависимости недостоверности контроля от коэффициента M_k , равному отношению средней наработки до отказа системы к средней наработке до отказа контроля. На рисунках 3.3 (а,б,в,г) построены кривые недостоверности контроля для значений коэффициента несрабатывания (доля отказов типа несрабатывания) 0, 0.5 и 1. Полнота и глубина контроля принимались равными 0.9, средняя наработка на отказ контролируемой системы - 1250ч. На графиках также приведены кривые вероятностей отказа контроля типа несрабатывания, к которым в пределе стремится недостоверность. График рис.3.3.а построен для расчетного времени выполнения задания – 3ч. Поведение кривых графика иллюстрирует два важных факта:

- для систем, у которых $t_{\text{задания}} \ll T_{\text{ср.}}$ (например, самолеты), недостоверность контроля, в основном, определяется отказами типа ложных срабатываний, так как составляющая недостоверности, зависящая от вероятности отказа объекта контроля, мала (см.3.12).
- расхождение значений показателя недостоверности при граничных значениях коэффициента несрабатывания (0 и 1) и для реальных соотношений ненадежности средств контроля и объекта контроля ($M_k=0.1$) незначительны.

Графики рисунков б). и в). показывают, что для интервалов времени, близких к $T_{\text{ср.}}$, наблюдается усиление тенденции к нечувствительности показателя недостоверности контроля к изменению значения коэффициента несрабатывания. Если $t_{\text{задания}} > T_{\text{ср.}}$ (рис.3.3.г), то

- наибольший вклад в недостоверность контроля начинают вносить отказы типа несрабатывания

- наблюдается сильная зависимость показателя достоверности контроля от его ненадежности, стремящаяся в пределе к вероятности отказа средств контроля типа невыдачи сообщения об отказе контролируемой системы

Еще одной важной и интересной проблемой контролепригодности при проектировании технических систем является обоснованное задание требований на коэффициент несрабатывания для встроенных средств контроля. Для исследования проблемы построим графики зависимости достоверности контроля от времени (рис.3.4 а и б). Графики а). и б). подтверждают выявленную ранее тенденцию о малой чувствительности показателя достоверности к коэффициенту несрабатывания до моментов времени, близких средней наработке до отказа объекта контроля. Формульное выражение для момента времени t_E , в котором пересекаются кривые достоверности контроля (график а).), получим, приравняв нулю сумму членов выражения 3.12, зависящих от $K_{\text{несраб.к.}}$. Тогда $P(t) \cdot Q_k(t) \cdot (1 - K_{\text{несраб.к.}}) + Q(t) \cdot Q_k(t) \cdot K_{\text{несраб.к.}} = 0$. Откуда получаем $P(t) = 0.5$.

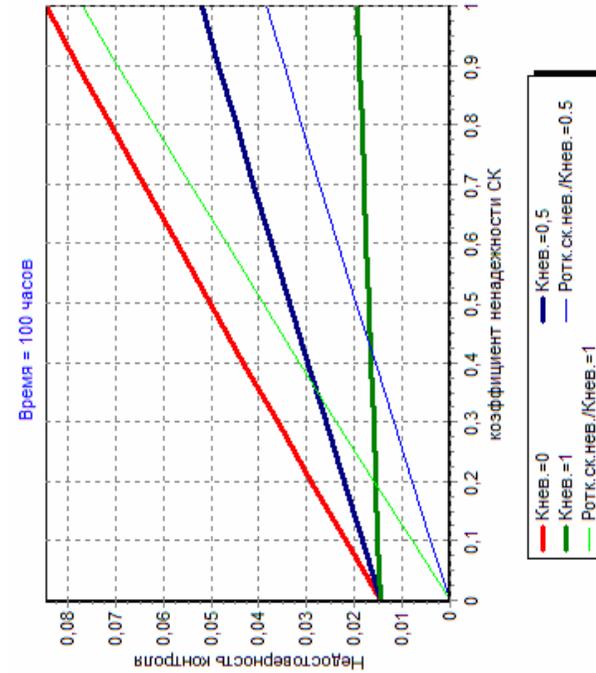
И для экспоненциального случая

$$t_E = -\ln(0.5) \cdot T_{\text{ср.}} = 0.693 \cdot T_{\text{ср.}} \quad (3.22)$$

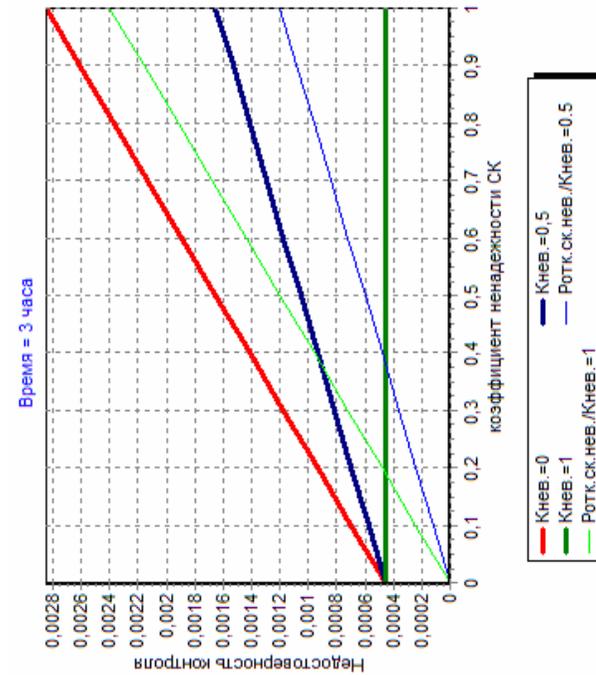
Таким образом, на этапе формирования технического задания при задании требований на вероятности отказа контроля первого (невыдача) и второго (ложное срабатывание) рода предлагается руководствоваться следующим правилом:

$$\begin{cases} \text{если } t_{\text{зад.}} \leq t_E, \text{ то } K_{\text{несраб.к.}} \geq 0.5 \\ \text{если } t_{\text{зад.}} > t_E, \text{ то } K_{\text{несраб.к.}} < 0.5 \end{cases} \quad (3.23)$$

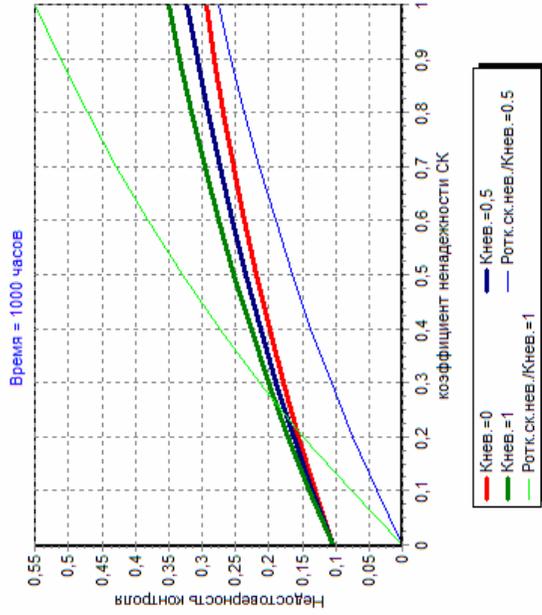
Безусловно, выбор по этому правилу является первой “прикидочной” оценкой соотношения отказов первого и второго рода для средств встроенного контроля. Выбор окончательного решения должен проводиться с учетом выполнения требований по другим критериям, и в первую очередь по критерию безопасности, особенно, если речь идет о таких областях как самолетостроение [18]. Не в столь критичных областях в качестве дополнительных критериев могут использоваться ограничения на значения показателей ремонтопригодности, в частности среднего времени восстановления [11].



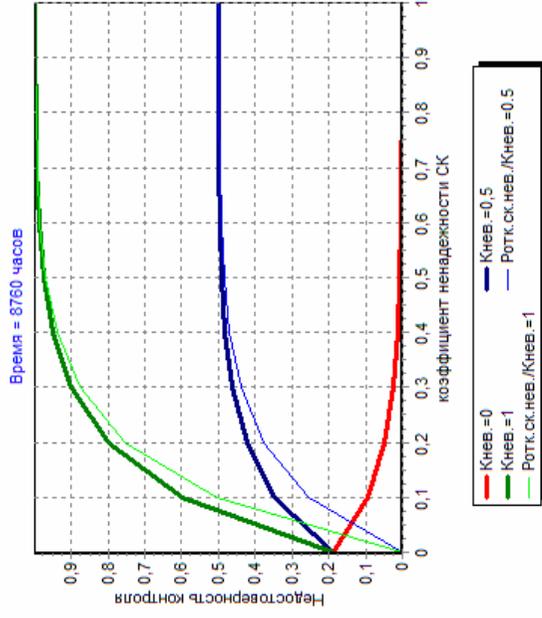
б).



а).

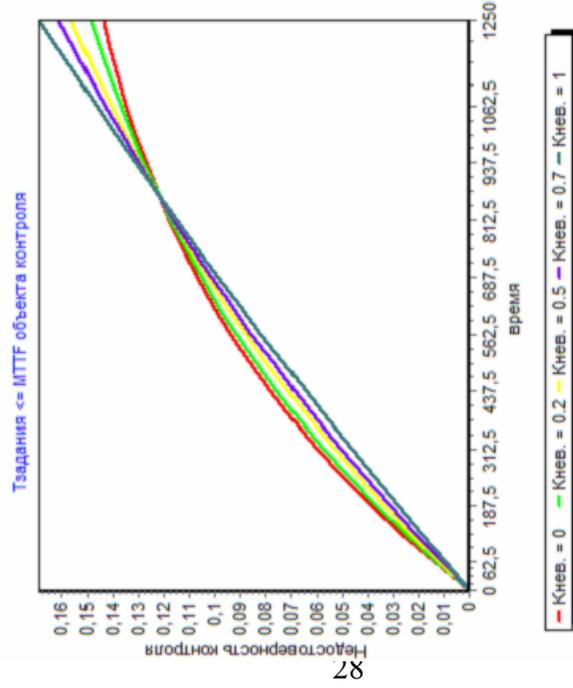


В)

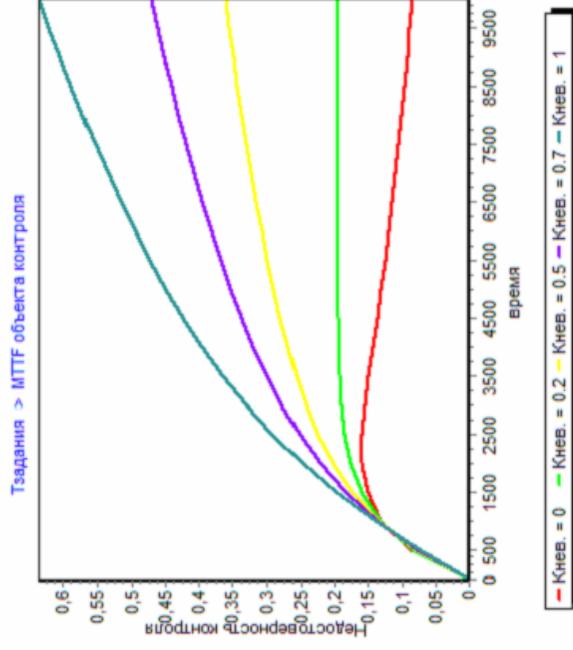


Г)

Рис.3.3. Г график зависимости надёжности от надёжности контроля



а)



б)

Рис.3.4. Г график зависимости надёжности контроля от времени

3.4. Оценка влияния показателей контролепригодности на характеристики надежности системы

Роль систем контроля должна оцениваться по влиянию их характеристик на вероятностные показатели надежности, безопасности. Проведем исследование надежности дублированной схемы с восстановлением, показанной на рис. 3.5, по такому показателю безотказности, как среднее время работы до отказа. Встроенный контроль выявляет не все отказы рабочих элементов схемы. Долю отказов, выявляемых ВГТ, обозначим как η . Принято допущение об абсолютной надежности средств контроля. Элементы схемы равнонадежны с интенсивностью отказов и восстановления, равных соответственно λ и μ . Восстановление работоспособности элементов происходит лишь при возникновении отказов, выявляемых ВГТ. Тогда дублированная схема может быть представлена как параллельное соединение двух каналов, каждый из которых состоит из контролируемой и восстанавливаемой и неконтролируемой и невосстанавливаемой частей. Интенсивности отказов контролируемой и неконтролируемой частей равны $\eta\lambda$ и $(1-\eta)\lambda$ соответственно.

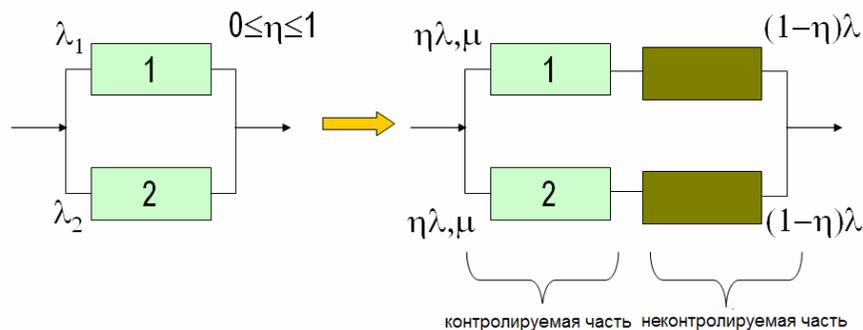


Рис.3.5. Дублированная схема с восстановлением и неполным контролем

Рассмотрим два режима работы схемы – непрерывный и циклический.

Марковский граф надежности непрерывно работающей схемы показан на рис.3.6.

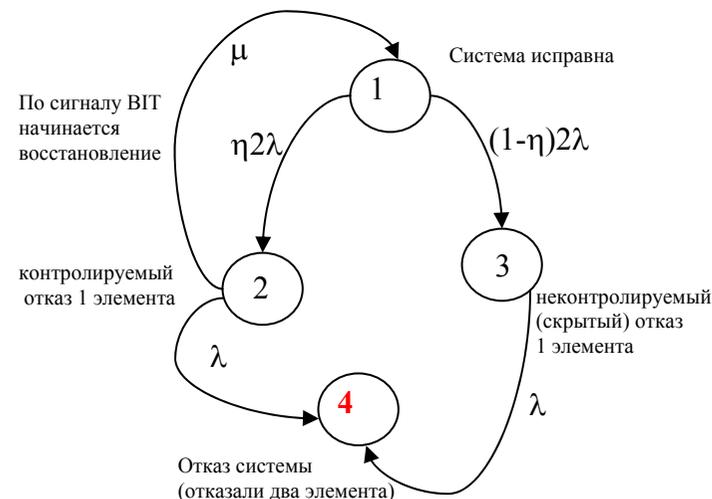


Рис.3.6. Марковская модель дублированной схемы с восстановлением и неполным контролем. Непрерывный режим.

На рис.3.7 представлен график, на котором по вертикали отложено отношение средней наработки до отказа дублированной схемы с восстановлением элементов, отказы которых распознаются контролем, к средней наработке до отказа одного невосстанавливаемого элемента; по горизонтали – доля выявляемых отказов (полнота контроля). На графике приведены две кривые, построенные для значений параметра ρ , равных 50 и 100. Параметр ρ , характеризующий готовность элемента, есть отношение его средней наработки до отказа к среднему времени восстановления.

Из рассмотрения графика видно, что полнота контроля является фактором, нелинейно улучшающим показатели безотказности систем, состоящих из восстанавливаемых элементов. Причем, при достаточно высоких значениях полноты контроля ($\eta > 0,9$) значение такого показателя как средняя наработка до отказа увеличивается в десятки раз.

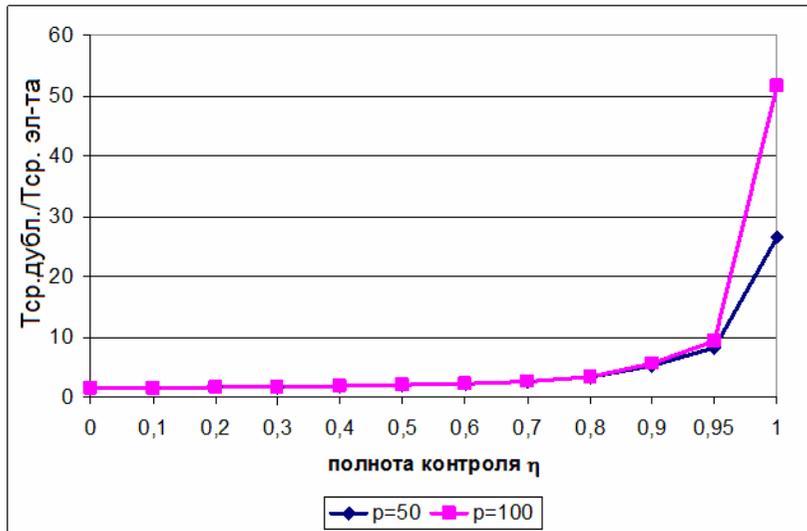


Рис 3.7 Зависимость средней наработки до отказа дублированной схемы от полноты контроля

Проанализируем надежность этой же дублированной схемы, но работающей в циклическом режиме. Цикл состоит из выполнения задания и восстановительных работ после выполнения задания. Режим типичен для бортовой, в частности, самолетной техники, восстановление работоспособности которой осуществляется в наземных условиях. Марковский граф для циклической работы схемы показан на рис.3.8.

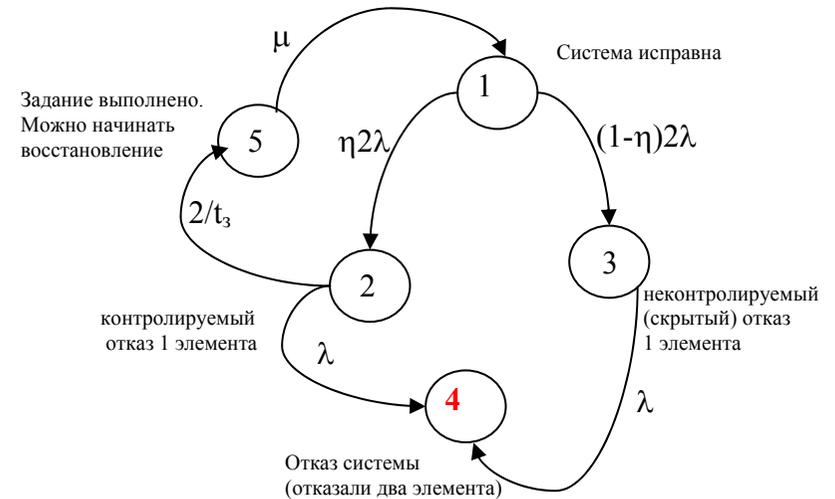


Рис.3.8. Марковская модель дублированной схемы с восстановлением и неполным контролем. Циклический режим.

Для определения интенсивности перехода из состояния 2 в состояние 5 вычислим среднее время наступления отказа при условии, что отказ наступил на интервале времени выполнения задания $(0, t_3)$ T_{cp/t_3} :

$$\begin{aligned}
 T_{cp/t_3} &= M\{t / t < t_3\} = \int_0^{t_3} t f(t / t < t_3) dt = \int_0^{t_3} t dF(t / t < t_3) = \int_0^{t_3} t dP(\xi < t / \xi < t_3) = \\
 &= \int_0^{t_3} t d \frac{F(t)}{F(t_3)} = \frac{\int_0^{t_3} P(t) dt - P(t_3)t_3}{1 - P(t_3)} = \frac{1 - e^{-\lambda t_3} (t_3 + \frac{1}{\lambda})}{1 - e^{-\lambda t_3}} \quad (3.24)
 \end{aligned}$$

Для значений интенсивности отказа $\lambda = 1e-3$ на рис. 3.9 построен график, демонстрирующий тот факт, что если $t_3 \ll 1/\lambda = T_{cp}$, то $T_{cp/t_3} \approx t_3/2$. При $t_3 > T_{cp}$ $T_{cp/t_3} \rightarrow T_{cp}$. Поэтому для бортовых систем самолетов, время выполнения задания (полета) которых не превышает нескольких часов, вполне корректным является допущение о том, что отказ происходит на середине времени полета, а следовательно интенсивность перехода из 2 в 5 равна $2/t_3$.

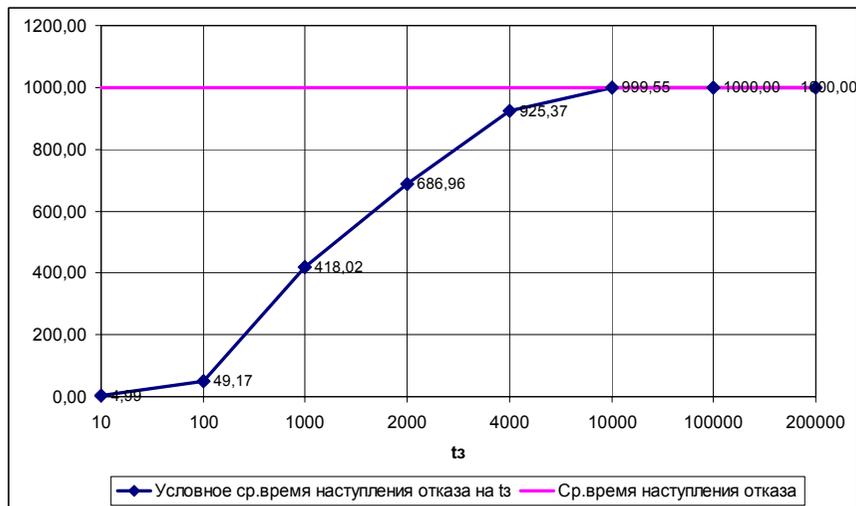


Рис.3.9. Условное среднее время возникновения отказа на интервале времени полета

Для дублированной схемы с циклическим режимом работы на марковской модели (рис.3.8) проведено вычисление вероятности отказа на заданном интервале ($t_z = 8760$) при варьировании значений полноты контроля от 0 до 1. Из графика (рис. 3.10) видно, что даже 50% обнаружение отказов элементов приводит к снижению вероятности возникновения отказа схемы в сотни раз, а близкое к 100% обнаружение позволяет уменьшить эту вероятность более, чем в тысячу раз.

Рассмотренные примеры показывают, что контроль наряду с резервированием, реконфигурацией и восстановлением (возможно отложенным до окончания выполнения задания) является важным фактором обеспечения безотказности. Следовательно вопросам анализа и оценки характеристик контроля (исследованию контролепригодности) должно уделяться должное внимание при организации отказобезопасности систем.

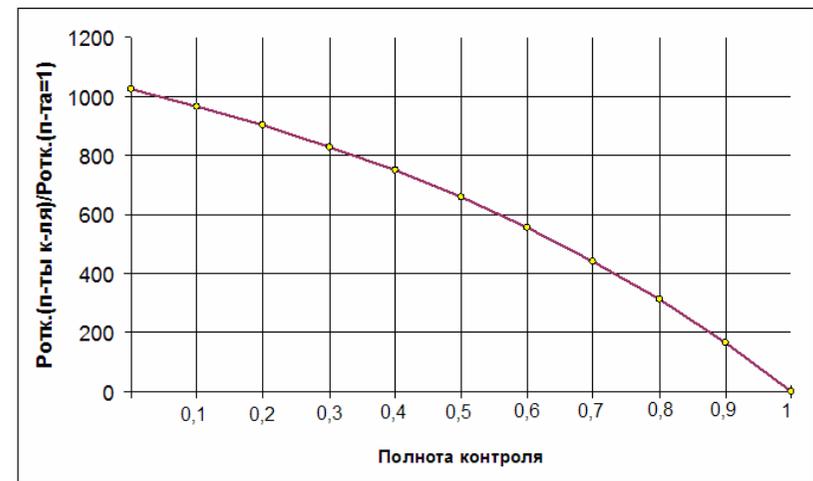


Рис 3.10. Зависимость вероятности отказа дублированной схемы от полноты контроля

3.5. Оценка влияния показателей контролепригодности на характеристики ремонтпригодности системы

Для оценки влияния характеристик средств контроля на ремонтпригодность систем предлагается модель, описывающая зависимость удельного среднего времени восстановления системы (T_v) за ресурс (T_p) от показателей полноты (η) и глубины (γ) встроенного контроля. Определим T_v как

$$T_v = \frac{T_{v\Sigma}}{N_{\Sigma}}, \quad (3.25)$$

где $T_{v\Sigma}$ - среднее суммарное время восстановления за ресурс;
 N_{Σ} - среднее суммарное число срабатываний средств контроля за ресурс.

$T_{v\Sigma}$ вычисляется из соотношения

$$T_{v\Sigma} = \lambda_{\Sigma} \cdot T_p \cdot \eta \cdot \gamma \cdot T_{v1} + \lambda_{\Sigma} \cdot T_p \cdot \eta \cdot (1 - \gamma) \cdot T_{v2} + \lambda_{\Sigma} \cdot M \cdot K_{л.с.} \cdot T_p \cdot T_{v3}, \quad (3.26)$$

а N_{Σ} рассчитывается как

$$N_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma} \cdot T_p \cdot (\eta + M \cdot K_{л.с.}). \quad (3.27)$$

Здесь λ_{Σ} - суммарная интенсивность отказов системы, M - доля отказов встроенных средств контроля; $K_{л.с.}$ - доля отказов средств контроля типа ложное срабатывание; $T_{в1}$ - среднее время восстановления при точном выявлении контролем отказавшего съемного агрегата; $T_{в2}$ - среднее время восстановления при отказе, выявляемом более чем до одного LRU; $T_{в3}$ - среднее время распознавания ложного срабатывания контроля.

Таким образом, показатель T_v характеризует среднее время восстановления на одно срабатывание средств встроенного контроля. Зависимость удельного времени восстановления T_v от параметра глубины контроля показана на графике рисунка 3.11. Кривые графика демонстрируют достаточно сильную зависимость T_v от γ (граничные значения при $\gamma=1$ и $\gamma=0$ отличаются почти в три раза).

Если среднее суммарное время восстановления представить как сумму двух слагаемых $T_{в1}$ и $T_{вII}$:

$$T_{в\Sigma} = \underbrace{\lambda_{\Sigma} \cdot T_p \cdot \eta \cdot \gamma \cdot T_{в1}}_{T_{в1}} + \underbrace{\lambda_{\Sigma} \cdot T_p \cdot \eta \cdot (1-\gamma) \cdot T_{в2} + \lambda_{\Sigma} \cdot M \cdot K_{л.с.} \cdot T_p \cdot T_{в3}}_{T_{вII}},$$

будет представлять собой дополнительные временные затраты на ремонт и поиск неисправностей, связанные с несовершенством разрешающей способности контроля и ложными срабатываниями. Семейство кривых графика рисунка 3.12 показывает зависимость $\frac{T_{вII}}{T_{в\Sigma}} \cdot 100\%$ от глубины контроля. График показывает, что даже

при достаточно высокой разрешающей способности контроля ($\gamma = 0.7 \div 0.9$), $T_{вII}$ составляет от 30% до 60% времени восстановления. Графики построены при следующих значениях параметров моделей (3.25)-(3.27): $T_{в1} = 2ч.$, $T_{в2} = 6ч.$, $T_{в3} = 4ч.$, $M=0.2$, $\lambda_{\Sigma}=1.00E-03$, $\eta=0.9$. Семейство кривых, представленных на графиках,

отличаются значениями коэффициента ложных срабатываний $K_{л.с.}=\{0.1, 0.5, 0.9\}$

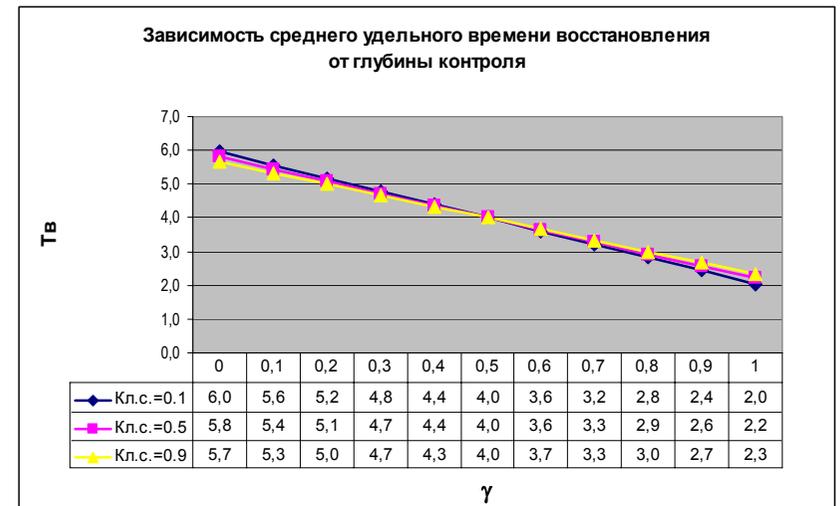


Рис.3.11. Зависимость среднего удельного времени восстановления за ресурс от глубины контроля

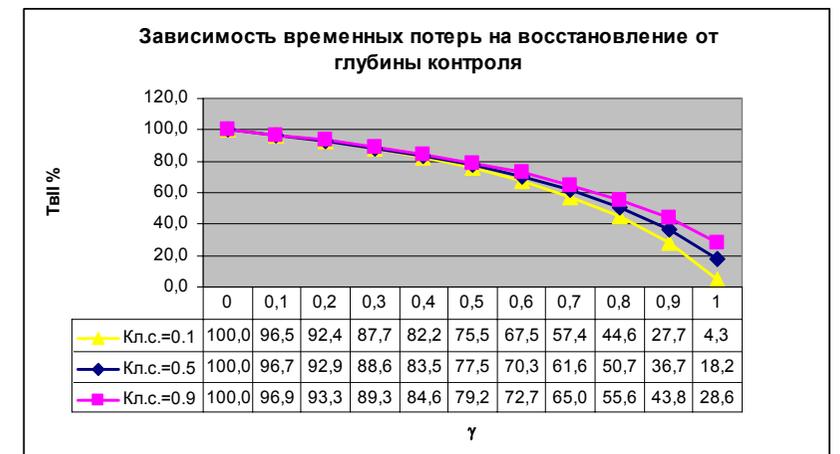


Рис.3.12. Зависимость временных потерь на восстановление ($\frac{T_{вII}}{T_{в\Sigma}} \cdot 100\%$) за ресурс от глубины контроля

3.6. Описание модуля расчета показателей контролепригодности

Приведенные в предыдущих разделах расчетные процедуры и аналитические выражения для вычисления основных показателей контролепригодности (полноты, глубины, достоверности контроля) реализованы в отдельном программном модуле СПО АК - модуле *Расчета Показателей Надежности и Контролепригодности*. Все вычисляемые показатели делятся на три группы:

Группа I. “Заданные показатели”. Показатели, рассчитываемые на основе данных технического задания

Группа II. “Расчетные (по критерию надежности) показатели”. Показатели, рассчитываемые на основе проектных данных разработчика

Группа III. “Расчетные (по критерию безопасности) показатели”. Показатели, рассчитываемые на основе данных анализа видов и последствий отказов.

Группа I включает:

- рассчитанное по заданным в ТЗ параметрам значение достоверности (недостоверности) контроля DI функциональных систем

Группа II включает

- проектная средняя наработка функциональных систем до отказа T_{cp} (вычисленная на основе наработок агрегатов)
- проектная средняя наработка до отказа средств контроля функциональной системы T_k (вычисленная на основе наработок агрегатов, входящих в СК)
- вероятность безотказной работы (отказа) средств контроля $P_k(Q_k)$
- рассчитанное по проектным данным значение достоверности (недостоверности) контроля DII

Группа III включает

- полнота контроля агрегатов (LRU) и функциональных систем η
- глубина контроля агрегатов (LRU) и функциональных систем γ
- коэффициент надежности системы контроля M_k
- коэффициент несрабатываний встроенных средств контроля (BIT) $K_{несраб.к}$

- вероятность ложного срабатывания средств контроля $P_{л.с.к}$
- вероятность отказа средств контроля типа невыдачи $P_{нев.к}$
- рассчитанное по проектным данным значение достоверности (недостоверности) контроля DIII

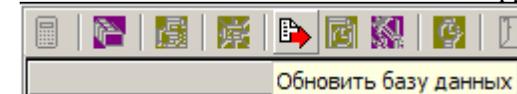
Рассчитанные значения показателей используются для подтверждения требования ТЗ, сравнительного анализа проектных вариантов, анализа чувствительности к изменению исходных параметров.

Главная форма модуля расчета представлена на рис.3.14. Форма разделена на два окна – верхнее (окно функциональных систем) и нижнее (окно агрегатов (LRU)).

Таблица агрегатов нижнего окна формируется автоматически на основе

- описательных и надежностных данных системного дерева уровня 3 (см. раздел 2.1)
- таблиц FMEA со списками характеристик отказов каждого агрегата (см. раздел 2.3)

В старых версиях СПО АК, где данные системного дерева и FMEA импортируются из внешней базы данных Relex, для актуализации информации необходимо нажать кнопку обновления главной панели инструментов программы



. Последние, работающие автономно версии СПО АК не требуют выполнения данной операции. Пояснения к столбцам таблицы агрегатов главной формы приведено в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Поля таблицы агрегатов

№	Наименование поля	Описание поля
1	Код АТА	Иерархический шестизначный код агрегата (LRU)
2	Наименование	Наименование агрегата (LRU) русское
3	Наименование (англ.)	Наименование агрегата (LRU) английское
4	MTTF	Средняя наработка до отказа агрегата в час.,

		(данные разработчика)
5	Кол-во агрегатов	Количество агрегатов данного вида
6	СК	Признак принадлежности агрегата к средствам контроля (1 – да, 0 –нет)
7	Инт.отк.	Интенсивность отказов [1/ч.], рассчитанная как суммарная интенсивность перечисленных в FMEA видов отказов агрегата
8	Инт.отк. (BIT)	Интенсивность отказов [1/ч.], рассчитанная как суммарная интенсивность перечисленных в FMEA видов отказов агрегата, обнаруживаемых встроенными средствами контроля (поле “метод контроля” таблицы FMEA равно BIT)
9	MTTF = 1/Инт.отк.	Средняя наработка до отказа агрегата в час., рассчитанная по формуле (3.21)
10	Полнота контроля 1	Полнота контроля агрегата, рассчитанная на основе FMEA по формуле (3.3)
11	Кол-во Отк.	Общее количество видов отказов, полученное из FMEA (N)
12	Кол-во Отк. (BIT)	Общее количество контролируемых BIT видов отказов, полученное из FMEA (N _{BIT})
13	Полнота контроля 2	Полнота контроля агрегата, рассчитанная как отношение N _{BIT} /N)
14	Инт.Отк.-л.с.	Интенсивность отказов агрегата, относящегося к средствам контроля, типа ложное срабатывание.

Для вызова формы просмотра видов отказов агрегата необходимо произвести двойной щелчок соответствующей записи нижнего окна главной формы. Вид формы просмотра FMEA показан на рис. 3.13.

идент-р отк.	инт.отк.	м-д контроля	признак сообщ.	критичность
RFAN 9	2,14E-7	none		4
RFAN 1	2,1E-7	BIT		4
RFAN 10	2,63E-7	BIT		4
RFAN 11	2,8E-8	none		4
RFAN 12	2,41E-7	none		4
RFAN 13	1E-7	none		4
RFAN 14	9E-8	none		4
RFAN 15	2,3E-7	none		4
RFAN 16	4,04E-7	none		4
RFAN 3	4,149E-6	BIT		4
RFAN 4	3,236E-6	BIT		4
RFAN 5	2,1E-7	BIT		4
RFAN 7	2,075E-6	BIT		4
RFAN 8	1,807E-6	none		4

Рис. 3.13. Форма просмотра видов отказов агрегата

11	Дост.к.1	Достоверность контроля, вычисляемая по формуле (3.12) на основе заданных в ТЗ характеристик надежности и контролепригодности функциональной системы (поля 5-10). <i>Вычисляемое поле. Показатель группы I.</i>
12	Недост.к.1	Недостоверность контроля, вычисляемая по формуле (3.12) на основе заданных в ТЗ характеристик надежности и контролепригодности функциональной системы (поля 5-10). <i>Вычисляемое поле. Показатель группы I.</i>
13	MTTF _п	Средняя наработка до отказа функциональной системы. <i>Вычисляемое поле. Показатель группы II.</i>
14	MTTF _{ск.п.}	Средняя наработка до отказа средств контроля функциональной системы. <i>Вычисляемое поле. Показатель группы II.</i>
15	Q _{ск.п.}	Вероятность отказа средств контроля функциональной системы за t _п . <i>Вычисляемое поле. Показатель группы II.</i>
16	ПК _п	Проектная полнота контроля функциональной системы по данным разработчика
17	Г _п	Проектная глубина контроля функциональной системы по данным разработчика
18	K _{л.с.ск}	Проектная доля отказов средств контроля типа выдачи ложного сигнала об отказе функциональной системы при ее работоспособности
19	P _{л.с.ск}	Проектная вероятность отказа средств контроля типа выдачи ложного сигнала об отказе функциональной системы при ее работоспособности

20	Дост.к.2	Достоверность контроля, вычисляемая по формуле (3.12) на основе проектных данных по параметрам надежности и контролепригодности функциональной системы (поля 13-19). <i>Вычисляемое поле. Показатель группы II.</i>
21	Недост.к.2	Недостоверность контроля, вычисляемая по формуле (3.12) на основе проектных данных по параметрам надежности и контролепригодности функциональной системы (поля 13-19). <i>Вычисляемое поле. Показатель группы II.</i>
22	MTTF _{расч.}	Средняя наработка до отказа функциональной системы по данным FMEA. <i>Вычисляемое поле. Показатель группы III.</i>
23	MTTF _{ск.расч.}	Средняя наработка до отказа средств контроля функциональной системы по данным FMEA. <i>Вычисляемое поле. Показатель группы III.</i>
24	Q _{ск.расч.}	Вероятность отказа средств контроля функциональной системы за t _п по данным FMEA. <i>Вычисляемое поле. Показатель группы III.</i>
25	ПК _{расч.}	Полнота контроля функциональной системы по данным FMEA. <i>Вычисляемое поле. Показатель группы III.</i>
26	Г _{расч.}	Глубина контроля функциональной системы по данным FMEA. <i>Вычисляемое поле. Показатель группы III.</i>
27	K _{л.с.ск}	Доля отказов средств контроля типа выдачи ложного сигнала об отказе функциональной системы при ее работоспособности по данным FMEA. <i>Вычисляемое поле. Показатель группы III.</i>

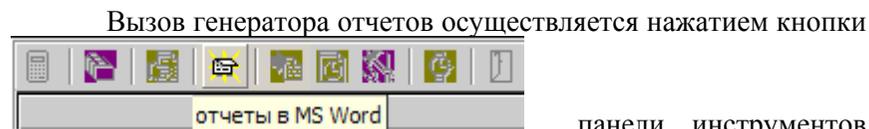
28	Р _{л.с.ск}	Вероятность отказа средств контроля типа выдачи ложного сигнала об отказе функциональной системы при ее работоспособности по данным FMEA <i>Вычисляемое поле. Показатель группы III.</i>
29	Дост.к.3	Достоверность контроля, вычисляемая по формуле (3.12) на основе данных FMEA (поля 22-28). <i>Вычисляемое поле. Показатель группы III.</i>
30	Недост.к.3	Недостоверность контроля, вычисляемая по формуле (3.12) на основе данных FMEA (поля 22-28). <i>Вычисляемое поле. Показатель группы III.</i>

Для задания полей 9 (К_{нев.ТЗ}) и 10 (Р_{л.с.ТЗ}) пользователю достаточно ввести значение какого-либо одного поля, значение другого поля рассчитается автоматически в соответствии с (3.15, 3.16). Аналогично для полей 18 (К_{л.с.ск}) и 19 (Р_{л.с.ск}). Диалоговая панель ввода К_{нев.ТЗ}, Р_{л.с.ТЗ}, К_{л.с.ск}, Р_{л.с.ск} вызывается по щелчку заголовков этих полей.

На главной форме отсутствует кнопка вызова расчетных процедур, так как показатели достоверности первого, второго и третьего рода рассчитываются автоматически при загрузке формы и изменении значений любого из полей таблицы функциональных систем.

Исходные проектные данные, данные анализа видов и последствий отказов, рассчитываемые в модуле показатели надежности и контролепригодности функциональных систем хранятся в базе данных FMEATotall, структура таблиц которой приведена в приложении 2.

В СПО АК включен модуль генерации отчетов в формате документов Word. Работа модуля генерации отчетов основана на технологии OLE автоматизации, при этом MS Word используется в качестве OLE-сервера. СПО АК является в этом случае OLE-контроллером (клиентом), порождающим объект сервера времени выполнения и передающим в него данные и команды форматирования отчетов через диспетчерские интерфейсы (IDispatch).



Вызов генератора отчетов осуществляется нажатием кнопки панели инструментов главной формы программы.

Из модуля расчета показателей контролепригодности в генератор отчетов передаются данные для создания следующих отчетов:

- Отчет по составу функциональной системы. Шаблон отчета приведен ниже

СОСТАВ И ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Код АТА

Наименование функциональной системы (краткое наименование)

Наименование функциональной системы (английское)

Код АТА	Наименование	МТТГ _{ТЗ} (час.)	кол-во	средство контроля
#####	Наименование агрегата (русское) Наименование агрегата (английское)	#####	###	{ Да, Нет }

...

- Отчет по расчету достоверности контроля функциональной системы. Шаблон отчета приведен ниже

РАСЧЕТ ДОСТОВЕРНОСТИ СРЕДСТВ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ (ВИТ)

Код АТА

Наименование функциональной системы (краткое наименование)

Наименование функциональной системы (английское)

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

... тполет[час] = #

Значения для расчета достоверности контроля по показателям, заданным ТЗ:

средняя наработка до отказа	коэффициент надежности СК	Глубина контроля	полнота контроля	доля отказов СК типа невыдачи
МТТГ _{Задан.}	М _{Задан.}	Г _{Задан.}	ПК _{Задан.}	Кнев _{Задан.}
#####	#,##	#,##	#,##	#,##

Значения для расчета достоверности контроля по проектным показателям надежности системы:

средняя наработка до отказа	средняя наработка до отказа СК	Глубина контроля	полнота контроля	вероятность ложного сообщения СК об отказе
МТТГп.	МТТГскп.	Гп.	ПКп.	Рл.с.ск
#####	#####	###	###	###E+##

Расчетные значения для вычисления достоверности контроля по FMEA:

средняя наработка до отказа	средняя наработка до отказа СК	Глубина контроля	полнота контроля	вероятность ложного сообщения СК об отказе
МТТГрасч.	МТТГск расч.	Грасч.	ПКрасч.	Рл.с.ск
#####	#####	###	###	###E+##

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

наименование показателя надежности/контролепригодности	сокр. наим.	заданное значение	расчетное значение (по критерию надежности)	расчетное значение (по критерию безопасности)
Средняя наработка до отказа системы	МТТГ	#####,##	#####,##	#####,##
Вероятность отказа системы	Ротк.	###E-##	###E-##	###E-##
Средняя наработка до отказа СК	МТТГск	#####,##	#####,##	#####,##
Вероятность отказа СК	Ротк.ск	###E-##	###E-##	###E-##
Коэффициент надежности СК	М	###	###	###
Полнота контроля	ПК	###	###	###
Вероятность возникновения отказа СК типа ложного срабатывания	Рл.с.ск	###E-##	###E-##	###E-##
Вероятность возникновения отказа СК типа невыдачи информации об отказе	Рнев.ск	###E-##	###E-##	###E-##
Доля невыдачи при отказе СК	Кнев.	###	###	###
Доля ложных срабатываний при отказе СК	Кл.с.	###	###	###
Достоверность контроля	D	###E-##	###E-##	###E-##

- Отчет по расчету показателей полноты встроенного контроля агрегатов функциональной системы. Шаблон отчета приведен ниже

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛНОТЫ СРЕДСТВ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ

Код АТА

Наименование функциональной системы (краткое наименование)

Наименование функциональной системы (английское)

код АТА	Наименование	инт.отк. [1/ч.]	инт.отк. ВИТ[1/ч.]	ПК1	кол.отк.	кол.отк. ВИТ	ПК2
#####	Наименование агрегата (русское) Наименование агрегата (английское)	###E-##	###E-##	###	###	###	###

...

- Отчет по Анализу Видов и Последствий Отказов агрегатов функциональной системы, ориентированный на оценку контролепригодности (FMEA Testability)

Код АТА

Наименование функциональной системы (краткое наименование)

Наименование функциональной системы (английское)

Наименование агрегата (русское)

Наименование агрегата (английское)

наименование (русс./англ.)	ID отказа	CMS ID отказа	инт.отк. (1/ч.)	ложная тревога	метод контроля	признак сообщения	критичность	Фаза задания	Примечание
Наименование вида отказа Failure mode name	###	###	###E-##	{да, нет}	{ВИТ, СВИТ, РВИТ, PFC, TACKTILE FEEDBACK, MAINT, NONE}	###	{1, 2, 3, 4}	{взлет, полет, посадка}	###

...

Запуск процедуры генерации отчета выбранного типа осуществляется активацией соответствующей радио-кнопки диалоговой панели, показанной на рис. 3.15.

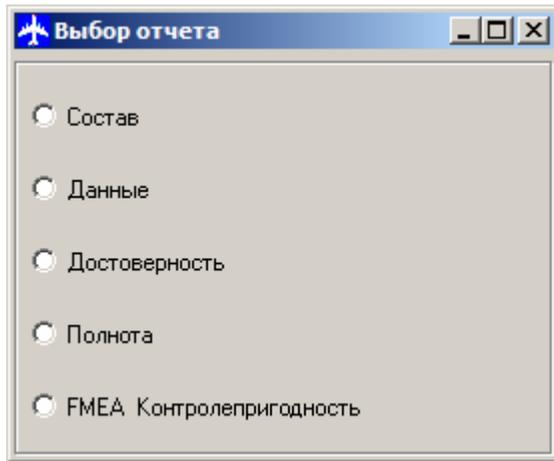


Рис.3.15. Форма выбора типа отчета

4. Построение распределений показателей надежности и контролепригодности по уровням критичности отказов

4.1. Основные расчетные соотношения

На основе FMEA может быть проведен как качественный, так и количественный анализ безопасности воздушного судна. К качественному анализу относится классификация отказов по уровням критичности. Количественный анализ включает вычисление значений показателей по отношению к сгруппированным по критичности отказам, то есть построение распределений показателей. Распределение показателей строится для следующих уровней критичности отказов ВС: 1 – катастрофическая ситуация (КС), 2 – аварийная ситуация (АС), 3 – сложная ситуация (СС), 4 – усложнение условий полета (УУП).

По отношению к перечисленным уровням критичности для агрегатов и функциональных систем вычислению подлежат следующие показатели надежности и контролепригодности:

- $\lambda_{КС}, \lambda_{АС}, \lambda_{СС}, \lambda_{УУП}$ - суммарная интенсивность видов отказов данного уровня критичности
- $\lambda_{ВИТ КС}, \lambda_{ВИТ АС}, \lambda_{ВИТ СС}, \lambda_{ВИТ УУП}$ - суммарная интенсивность видов отказов, выявляемых встроенным контролем {ВИТ}, данного уровня критичности
- $\lambda_{к КС}, \lambda_{к АС}, \lambda_{к СС}, \lambda_{к УУП}$ - суммарная интенсивность видов отказов, выявляемых всеми средствами контроля {ВИТ, СВИТ, МАИТ, РВИТ, РРС, CREW, TACTILE FEEDBACK}, данного уровня критичности
- $N_{КС}, N_{АС}, N_{СС}, N_{УУП}$ - общее число отказов данного уровня критичности
- $N_{ВИТ КС}, N_{ВИТ АС}, N_{ВИТ СС}, N_{ВИТ УУП}$ - общее число отказов, выявляемых встроенным контролем, данного уровня критичности
- $N_{к КС}, N_{к АС}, N_{к СС}, N_{к УУП}$ - общее число отказов, выявляемых всеми средствами контроля, данного уровня критичности
- $\eta_{к КС}, \eta_{к АС}, \eta_{к СС}, \eta_{к УУП}$ - полнота контроля первого рода по всем видам контроля для данного уровня критичности отказов, вычисляемая по формуле

$$\eta_{Iк} = \lambda_k / \lambda \quad (4.1)$$

- $\eta_{I\text{ ВIT КС}}, \eta_{I\text{ ВIT АС}}, \eta_{I\text{ ВIT СС}}, \eta_{I\text{ ВIT УУП}}$ - полнота встроенных средств контроля (ВIT) первого рода для данного уровня критичности отказов, вычисляемая по формуле

$$\eta_{I\text{ ВIT}} = \lambda_{\text{ВIT}} / \lambda \quad (4.2)$$

- $\eta_{II\text{ КС}}, \eta_{II\text{ АС}}, \eta_{II\text{ СС}}, \eta_{II\text{ УУП}}$ - полнота контроля второго рода по всем видам контроля для данного уровня критичности отказов, вычисляемая по формуле

$$\eta_{IIк} = N_k / N \quad (4.3)$$

- $\eta_{II\text{ ВIT КС}}, \eta_{II\text{ ВIT АС}}, \eta_{II\text{ ВIT СС}}, \eta_{II\text{ ВIT УУП}}$ - полнота ВIT второго рода для данного уровня критичности отказов, вычисляемая по формуле

$$\eta_{II\text{ ВIT}} = N_{\text{ВIT}} / N \quad (4.4)$$

Воздушное судно в целом предлагается оценивать распределениями показателей среднего числа отказов и вероятности отказа. Вероятность отказа – интервальный показатель, который в контексте данной работы будет вычисляться для времени полета (T_n), ресурса (T_p), межпрофилактического интервала ($T_{\text{проф}}$) ВС.

Итак, ВС оценивается следующими показателями:

$\bar{N}_{AC}, \bar{N}_{KC}, \bar{N}_{CC}, \bar{N}_{УУП}$ - среднее число отказов за ресурс для данного уровня критичности, вычисляемое по формуле

$$\bar{N} = \lambda \cdot T_p \quad (4.5),$$

где λ – суммарная интенсивность отказов ВС данного уровня критичности

$\bar{N}_{\text{ВIT AC}}, \bar{N}_{\text{ВIT KC}}, \bar{N}_{\text{ВIT CC}}, \bar{N}_{\text{ВIT УУП}}$ - среднее число выявляемых ВIT отказов за ресурс для данного уровня критичности, вычисляемое по формуле

$$\bar{N} = \lambda_{\text{ВIT}} \cdot T_p \quad (4.6),$$

где $\lambda_{\text{ВIT}}$ – суммарная интенсивность выявляемых ВIT отказов ВС данного уровня критичности

$Q_{AC}(t), Q_{KC}(t), Q_{CC}(t), Q_{УУП}(t)$ - вероятность отказа ВС за полет, ресурс, межпрофилактический интервал для данного уровня критичности, вычисляемая по формуле

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (4.7),$$

где $t = \{ T_n, T_p, T_{\text{проф}} \}$

$Q_{\text{ВIT AC}}(t), Q_{\text{ВIT KC}}(t), Q_{\text{ВIT CC}}(t), Q_{\text{ВIT УУП}}(t)$ - вероятность выявляемого ВIT отказа ВС за полет, ресурс, межпрофилактический интервал для данного уровня критичности, вычисляемая по формуле

$$Q_{\text{ВIT}}(t) = 1 - e^{-\lambda_{\text{ВIT}} \cdot t} \quad (4.8),$$

где λ – суммарная интенсивность выявляемых ВIT отказов ВС данного уровня критичности, а $t = \{ T_n, T_p, T_{\text{проф}} \}$

4.2. Описание модуля ранжирования показателей контролепригодности по уровням критичности

Вызов процедур модуля построения распределений показателей по уровням критичности отказов осуществляется нажатием кнопки



инструментальной панели

главной формы СПО АК. Нажатие кнопки приводит к появлению панели выбора, с помощью которой определяется объект анализа – функциональная система или воздушное судно.

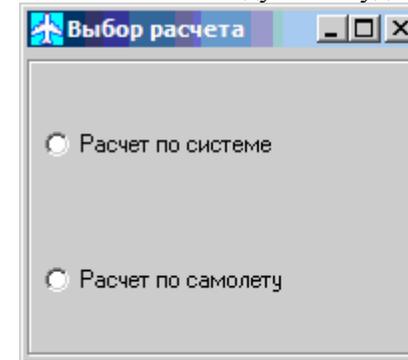


Рис.4.1. Панель выбора объекта анализа

При выборе верхней радио-кнопки (расчет по системе) пользователь переходит к процедурам расчета и ранжирования показателей надежности и контролепригодности функциональных систем и входящих в них агрегатов. При выборе нижней радио-кнопки (расчет по самолету) пользователь переходит к расчету

показателей и построению распределений для воздушного судна в целом.

4.2.1. Построение распределений показателей функциональных систем

Построение распределений показателей надежности и контролепригодности происходит для активной системы. Активной системой является та, которая была выделена в таблице верхнего окна главной формы СПО АК. Форма работы с активной системой показана на рис.4.3. Она состоит из 4 окон. Левое верхнее окно – окно дерева критичности отказов. Узлы первого уровня дерева соответствуют критичности видов отказов функциональной системы. Узлы второго уровня – значения показателя полноты системы I и II рода, соответствующие критичности родительского узла. При активации узла дерева происходит пересчет показателей полноты контроля как активной системы, так и входящих в нее агрегатов. График распределения этих показателей отображается в левом нижнем окне формы. Щелчок по графику приводит к появлению таблицы рассчитанных по формулам (4.1) – (4.4) показателей (рис.4.2)

Критичность	Инт. Отк. [1/ч.]	Инт. Отк. (BIT) [1/ч.]	Полнота Контроля 1	Кол-во	Кол-во (BIT)	Полнота Контроля 2
	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+0	0	0	0,00E+0
1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+0	0	0	0,00E+0
2	4,83E-05	4,83E-05	1,00E+0	7	7	1,00E+0
2/3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+0	0	0	0,00E+0
3	6,35E-06	6,35E-06	1,00E+0	1	1	1,00E+0
4	4,55E-04	1,63E-04	3,59E-1	235	93	3,96E-1

Рис.4.2. Распределение показателей полноты контроля системы

Верхнее правое окно формы отображает таблицу значений показателей полноты I и II рода для агрегатов, входящих в активную систему. Вычисленные показатели полноты контроля агрегатов соответствуют уровню критичности, выбранному в дереве левого верхнего окна. Правое нижнее окно является графическим представлением верхней таблицы.

Рассчитанные показатели передаются в генератор отчетов СПО АК, порождающий отчет в формате doc по приведенному ниже шаблону

Код АТА

Наименование функциональной системы (краткое наименование)

Наименование функциональной системы (английское)

Расчет полноты контроля по уровню критичности ##

код АТА	наименование	инт.отк. [1/ч.]	инт.отк. BIT[1/ч.]	ПК1	кол.отк.	кол.отк. BIT	ПК2
код агрегата	наименование агрегата	###E-###	###E+###	###	#####	#####	###

Сводный расчет полноты контроля по уровням критичности

критич-ность отказов	инт.отк. [1/ч.]	инт.отк. BIT[1/ч.]	ПК1	кол.отк.	кол.отк. BIT	ПК2
{1, 2, 3, 4}	###E+###	###E+###	###	###	###	###

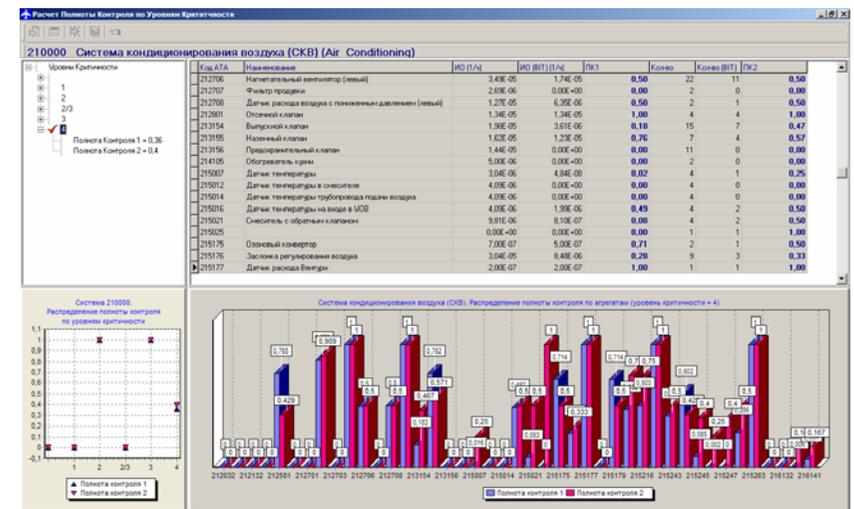


Рис.4.3. Форма построения распределений показателей контролепригодности функциональной системы и агрегатов

4.2.2. Построение распределений показателей воздушного судна

Форма вызова процедур расчета и построения распределений показателей надежности и контролепригодности воздушного судна в целом показана на рис.4.4. Форма состоит из инструментальной панели, верхнего окна таблицы распределений, нижнего окна графиков распределений.

На инструментальной панели находятся три окна ввода значений времен полета, ресурса, межпрофилактического интервала. Таблица верхнего окна отображает рассчитанные значения показателей среднего числа отказов ВС за ресурс ($\bar{N}_{AC}, \bar{N}_{KC}, \bar{N}_{CC}, \bar{N}_{YUP}$) (4.5), вероятности отказа ВС $Q_{AC}(t), Q_{KC}(t), Q_{CC}(t), Q_{YUP}(t)$ (4.7), вероятности возникновения выявляемого ВИТ отказа ВС $Q_{ВИТ_{AC}}(t), Q_{ВИТ_{KC}}(t), Q_{ВИТ_{CC}}(t), Q_{ВИТ_{YUP}}(t)$ (4.8). Для запуска расчета необходимо задать времена полета, ресурса и профилактики и нажать кнопку .

Многостраничная диалоговая панель нижнего окна имеет 4 страницы, на которых расположены гистограммы распределений по уровням критичности отказов следующих показателей:

- среднее число отказов ВС за ресурс (см. рис.4.4)
- вероятность отказа ВС за полет; вероятность выявляемого ВИТ отказа ВС за полет (см. рис.4.5)
- вероятность отказа ВС за ресурс; вероятность выявляемого ВИТ отказа ВС за ресурс (см. рис.4.6)
- вероятность отказа ВС за межпрофилактический интервал; вероятность выявляемого ВИТ отказа ВС за межпрофилактический интервал (см. рис.4.7)

Рассчитанные показатели передаются в генератор отчетов СПО АК, порождающий отчет в формате doc по приведенному ниже шаблону:

Распределение показателей надежности ВС по уровням критичности

критичность отказов	среднее число отказов за ресурс	вероятность отказа за полет	Вероятность отказа за ресурс	Вероятность отказа на межпроф. интервале	Вероятность отказа, выявляемого ВИТ, за полет	Вероятность отказа, выявляемого ВИТ, за ресурс	Вероятность отказа, выявляемого ВИТ, на межпроф. интервале
#	###,##	#,##E+##	#,##E+##	#,##E+##	#,##E+##	#,##E+##	#,##E+##

Данные по суммарным интенсивностям отказов воздушного судна, ранжированные по уровням критичности отказов, хранятся в базе данных FMEA Total в таблице AirTableCr (см. приложение 2).

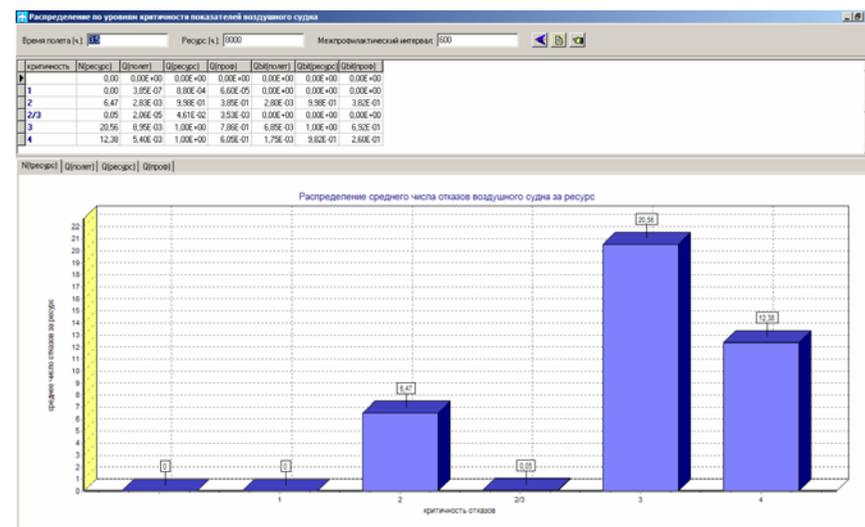


Рис.4.4. Форма построения распределений показателей контролепригодности воздушного судна

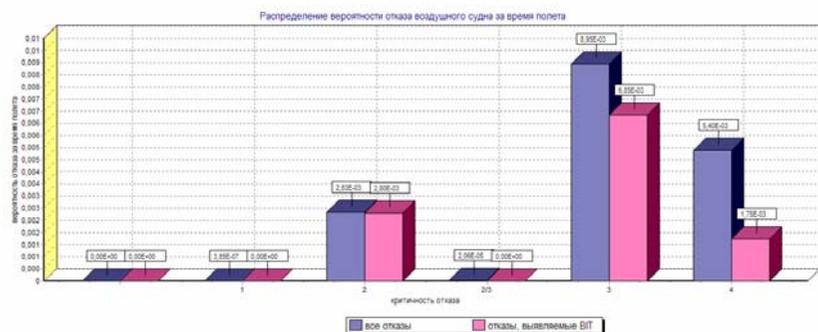


Рис.4.5. Распределение вероятности отказа ВС за время полета

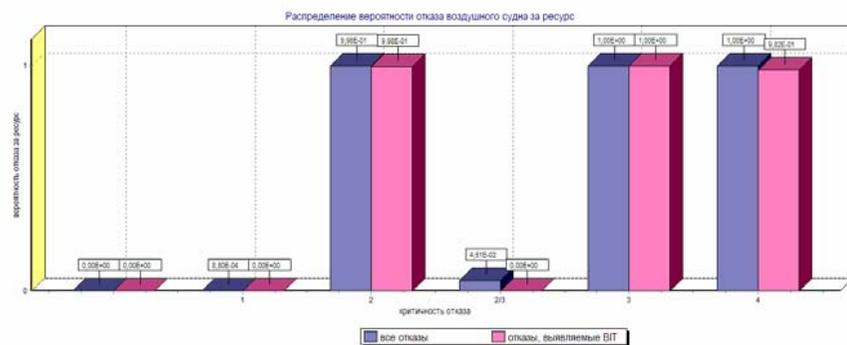


Рис.4.6. Распределение вероятности отказа ВС за ресурс

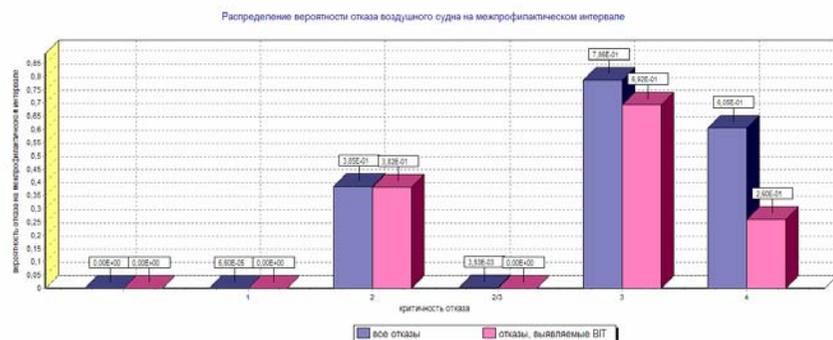


Рис.4.7. Распределение вероятности отказа ВС за макроэпидемиологический интервал

5. Анализ эффективности средств встроенного контроля

Целью проведения анализа эффективности является выделение и оценка доли неисправностей, выявляемых различными способами контроля в общем потоке неисправностей. Выделены 4 группы неисправностей:

- выявляемые всеми видами контроля
- выявляемые встроенными средствами контроля; включая наземное обслуживание, режим включения, экипаж
- выявляемые в полете
- скрытые отказы

В связи с этим для агрегатов и функциональных систем по данным FMEA рассчитываются:

- λ - суммарная интенсивность видов отказов
- λ_{BIT} - суммарная интенсивность видов отказов, выявляемая встроенным контролем {BIT}
- $\lambda_{\text{к}}$ - суммарная интенсивность видов отказов, выявляемая всеми средствами контроля {BIT, СВIT, MAINT, РВIT, PFC, CREW, TACTILE FEEDBACK}
- $\lambda_{\text{п}}$ - суммарная интенсивность видов отказов, выявляемая в полете {BIT, СВIT, CREW, TACTILE FEEDBACK}
- N - общее число отказов
- N_{BIT} - общее число отказов, выявляемых встроенным контролем
- $N_{\text{к}}$ - общее число отказов, выявляемых всеми средствами контроля
- $N_{\text{п}}$ - общее число отказов, выявляемых в полете
- $N_{\text{скр.}}$ - общее число скрытых (не выявляемых контролем) отказов {NONE}
- полнота контроля первого рода: $\eta_{\text{BIT}} = \lambda_{\text{BIT}}/\lambda$
- полнота контроля первого рода по всем видам контроля: $\eta_{\text{к}} = \lambda_{\text{к}}/\lambda$
- полнота контроля первого рода во время полета: $\eta_{\text{п}} = \lambda_{\text{п}}/\lambda$
- полнота контроля второго рода: $\eta_{\text{пBIT}} = N_{\text{BIT}}/N$
- полнота контроля второго рода по всем видам контроля: $\eta_{\text{пк}} = N_{\text{к}}/N$
- полнота контроля второго рода во время полета: $\eta_{\text{пп}} = N_{\text{п}}/N$

- эффективность средств встроенного контроля первого рода (в %): $E_I = (\eta_{\text{ВГТ}} / \eta_{\text{Ик}}) * 100$
- эффективность средств встроенного контроля второго рода (в %): $E_{\text{II}} = (\eta_{\text{ПВГТ}} / \eta_{\text{Ик}}) * 100$

Расчеты этих показателей выполняются в модуле Оценки Эффективности Встроенных Средств Контроля.

Процедуры оценки вызываются нажатием кнопки



инструментальной панели главной формы СПО АК

Форма интерфейса пользователя этого модуля показана на

рис.5.1

Расчитанные показатели передаются в генератор отчетов, порождающий отчет в формате doc по шаблону, приведенному ниже

Код АТА

Наименование функциональной системы (краткое наименование)

Наименование функциональной системы (английское)

Показатели полноты контроля и эффективности средств встроенного контроля системы:

ПК1 системы = #,###; ПК2 системы = #,###

ПК1 системы в полете = #,###; ПК2 системы в полете = #,###

ПК1 системы ВГТ = #,###; ПК2 системы ВГТ = #,###

Количество скрытых отказов = ###

эффективность 1 ВГТ = ###,###%; эффективность 2 ВГТ = ###,###%

код АТА	Наименование (англ.)	ПК1	ПК2	Эффект 1 ВГТ	Эффект 2 ВГТ	ПК1 полет	ПК2 полет	Эффект 1 ВГТ	Эффект 2 ВГТ	ПК1 контр.	ПК2 контр.	Эффект 1 ВГТ	Эффект 2 ВГТ	Контр.контр.	ПК2
#####	ИО														
##E-#	ИО ВГТ														
##E-##	ИО контр.														
##E-##	ИО полет														
##E-##	ПК1 ВГТ														
##E-##	ПК1 контр.														
##E-##	ПК1 полет														
###%	E1[%]														
###%	E2[%]														

Данные по суммарным интенсивностям и количеству для четырех групп отказов агрегатов, а также соответствующие значения полноты контроля первого и второго рода хранятся в базе данных FMEATotall в таблице TotalTable, показатели полноты и эффективности встроенного контроля для функциональных систем заносятся в таблицу SystTabl (см.приложение 2).

Анализ контролепригодности систем и подсистем самолета RRJ. Расчет эффективности средств встроенного контроля

Код АТА	Наименование	ИД ВГТ (П/А)	ПК1 ВГТ	ПК2 ВГТ	ИД контр. (П/А)	ПК1 контр.	ПК2 контр.	Эффект 1 ВГТ	Эффект 2 ВГТ	ПК1 полет	ПК2 полет	Эффект 1 ВГТ	Эффект 2 ВГТ	Контр.контр.	ПК2
212000	Система кондиционирования воздуха (СКВ) Air Conditioning	0.00	0.43	0.43	0.00	0.00	0.00	100.02	100.02	0.43	0.43	100.02	100.02	0	0
212033	Штурвер подсоса	312E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
212033	Обратный клапан	482E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
212132	Клапан подачи с	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
212135	Обратный клапан	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
212501	Вентилятор расч	1.33E-05	0.77	1.01E-05	0.77	1.01E-05	0.77	100.02	100.02	14	6	0.43	0.43	6	6
212502	Фильтр рециркул	2.69E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	2	0	0.00	0.00	0	0
212701	Клапан продувор	8.79E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	9	0	0.00	0.00	0	0
212702	Первый вентил	1.74E-05	0.88	1.53E-05	0.88	1.53E-05	0.88	100.02	100.02	11	10	0.91	0.91	10	10
212703	Клапан аварийн	1.60E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	6	0	0.00	0.00	0	0
212704	Зачный вентил	1.53E-05	1.00	1.53E-05	1.00	1.53E-05	1.00	100.02	100.02	10	10	1.00	1.00	10	10
212706	Нагнетательный	3.49E-05	0.50	1.74E-05	0.50	1.74E-05	0.50	100.02	100.02	22	11	0.50	0.50	11	11
212707	Фильтр продувор	2.69E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	2	0	0.00	0.00	0	0
212708	Датчик расхода	2.54E-05	0.75	1.91E-05	0.75	1.91E-05	0.75	100.02	100.02	4	3	0.75	0.75	3	3
212801	Отсечной клапан	1.34E-05	1.00	1.34E-05	1.00	1.34E-05	1.00	100.02	100.02	4	4	1.00	1.00	4	4
213154	Выходной клапан	2.10E-05	0.23	4.87E-06	0.23	4.87E-06	0.23	100.02	100.02	20	12	0.67	0.67	12	12
213155	Назальный клап.	1.62E-05	0.76	1.23E-05	0.76	1.23E-05	0.76	100.02	100.02	7	4	0.50	0.50	4	4
214105	Предохранитель	1.45E-05	0.00	6.10E-08	0.00	6.10E-08	0.00	100.02	100.02	13	2	0.15	0.15	2	2
215007	Обогреватель К	5.00E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	2	0	0.00	0.00	0	0
215007	Датчик темпера	3.04E-06	4.94E-08	0.02	4.94E-08	0.02	4.94E-08	100.02	100.02	4	1	0.25	0.25	1	1
215012	Датчик темпера	4.09E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	4	0	0.00	0.00	0	0
215014	Датчик темпера	4.09E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00	4	0	0.00	0.00	0	0
215016	Датчик темпера	4.09E-06	1.99E-06	0.49	1.99E-06	0.49	1.99E-06	100.02	100.02	4	2	0.50	0.50	2	2
215021	Смеситель с обф	9.81E-06	8.10E-07	0.08	8.10E-07	0.08	8.10E-07	100.02	100.02	4	2	0.50	0.50	2	2

Рис. 5.1. Главная форма модуля расчета эффективности средств встроенного контроля

6. Расчет группы показателей среднего числа отказов

Важной группой показателей, характеризующих воздушное судно с точки зрения как безопасности, так и ремонтпригодности, а, следовательно, и стоимости обслуживания, является среднее число отказов за заданное время.

В группу включены следующие показатели:

- N - среднее число отказов за заданное время T

$$N = \frac{T}{T_{cp}}, \quad (6.1)$$

где T_{cp} – средняя наработка до отказа исследуемого объекта (функциональной системы или воздушного судна в целом)

- N_{BIT} - среднее число выявляемых встроенным контролем (BIT) отказов за заданное время T

$$N_{BIT} = \eta \frac{T}{T_{cp}}, \quad (6.2)$$

где η - полнота контроля (см. 3.3)

- $N_{BIT+ILRU}$ - среднее число выявляемых BIT до 1 съёмного элемента отказов за заданное время T

$$N_{BIT+ILRU} = A \frac{T}{T_{cp}}, \quad (6.3)$$

где множитель A называется коэффициентом автоматизации и равен $\eta \cdot \gamma$; γ - глубина контроля (см. 3.4)

- N_{FA} - среднее число ложных срабатываний контроля за заданное время T

$$N_{FA} = M_k \cdot K_{л.с.} \frac{T}{T_{cp}}, \quad (6.4)$$

где M_k - коэффициент надежности встроенных средств

контроля, равный $\frac{T_{cp}}{T_k}$ (T_k – средняя наработка до отказа BIT);

$K_{л.с.}$ – доля отказов типа ложное срабатывание контроля.

- N_{Σ} - среднее суммарное число срабатываний контроля за заданное время T

$$N_{\Sigma} = N_{BIT} + N_{FA}, \quad (6.5)$$

- N_{LT} - среднее число скрытых (не обнаруживаемых BIT) отказов за заданное время T

$$N_{LT} = (1 - \eta) \frac{T}{T_{cp}}, \quad (6.6)$$

Автоматизация вычислений показателей (6.1) – (6.6) реализована в соответствующем модуле СПО АК. Вызов процедур модуля расчета среднего числа отказов осуществляется нажатием



кнопки

инструментальной панели главной формы программы. Интерфейс пользователя данного модуля представлен на рис. 6.1. Главная форма модуля разделена на два окна. Верхнее окно содержит таблицу просмотра рассчитанных показателей для функциональных систем. В нижнем окне выводятся результаты расчетов среднего числа отказов воздушного судна. Для запуска расчета необходимо определить интервал времени в поле ввода верхней панели и нажать кнопку .

Данные по наработкам до отказа функциональных систем, параметрам встроенного контроля (коэффициент надежности, полнота, глубина, доля ложных срабатываний) хранятся в таблице SystTabl базы данных FMEATotall (см. приложение 2).

Рассчитанные показатели передаются в генератор отчетов, порождающий отчет в формате doc по шаблону, приведенному ниже.

Тресурса = #####,##ч

Расчет показателей воздушного судна:

Среднее число отказов = #####,##

Среднее число отказов, выявляемых BIT = #####,##

Среднее число ложных срабатываний BIT = #####,##

Среднее число скрытых отказов = #####,##

Вероятность отказа = #,##E+##

Вероятность отказа, выявляемого BIT = #,##E+##

Расчет показателей функциональных систем:

Код АТА	Наименование	ср. число отк./	к-т автоматизации	ср. число отк., выявляемых ВИТ	ср. число отк., выявляемых ВИТ до 1 LRU	ср. число ложных срабатываний ВИТ	среднее суммарное число срабатываний ВИТ
###	###	###, #	#, ##	#, #	#, #	#, #	#, #

...

код АТА	наименование	ср. число отказов	к-т автоматизации	ср. число отк. (ВИТ)	ср. число отк. (ВИТ+TLRU)	ср. число отк. (ФА)	ср. число срабатываний ВИТ
210000	Система кондиционирования воздуха	51076,00	1,392E-07	21917,47	0,01	0,000E+00	21917,47
220000	Оборудование автоматического управл.		0,000E+00				
230000	Службное оборудование		0,000E+00				
240000	Система электроснабжения		0,000E+00				
250000	Безопасное и аварийно-спасательное обс.		0,000E+00				
260000	Пожарное оборудование		0,000E+00				
270000	Система управления самолетом	292763,00	0,000E+00	235605,90	0,00	0,000E+00	235605,90
280000	Топливная система		0,000E+00				
290000	Гидравлическая система	71811,95	2,453E-02	10704,34	5,352,17	0,000E+00	10704,34
300000	Противообледенительная система		0,000E+00				
310000	Системы индикации и регистрации		0,000E+00				
320000	Шасси		0,000E+00				
330000	Освещение и световая сигнализация		0,000E+00				
340000	Пилотажно-навигационное оборудование		0,000E+00				
350000	Кабельное оборудование		0,000E+00				

Показатели воздушного судна

Среднее число отказов = 500493386,65 Среднее число отказов, выявляемых ВИТ = 200326777,71 Среднее число ложных срабатываний ВИТ = 300012332,08

Среднее число скрытых отказов = 107035,73 Вероятность отказа = 1,00E+00 Вероятность отказа, выявленного ВИТ = 1,00E+00

Рис.6.1. Главная форма модуля расчета среднего числа отказов

7. Оценка показателей контролепригодности по объединенным данным FMEA и CMS

Объединение информации о видах и интенсивностях отказов агрегатов из таблиц FMEA и разрешающей способности контроля из базы данных Централизованной Системы Обслуживания (CMS) позволяет рассчитывать показатели глубины контроля (γ) и среднего числа съемов ($n_c(t)$), характеризующие как контролепригодность, так и ремонтпригодность воздушного судна. Кроме того, эти показатели могут оказаться полезными при организации логистической поддержки.

Алгоритм вычисления показателей следующий:

- по информации из CMS множество видов отказов агрегатов разбивается на три подмножества: изолируемые контролем до 1-го съемного элемента (LRU), до 2-х LRU, до 3-х LRU. Реализованные принципы контроля позволяют ограничиться этим разбиением.
- по информации из FMEA подсчитываются суммарные интенсивности видов отказов каждого из полученных подмножеств: $\lambda_{\Sigma 1}$, $\lambda_{\Sigma 2}$, $\lambda_{\Sigma 3}$.
- осуществляется расчет показателей по формулам:

$$\gamma = \frac{\lambda_{\Sigma 1}}{\lambda_{\Sigma 1} + \lambda_{\Sigma 2} + \lambda_{\Sigma 3}} \quad (7.1)$$

$$n_c(t) = 1 \cdot \lambda_{\Sigma 1} \cdot t + 2 \cdot \lambda_{\Sigma 2} \cdot t + 3 \cdot \lambda_{\Sigma 3} \cdot t \quad (7.2)$$

В качестве интервала времени относительно которого подсчитывают показатель $n_c(t)$ обычно выбирают время ресурса или время между профилактиками.

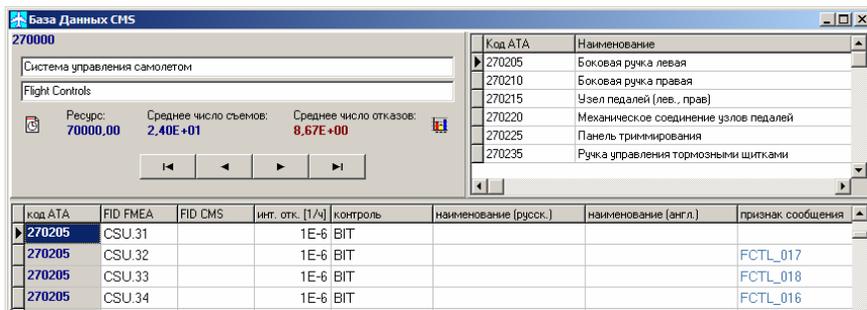
Показатель MTBUR (см. формулу (3.7)) в этом случае вычисляется как

$$MTBUR = \frac{1}{1 \cdot \lambda_{\Sigma 1} + 2 \cdot \lambda_{\Sigma 2} + 3 \cdot \lambda_{\Sigma 3}} \quad (7.3)$$

Процедуры расчета описанных показателей реализованы в соответствующем модуле СПО АК, который вызывается нажатием

кнопки  инструментальной панели главной формы.

Рабочая форма модуля представлена на рис.7.1. Левое верхнее окно формы отображает список функциональных систем, а правое верхнее – входящих в систему агрегатов. Эта информация берется из таблиц SystTabl и TotallTable базы данных СПО АК (см. Приложение 4). Нижнее окно отображает объединенную информацию FMEA и документов Централизованной Системы Обслуживания для активного (выбранного в верхнем окне агрегата). Объединенная информация по всем агрегатам воздушного судна содержится в таблице CMS, структура которой описана в Приложении 4. Для удовлетворения требования к целостности базы данных СПО АК два верхних окна являются только окнами просмотра. Таблица видов отказов нижнего окна позволяет осуществлять операции вставки, удаления и редактирования записей.



код АТА	FID FMEA	FID CMS	инг. отк. [1/ч]	контроль	наименование [русс.]	наименование [англ.]	признак сообщения
270205	CSU.31		1E-6	БИТ			
270205	CSU.32		1E-6	БИТ			FCTL_017
270205	CSU.33		1E-6	БИТ			FCTL_018
270205	CSU.34		1E-6	БИТ			FCTL_016

Рис.7.1. Интерфейс пользователя модуля расчета показателей на основе объединенных данных FMEA и CMS

Литература

1. *ATA iSpec 2200: Information Standards for Aviation Maintenance*// ATA Association. - 2003.- 120с.
2. *Relax 2009 Reference Manual*// PTC InSight Product. – 2009. – 1012с.
3. *Викторова В.С., Спиридонов И.Б., Степаняц А.С.* Анализ контролепригодности функциональных систем и воздушного судна. // ЗАО ГСС, СТП 03-287-10.- 2010. - Вып. 01. – 89с.
4. *Electronic Parts Reliability Data (EPRD-97), Nonelectronic Parts Reliability Data (NPRD-95)*//Reliability Analysis Center (RAC). <http://www.lricks.com/rac.htm>
5. *Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment*// CARDEROCKDIV, NSWC-94/L07. - 1994. – 143с.
6. *Reliability Prediction Procedures for Electronic Equipment* // Bellcore, TR-332. – 1997. - Issue 6. – 187с.
7. *A universal model for reliability prediction of Electronics components* // RDF 2000: Reliability Data Handbook. PCBs and equipment. -2000. - UTE C 80-810. – 92с.
8. *RiAC-HDBK-217Plus*. // Handbook of 217Plus Reliability Prediction Models/RiAC. - 2006. -166с.
9. *Викторова В.С., Ведерников Б.И., Спиридонов И.Б., Степаняц А.С.* Моделирование и анализ контролепригодности бортовых систем самолетов// Надежность. – 2007. - №3 (22). С.62-71
10. *ГОСТ 26656-85*. Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования. - 1987. – 23с.
11. *DoD 3235.1-H. Test and Evaluation of System Reliability, Maintainability, Reliability*// Office of the Director Defense Test and Evaluation, Washington, 1982.
12. *Hallquist, E.J.; Schick, T.* Best practices for a FRACAS implementation // Reliability and Maintainability, 2004 Annual Symposium – RAMS, 26-29 Jan. 2004 Page(s): 663 – 667.
13. *MIL-STD-2155 (AS) Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System (FRACAS)* // Department of Defense. Washington. - 1985. http://www.weibull.com/mil_std/mil_std_2155.pdf

14. *Надежность технических систем: Справочник* // Ю.К. Беляев, В.А.Богатырев, В.В. Болотин и др.; под ред. И.А.Ушакова . М.: Радио и связь, 1985. - 606с.
15. *Кондратенков В.А., Котельников Г.Н., Мамченков В.Л.* Вопросы теории надежности технических систем. – Смоленск: Русич, 1998. – 221с.
16. *Половко А.М., Гуров С.М.* Основы теории надежности . BHV- Санкт-Петербург, 2006. – 560с.
17. *Barlow R.E., Proschan F.* Statistical Theory of Reliability and Life Testing. Probability Models. Holt, Rinehart&Winston, 1975. – 328с.
18. *SAE ARP 4761 – Guidelines and Methods for conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne System and Equipment.*
<http://www.savive.com.au/library/index.html>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Ввод FMEA данных

Форма ввода данных FMEA СПО АК состоит из трех окон, как показано на рис.П1.1. Верхнее окно содержит таблицу систем, в которую заносятся список функциональных систем и их заданных в ТЗ характеристик (см. раздел 2.1). Среднее окно содержит список и параметры агрегатов активной (выделенной в верхнем окне) системы. Исходные характеристики агрегатов описаны в разделе 2.1. Нижнее окно предназначено для ввода данных анализа видов и последствий отказов для каждого активного (выделенного в среднем окне) агрегата. Информация FMEA, являющаяся исходной для анализа контролепригодности, описана в разделе 2.3.

код ATA		наименование	наименование (англ.)	наработка до отс. (ч/ТЗ)	к-т неисправ. СК (ТЗ)	полнота
210000	Система кондиционирования воздуха (СКВ)	Air Conditioning	41800	0,10	0,000E+000	нет
220000	Оборудование автоматического управления полетом	Auto Flight	370370	0,10	0,000E+000	нет
230000	Связное оборудование	Communications	300000	0,10	0,000E+000	нет
240000	Система электроснабжения	Electrical Power	100000	0,10	0,000E+000	нет
250000	Бортовое и аварийно-спасательное оборудование	Equipment/Fairfindings	67500	0,10	0,000E+000	нет
260000	Пожарное оборудование	Fire Protection	54200	0,10	0,000E+000	нет

код ATA		наименование	наименование (англ.)	наработка до отсказа (ч/процент)	количество	средство контроля ?
212201	Вентилятор рециркуляции	Recirculation Fan	Recirculation Fan	41800	2	нет
212205	Фильтр рециркуляции	Recirculation Filter	Recirculation Filter	370370	2	нет
212210	Наземный штурвер низкого давления	LP Ground Connection	LP Ground Connection	300000	1	нет
212215	Обратный клапан гермошлангов	Bulkhead Check Valve	Bulkhead Check Valve	100000	2	нет
212301	Передний вентилятор охлаждения блока авионики	FWD Avionics Fan	FWD Avionics Fan	67500	2	нет
212305	Задний вентилятор охлаждения блока авионики	Aft Avionics Fan	Aft Avionics Fan	54200	1	нет
212310	Клапан аварийной вентиляции авионики	Avionics Exhaust Valve	Avionics Exhaust Valve	50000	1	нет
212315-01	Нагнетательный вентилятор (левый)	Blower Fan (Left)	Blower Fan (Left)	105100	2	нет
212315-02	Нагнетательный вентилятор (правый)	Blower Fan (Right)	Blower Fan (Right)	105100	2	нет
212320	Фильтр продувки	Blowing Filter	Blowing Filter	539568	2	нет
212325-01	Датчик расхода воздуха с пониженным давлением (левый/ Low Flow Sensor	Blowing Filter	Blowing Filter	70000	2	да

инг.отс. [1/ч]	метод контроля	признак сообщ.	критичность	этап	локация тр. ?	наименование вида отсказа	наим. вида отс. (англ.)
1.89E-07 BIT		none	none	All Phases	нет	Потеря обдува при очень значительных вибрациях и выбросе осколков в поток воздуха	Loss of blowing with very important vibrations and prof
4.15E-06 BIT		none	none	All Phases	нет	Потеря обдува при коротком замыкании в сети самолета	Loss of blowing with short circuit current in A/C network
3.24E-06 BIT		none	none	All Phases	нет	Потеря обдува	Loss of blowing
1.89E-07 BIT		none	none	All Phases	нет	Резкое ухудшение обдува при очень значительных вибрациях и выбросе осколков в	Severe degradation of blowing with very important vibi
2.08E-06 BIT		none	none	All Phases	нет	Ухудшение характеристик обдува с увеличением потребления тока	Degradation of blowing performances with increase of
1.81E-06 none		none	none	All Phases	нет	Утечка воздуха из клапана	Leakage of check valve
2.14E-07 none		none	none	All Phases	нет	Потеря обнаружения пониженных оборотов	Loss underspeed detection
2.39E-07 BIT		none	none	All Phases	да	Ошибочное измерение оборотов	Eronomous speed measure
2.80E-09 none		none	none	All Phases	нет	Ошибочная связь между сигналами Малые обороты и Не_ Малые обороты	Erratic commutation between Underspeed and No_Ur
2.41E-07 none		none	none	All Phases	нет	Сигнал Не_ Малые обороты включен (скорость более 60%)	No_Underspeed signal activated (speed >60%)
1.00E-07 none		none	none	All Phases	нет	Сигнал Не_ Малые обороты выключен (скорость менее 60%)	No_Underspeed signal deactivated (speed <60%)
9.00E-09 none		none	none	All Phases	нет	Сигнал Малые обороты включен (скорость менее 60%)	Underspeed signal activated (speed <60%)
2.39E-07 none		none	none	All Phases	нет	Сигнал Малые обороты выключен (скорость более 60%)	Underspeed signal deactivated (speed >60%)
4.04E-07 none		none	none	All Phases	нет	Сигнал Малые обороты включен и сигнал Не_ Малые обороты выключен	Underspeed signal deactivated and No_Underspeed -
7.00E-09 BIT		none	none	All Phases	нет	Выделение малых оборотов при запуске	Underspeed detection at start
8.14E-07 none		none	none	All Phases	нет	Потеря электрической защиты	Loss electrical protection

Рис.П1.1. Форма ввода данных FMEA СПО АК

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Структура базы данных СПО АК

База данных специализированного программного обеспечения анализа контролепригодности реализована на MS Access и состоит из следующих взаимосвязанных таблиц:

- SystTabl – хранит заданные, проектные и рассчитанные на основе FMEA значения показателей надежности и контролепригодности функциональных систем
- TotallTabl – хранит проектные и рассчитанные на основе FMEA значения показателей надежности и контролепригодности агрегатов функциональных систем
- TotallTablCr – хранит рассчитанные значения показателей полноты контроля I и II рода агрегатов для фиксированного уровня критичности отказов
- TotallTablCrT – хранит распределение показателей полноты контроля I и II рода функциональной системы по уровням критичности отказов
- AirTableCr – хранит исходные данные для построения распределений показателей среднего числа отказов и вероятности отказа воздушного судна
- SystSav – вспомогательная временная таблица с данными, необходимыми для расчета характеристик отказов типа ложная тревога
- CMS – таблица описания видов отказов на основе информации FMEA и CMS

Имя файла базы данных FMEATotall.mdb
Взаимосвязь таблиц пояснена на рис.П2.1.

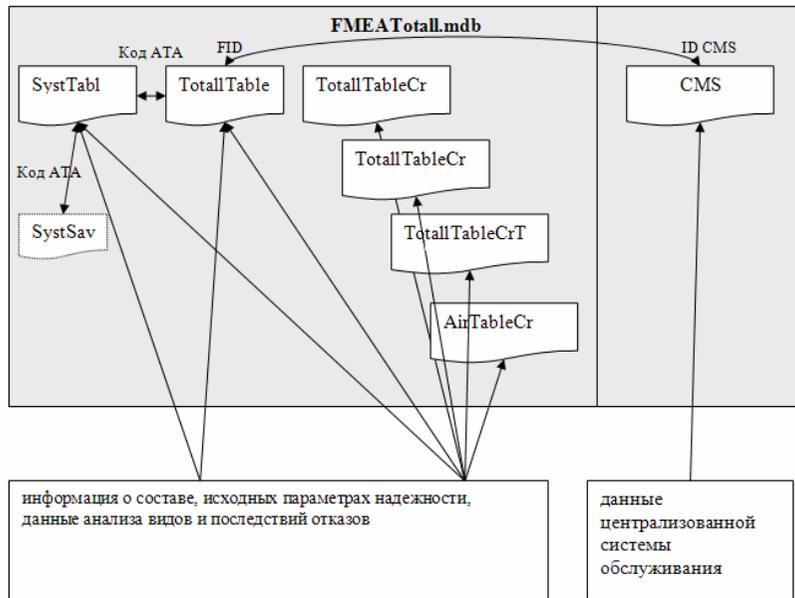


Рис. П2.1. Структура базы данных СПО АК