

УДК 681.5.09

Метод анализа контролепригодности эксплуатационной модели самолета

Спиридонов И.Б.

Корпорация «Иркут», Ленинградский проспект, 68, Москва, 125315, Россия

e-mail: igori.spiridonov@irkut.com

Аннотация

Описан метод анализа контролепригодности эксплуатационной модели самолета. Метод основан на анализе универсальной модели данных контролепригодности самолета, систем и компонентов, с применением логико-вероятностного моделирования с привлечением аппарата деревьев отказов для оценки достоверности контроля.

Ключевые слова: контролепригодность, техническое обслуживание, встроенные средства контроля, технологическая карта, коэффициент качества контролепригодности, функционально логическая модель, функционально логический блок, эксплуатационная модель самолета, универсальная модель данных контролепригодности, логико-вероятностное моделирование, дерево отказов.

1. Введение

Методы оценки и анализа контролепригодности определяются задачами по техническому обслуживанию, в частности по оценке эффективности диагностических средств по критерию затрат на техническое

обслуживание и эффективности применяемых тестов для определения технического состояния объектов контроля для обеспечения заданного уровня эксплуатационной технологичности и требований материально-технического обеспечения. Анализ контролепригодности представляет оценку расчетных показателей контролепригодности и сравнению их с некоторыми заданными значениями, определению доли отказов определяемых встроенными средствами контроля и влиянию процедур по локализации отказов (определения причин их возникновения) на время восстановления системы.

Зарубежная практика проведения анализа контролепригодности сводится к экспертной оценке значимости той или иной диагностической процедуры и средств контроля, применяемых для контроля технического состояния данной конструкции системы [1]. При этом производится количественная оценка весовых коэффициентов, характеризующих диагностическую процедуру для одного или группы элементов, а так же вычисляется коэффициент качества контролепригодности (показатель значимости). Оценка показателя значимости производится на основании «технологической карты», которая представляет собой перечень критериев (вопросов), которые формируются для каждого определенного вида изделия в соответствии с установленными принципами. Применимость критериев для элементов анализируемого изделия определяется по принципу «Да» - «Нет».

Решение о соответствии конструкции анализируемого изделия требованиям контролепригодности, принимается в случае, если расчетное

значение коэффициент качества контролепригодности находится в заданных пределах [1].

В отечественной практике для оценки достоверности контроля, определения показателей полноты контроля отказов и глубины контроля при анализе контролепригодности воздушного судна в целом и его комплектующих (КСБ) на этапе проектирования применяется метод, основанный на построении функционально – логической модели (ФЛМ) объекта контроля и ее составляющих – функционально – логических блоков (ФЛБ) [2, 3].

При построении ФЛМ должны быть выделены конкретные элементы ОК, каждый из которых формирует выходные сигналы, определенные моделью. Построение ФЛМ производится для каждого режима работы ОК. Первичным элементом ФЛМ является функционально – логический блок (ФЛБ), который характеризуется только одним выходным параметром (сигналом) при произвольном количестве входов. Все элементы ФЛБ соединены последовательно, при этом необходимо разделение элементов на контролируемые и неконтролируемые. Конструктивно – съемные блоки из состава ОК верхнего уровня, имеющие более одного выходного сигнала, разделяются на несколько ФЛБ. В отдельные ФЛБ выделяются элементы (узлы, агрегаты, КСБ), не охваченные стимулирующими сигналами. Количество и номенклатура входов ФЛБ определяются из функциональной схемы ОК. Они должны соответствовать количеству и номенклатуре входов, формирующих выход ФЛБ модели. Связи между элементами ФЛМ,

количество, виды и уровни параметров (сигналов), их допустимые значения должны соответствовать функциональной схеме ОК. Входными сигналами ФЛМ принимаются сигналы, характеризующие различные функциональные параметры ОК, сигналы разной физической природы (уровень рабочей жидкости, давление, температура и др.), электрические сигналы (напряжение постоянного тока, сопротивление и др.).

В случае, когда аналитические и табличные зависимости между параметрами неизвестны и не могут быть установлены, а известны качественные причинно – следственные связи элементов ОК, строятся графы причинно – следственных связей (ГПСС). ГПСС представляет собой ориентированный граф вершинами, которого являются параметры, характеризующие событие или явление, а дуги отражают причинно следственные связи между вершинами.

Логические модели системы используются для построения таблиц полноты контроля (ТПК) и глубины контроля (ТГК), необходимых для вычисления численных значений показателей полнота контроля и глубина контроля.

2. Метод анализа контролепригодности эксплуатационной модели самолета

В основе метода лежит эксплуатационная модель самолета, которая

представляет собой его разбиение на объекты технического обслуживания и логистической поддержки в процессе эксплуатации. Такое разбиение определяется требованиями стандартов и принято в мировой практике для унификации процедур технического обслуживания, материально – технического обеспечения и ремонта самолетов различных производителей [4, 5] В данном случае компоненты авиационных систем представляются в виде объектов эксплуатационной структуры по иерархическому принципу: самолет – система - элемент замены (конструктивно – сменный блок). Объекты эксплуатационной структуры так же являются объектами контроля и восстановления в процессе эксплуатации.

Объекты эксплуатационной структуры самолета имеют характеристики и признаки, которые определяют их в структуре верхнего уровня. Одним из основных признаков объектов эксплуатационной структуры, далее объектов контроля, является его уникальный идентификатор, который определяет его принадлежность и физическое местонахождение на самолете. Система идентификации включает код принадлежности к системе, подсистеме, экземпляру, логистический признак, уникальный заводской номер, признаки физического местонахождения на самолете: идентификаторы зоны размещения и люков доступа. Такое построение эксплуатационной модели позволяет жестко привязать результаты различного вида анализов самолета, в том числе анализа контролепригодности, к эксплуатационной документации и провести корреляцию различных видов анализов, например, анализа надежности, безопасности, контролепригодности и

эксплуатационной технологичности.

Следующим этапом построения модели эксплуатационной структуры, уже наполненной соответствующими атрибутами идентификации является определение характеристик объектов контроля. Основными характеристиками объекта контроля низшего уровня для проведения как анализа контролепригодности, так и анализов надежности и безопасности, являются виды отказов компонентов, которые определяются разработчиком компонента и характеризуют техническое состояние компонента не зависимо от схмотехнических решений и условий эксплуатации. В данном случае такая характеристика элемента эксплуатационной структуры – объекта контроля является наиболее объективной, а конкретный вид отказа будет являться прямым диагностическим параметром.

Виды отказов имеют характеристики, которые будут являться исходными для вычисления параметров контролепригодности, это интенсивность отказа на временном интервале, критичность отказа для данной конструкции объекта контроля верхнего уровня (система). Конкретный вид отказа должен характеризоваться таким признаком, как метод его выявления в данной конструкции системы, в том числе выявление автоматическим контролем [5]. Описание объектов контроля и расчетные соотношения для вычисления численных значений показателей контролепригодности представляется в виде универсальной модели данных, которая связывает эксплуатационную структуру самолета, характеристики и признаки объектов контроля различного уровня и расчетные соотношения

для различных уровней проведения анализа. Универсальная модель данных контролепригодности разработана с применением HML технологий [6].

Анализ контролепригодности проводится на основе применении логико-вероятностного моделирования с привлечением аппарата деревьев отказов для оценки интегрального показателя контролепригодности – достоверность контроля.

При создании деревьев было использовано разложение на несовместные гипотезы, логические выражения в ортогональной форме (каждая конъюнкция дизъюнктивной нормальной формы ортогональна другим конъюнкциям). Логические переменные представлены соответствующими вероятностями, а логические операции заменены арифметическими [7]:

$$\text{Prob}\{\bar{C}=1\} = Q_C = P_A \cdot Q_{LC} + Q_A \cdot Q_{HC} + Q_A \cdot (1 - \text{ПК}) \cdot P_K, \quad (7)$$

$$\text{Prob}\{C=1\} = P_C = P_A \cdot (P_K + Q_{HC}) + Q_A \cdot Q_{LC} + Q_A \cdot \text{ПК} \cdot P_K. \quad (8)$$

В выражениях для достоверности/недостоверности контроля нет составляющей, характеризующей глубину контроля. Приведем дополненную глубиной контроля модель недоверности. Здесь возникает следующий вопрос, как относиться (с точки зрения достоверности) к указаниям контроля на два или более КСБ, при отказе одного из них (т.е. как ввести в недоверность глубину контроля). Возможен предельный вариант, при котором такую ситуацию также можно отнести к недоверности контроля, так как идентификация хотя бы одного работоспособного КСБ (типовой

элемент замены), как отказавшего, приводит к необходимости изъятия (проверки) его (их) из системы, а значит это несовершенство контроля.

Соотношение для вычисления недостоверности:

$$Q_C = P_A \cdot Q_{ЛС} + Q_A \cdot Q_{НС} + Q_A \cdot (1 - ПК) \cdot P_K + (1 - \Gamma_1) \cdot Q_A \cdot ПК \cdot P_K, \quad (9),$$

и достоверности:

$$D_C = 1 - [P_A \cdot Q_{ЛС} + Q_A \cdot Q_{НС} + Q_A \cdot (1 - ПК) \cdot P_K + (1 - \Gamma_1) \cdot Q_A \cdot ПК \cdot P_K]. \quad (10)$$

Если принимается вариант, когда указание контроля при отказе на один или два КСБ является допустимым, то в (9) вместо $(1 - \Gamma_1)$ надо написать $(1 - \Gamma_1 - \Gamma_2)$, т.е. к недостоверности будет относиться указание на 3 и более элементов. Такая ситуация, например, может быть допустима, когда КСБ располагаются рядом и доступ к ним для проверки/снятия приблизительно такой же, как и к одному.

На рис. 1 представлено дерево относительно вершинного события C . Дерево построено в модуле Fault Tree программы Windchill Quality Solutions (Relex) [8]. Пояснения по используемым в приведенном дереве вершинам даны в таблице 1.

Таблица 1.

Вершина	Название	Описание
	AND	логический оператор И
	OR	логический оператор ИЛИ
	NOT	логический оператор отрицания
	Basic Event	базовое событие
	Repeated Event	повторяющееся базовое событие
	INHIBIT	логическое И с запрещающим входом (ингибиторное И): Ингибитор полностью повторяет логику вершины AND, однако один из входов определен как условие (Conditional Event), запрещающее или разрешающее срабатывание вершины при истинности всех остальных входов; использование ингибитора улучшает читаемость дерева

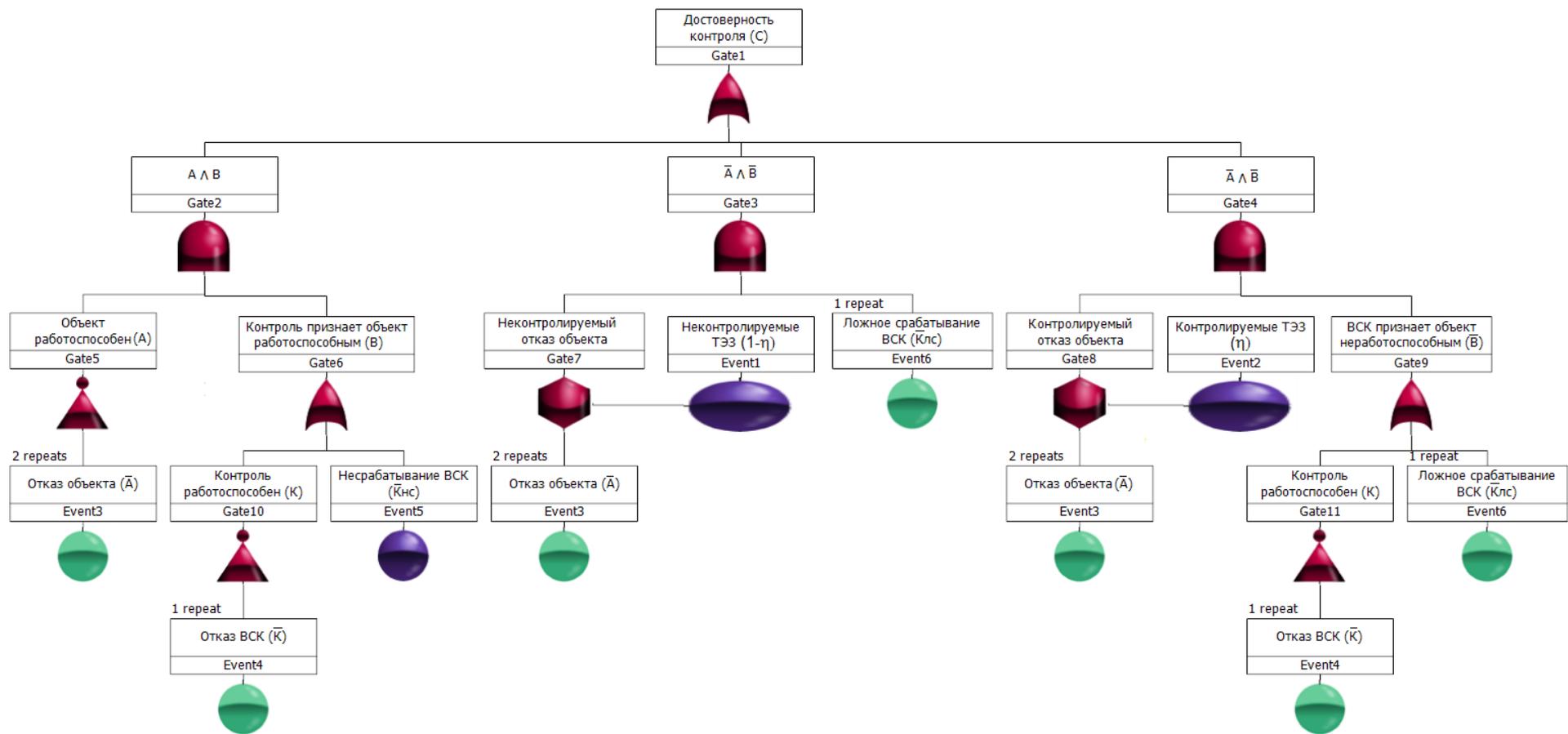


Рис. 1. Дерево достоверности контроля.

3. Универсальная модель данных контролепригодности.

При разработке универсальной модели данных контролепригодности (УМДК) учитывались следующие критерии:

1. Самолет (воздушное судно), как объект анализа контролепригодности, имеет трехуровневую иерархическую структуру, включающую агрегаты или съемные элементы замены (LRU) (нижний уровень иерархии) - Глобальный элемент “КСБ” - LRU, функциональные подсистемы (средний уровень иерархии) - Глобальный элемент “система” - *FS*, самолет в целом (высший уровень) - Элемент *AP* (“самолет”).

2. Элементам каждого уровня иерархии соответствуют свои наборы показателей контролепригодности.

3. Данные анализа видов и последствий отказов (АВПКО/FMEA) элементов нижнего уровня иерархии (КСБ/LRU) являются исходными данными для вычисления показателей контролепригодности элементов последующих уровней.

4. Требования технического задания по показателям контролепригодности, соотнесены элементам среднего уровня (функциональным системам).

5. Процедура анализа контролепригодности построена по принципу “снизу-вверх” (“bottom up”), когда рассчитанные показатели контролепригодности элементов данного уровня являются исходными

данными для расчетов показателей контролепригодности элементов следующего уровня.

Глобальные элементы, типы и атрибуты XML схемы, учитывающие перечисленные особенности, приведены в последующих параграфах.

В качестве удобного и наглядного графического представления УМДК используются древовидные диаграммы, в которых каждому компоненту теговой разметки соответствует свой графический элемент. Вершина дерева, в нашем случае “самолет”, определяет корневой тег.

Элемент *AP* (“самолет”) является корневым элементом схемы данных анализа контролепригодности. Древовидная диаграмма, содержащая корневой элемент и его непосредственные потомки, представлена на рис.2. Диаграмма демонстрирует два подхода к вычислению показателей контролепригодности корневого элемента:

- расчет на основе функционального анализа видов и последствий отказов, проведенного на уровне самолета в целом (элемент *FFMEA* типа *FFMEAType*);
- расчет на основе показателей контролепригодности функциональных систем (последовательность элементов *FS*).

Рассчитанные показатели контролепригодности уровня самолета ранжируются по критичности видов отказов оборудования или функций (элемент *ResA* типа *FBySev*).

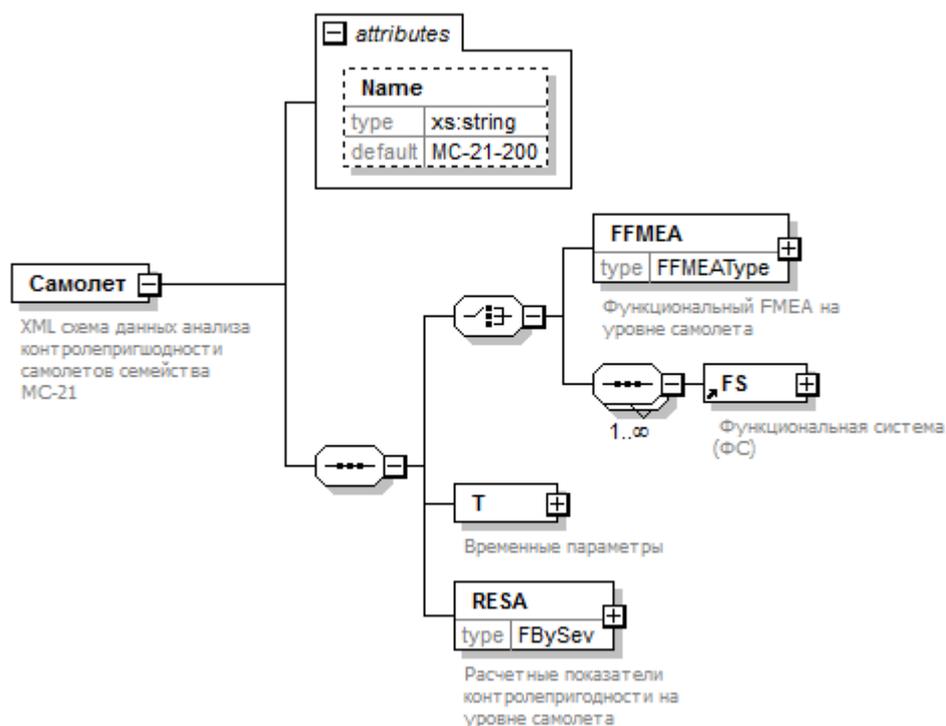


Рис. 2. Диаграмма УМДК (верхний уровень)

Глобальный элемент “ система” - *FS* (рис.3) характеризуется группой атрибутов *FSParameters*, включающей идентификационные и описательные параметры (атрибуты *UShN*, *CSNS*, *Nam*, *NamE*); заданные в ТЗ характеристики надежности системы (атрибут *MTTF*) и ненадежности средств контроля (атрибут *MTR*) с развесовкой на несрабатывание (атрибут *KTR*) и ложное срабатывание; заданные в ТЗ показатели контролепригодности типа полноты (атрибут *DetTR*) и глубины контроля (атрибут *IsolTR*).

Диаграмма XML схемы элемента *FS* с коннектором выбора показывает, что вычисление показателей контролепригодности системы может проводиться как на основании функционального FMEA (элемент *FMEA_{FS}*), так и на основе показателей надежности и контролепригодности входящих в

нее агрегатов (последовательность элементов *LRU*).

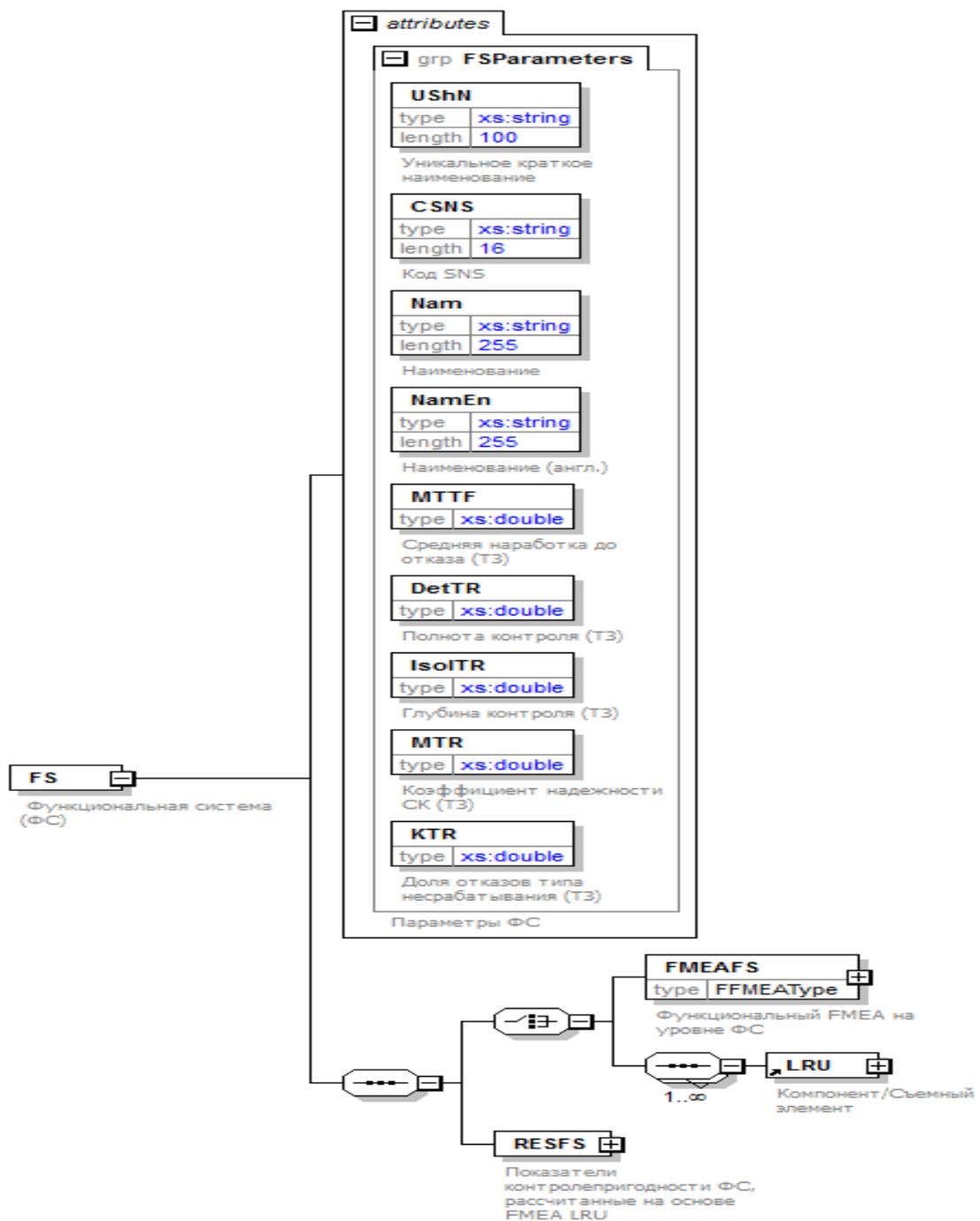


Рис.3. Диаграмма УМДК (уровень функциональных систем)

Глобальный элемент “КСБ” - LRU (рис.4) характеризуется группой атрибутов *LRUParameters*, включающей идентификаторы (*NmbLRU* , *CSNSLRU*, *PN*, *IDCMS*), описания (*NamLRU*, *NamELRU*); наработку до отказа

по ТЗ (атрибут *MTTF*), признак принадлежности к системе контроля (атрибут *TS*). Каждому из съемных элементов соотносятся произвольное количество записей FMEA, структура которых определяется глобальным типом FMEAType.

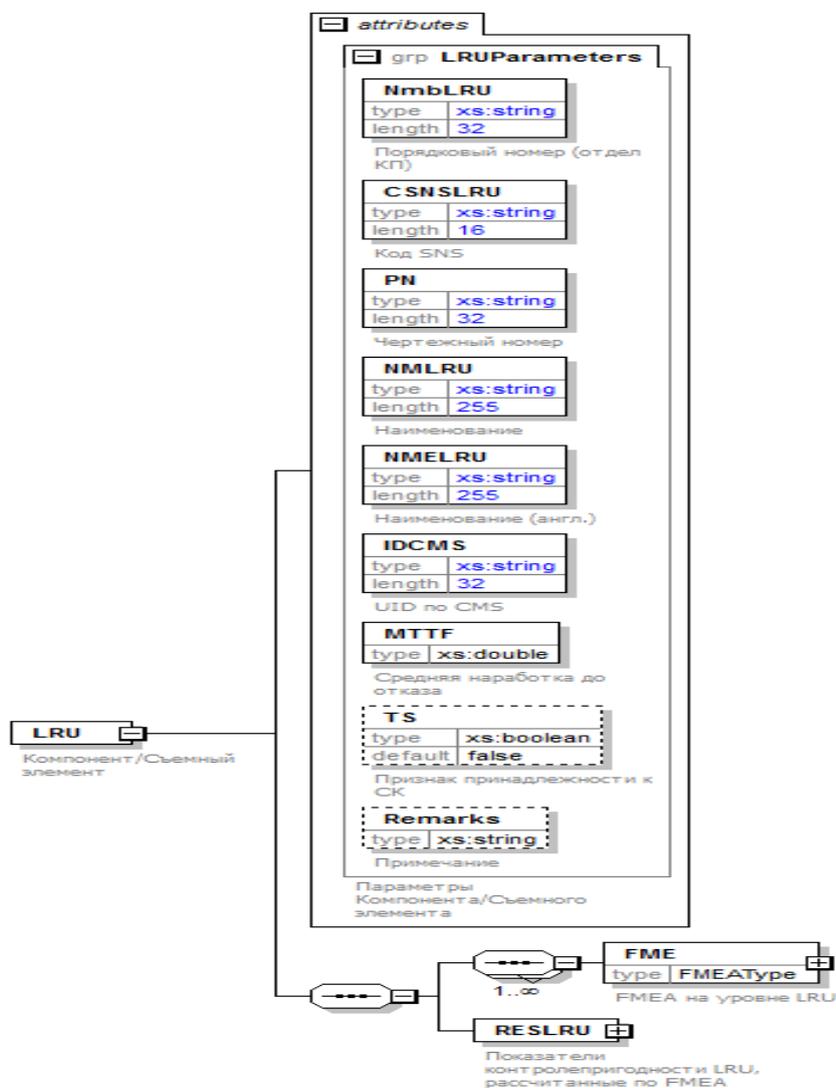


Рис.4. Комплексный элемент “КСБ (LRU)”

Элемент *ResLRU* определяет структуру и типы результатов расчета показателей контролепригодности съемных элементов. Структура и содержание дочерних элементов *ResLRU* аналогичны элементу *ResFS*.

Расчетные и аналитические соотношения для проведения анализа

контролепригодности представлены в работе [6].

4. Выводы

Для оценки контролепригодности самолета предложен метод анализа контролепригодности эксплуатационной модели самолета, основанный на применении логико-вероятностного моделирования с привлечением аппарата деревьев отказов. Преимуществом такого подхода является возможность построения адекватных моделей и проведение точных расчетов показателей контролепригодности на наглядном и широко распространенном в теории и практике анализе надежности и безопасности авиационных систем аналитическом аппарате. Представлена модель дерева отказов для анализа достоверности систем встроенного контроля, учитывающая функциональные особенности и надежность встроенных средств контроля. Ненадежность ВСК трактуется, как возможность возникновения отказов типа несрабатывание и ложное срабатывание ВСК. Даны предложения по учету разрешающей способности встроенных средств контроля (глубины контроля) в общем выражении для показателя недостоверности контроля. В методе предложен подход к формализованному описанию информационных объектов управления для автоматизированного анализа контролепригодности самолета, основанный на XML технологиях. Разработана универсальная модель данных контролепригодности в виде XML-схемы, отражающей трехуровневую эксплуатационно-техническую структуру самолета.

Библиографический список

1. MIL-HDBK-2165. Testability handbook for systems and equipment /31 July 1995.
2. Методические указания «Методы оценки достоверности контроля изделий авиационной техники. Методика определения полноты контроля и глубины поиска отказов» – М: МАП, 1984. – 64 с.
3. Методические указания. Контролепригодность изделий авиационной техники. Руководство по обеспечению – М: ТК323, 1993. – 35с.
4. S1000D International specification for technical publications utilizing a common source database/Issue 4.0, 2008-08-01.
5. S3000L International procedure specification for Logistics Support Analysis. LSA/ Issue 0.1 2009-06-08.
6. Викторова В.С., Спиридонов И.Б. Универсальная модель данных контролепригодности – М.: ИПУ РАН, 2015. – 32с.
7. Спиридонов И.Б., Степанянц А.С. Модели оценки показателей контролепригодности // Датчики и системы. 2015. №4, с. 8 – 14.
8. Викторова В.С., Кунтшер Х.П., Петрухин Б.П., Степанянц А.С. Relex – программа анализа надежности, безопасности, рисков // Надежность. 2003. №4 (7), с. 42-64.