

Анализ логистической поддержки

Основные положения и практика применения

учебный курс

Содержание

| | |
|---|----|
| 1. Введение..... | 8 |
| 2. Основные задачи и стадии выполнения АЛП | 18 |
| 2.1. Задачи АЛП..... | 18 |
| 2.2. Основные стадии процесса АЛП. Исполнители АЛП..... | 23 |
| 3. Интегрированная информационная модель АЛП..... | 26 |
| 3.1. Основные положения некоторых зарубежных стандартов, относящиеся к информационным моделям | 26 |
| 3.2. Интегрированная информационная модель | 29 |
| 4. Решение задач АЛП | 39 |
| 4.1. Разработка документа «Стратегия АЛП» | 39 |
| 4.2. Разработка документа «План АЛП»..... | 40 |
| 4.3. Создание проекта АЛП. Описание сценария использования изделия по назначению | 42 |
| 4.4. Выбор элементов-кандидатов на АЛП, создание логистической структуры изделия (ЛСИ) и логистической структуры функций (ЛСФ)..... | 45 |
| 4.4.1. Общие сведения и исполнители | 45 |
| 4.4.2. Методика формирования ЛСИ..... | 45 |
| 4.4.2.1 Выбор элементов-кандидатов на АЛП..... | 45 |
| 4.4.2.2 Общие принципы построения ЛСИ..... | 46 |
| 4.4.2.3 Пример формирования ЛСИ | 48 |
| 4.4.2.4 Типы ЭК | 50 |
| 4.4.2.5 Правила включения ЭК в ЛСИ | 51 |
| 4.4.2.6 Назначение ЛКН элементам ЛСИ | 52 |
| 4.4.3. Методика формирования ЛСФ | 54 |
| 4.4.3.1 Общие сведения о ЛСФ | 54 |
| 4.4.3.2 Формирование ЛСФ..... | 55 |
| 4.4.3.3 Назначение ЛКН элементам ЛСФ | 56 |
| 4.4.4. Установление связей между элементами ЛСФ и ЛСИ..... | 57 |
| 4.4.4.1 Установление связей между элементами..... | 57 |
| 4.4.4.2 Описание функций и определение доли времени работы элементов | 58 |
| 4.4.5. Связь логистических структур с конструкторской структурой изделия в PDM-системе | 59 |
| 4.5. Анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) | 61 |
| 4.5.1. Общие сведения и исполнители | 61 |
| 4.5.2. Описание структуры анализируемого изделия | 63 |
| 4.5.3. Кодирование видов отказов и классификация тяжести последствий отказа | 64 |
| 4.5.4. Методика и алгоритм выполнения АВПКО | 65 |
| 4.5.4.1 Анализ видов и последствий отказов | 65 |
| 4.5.4.2 Качественный и количественный анализ критичности..... | 68 |
| 4.6. Анализ обслуживания, обеспечивающего надежность (АООН)..... | 73 |
| 4.6.1. Общие сведения и исполнители | 73 |
| 4.6.2. Пример анализа систем самолета и силовой установки..... | 75 |
| 4.6.2.1 Выбор объекта анализа..... | 75 |

| | |
|---|-----|
| 4.6.2.2 Алгоритм анализа..... | 76 |
| 4.6.2.3 Первый уровень алгоритма (определение категории отказа АООН) | 79 |
| 4.6.2.4 Второй уровень алгоритма (определение состава работ)..... | 82 |
| 4.6.2.5 Определение периодичности выполнения выбранных работ..... | 85 |
| 4.7. Методика расчета параметров материально-технического обеспечения (МТО) . | 94 |
| 4.7.1. Общие сведения..... | 94 |
| 4.7.2. Методика расчета оптимального количества запасных частей для устранения случайно возникающих отказов | 95 |
| 4.7.3. Совместное выполнение расчетов периодичности планово-профилактических работ и параметров МТО..... | 99 |
| 4.8. Разработка регламентов и технологий ТОиР по результатам АЛП..... | 102 |
| 4.8.1. Общие сведения и исполнители | 102 |
| 4.8.2. Правила формирования перечня задач обслуживания | 103 |
| 4.8.3. Правила формирования процедур обслуживания..... | 105 |
| 4.8.4. Разработка технологии выполнения задачи обслуживания..... | 106 |
| 4.9. Подготовка данных для разработки эксплуатационной документации | 109 |
| 4.10. Расчет стоимости жизненного цикла изделия | 115 |
| 4.10.1. Общие сведения..... | 115 |
| 4.10.2. Методика расчета затрат на техническую эксплуатацию | 116 |
| 4.11. Методика расчета коэффициента готовности конечного изделия | 128 |
| 4.12. Технический и экономический анализ уровней ремонта | 132 |
| 4.13. Отчеты из базы данных АЛП..... | 135 |
| 5. Последовательность действий при выполнении АЛП | 140 |
| 5.1. Последовательность выполнения задач АЛП..... | 144 |
| 5.2. Справочники и классификаторы..... | 156 |
| 5.2.1. Справочник организаций..... | 157 |
| 5.2.2. Справочник компонентов и запчастей | 157 |
| 5.2.3. Справочник стандартных изделий и расходных материалов | 159 |
| 5.2.4. Справочник средств наземного обслуживания и инструмента | 160 |
| 5.2.5. Справочник специальностей и квалификаций | 160 |
| 5.2.6. Справочник инфраструктуры, необходимой для обслуживания | 161 |
| 5.2.7. Справочник зон и мест доступа | 161 |
| 5.2.8. Справочник стандартных периодов обслуживания..... | 162 |
| 6. Пример выполнения АЛП с использованием программного продукта LSA Suite ... | 163 |
| 6.1. Создание проекта АЛП. Описание сценария использования | 164 |
| 6.2. Построение логистических структур. Функциональный анализ..... | 167 |
| 6.2.1. Ввод сведений об элементах-кандидатах в БД АЛП | 168 |
| 6.2.2. Построение ЛСИ | 168 |
| 6.2.3. Построение ЛСФ | 172 |
| 6.2.4. Установление связей между элементами ЛСФ и ЛСИ..... | 174 |
| 6.2.5. Присвоение SNS элементам ЛСИ..... | 176 |
| 6.2.6. Результаты функционального анализа..... | 178 |
| 6.3. Ввод параметров надежности | 179 |
| 6.4. АВПКО..... | 181 |
| 6.4.1. Заполнение справочников | 181 |
| 6.4.2. Создание перечня отказов для логистических элементов..... | 183 |

| | |
|--|-----|
| 6.4.2.1 Создание вида отказа элемента ЛСФ F28-20..... | 184 |
| 6.4.2.2 Создание вида отказа дочернего элемента ЛСФ F28-20-11..... | 186 |
| 6.4.2.3 Создание вида отказа элемента ЛСИ..... | 187 |
| 6.4.3. Установление причинно-следственных связей между отказами..... | 187 |
| 6.4.4. Расчет показателей АВПО..... | 188 |
| 6.4.5. Отчетные формы..... | 189 |
| 6.5. Разработка программы планового обслуживания по алгоритму MSG-3..... | 190 |
| 6.6. Расчет рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ.... | 194 |
| 6.7. Разработка структуры работ по ТОиР..... | 196 |
| 6.8. Формирование перечня поставляемых запчастей и расчет параметров МТО.... | 200 |
| 6.9. Расчет затрат на техническую эксплуатацию..... | 203 |
| Приложение..... | 205 |
| Литература..... | 215 |

Сокращения

В тексте настоящего документа приняты следующие соглашения по сокращению обозначений и наименований:

| Сокращение | Значение |
|-------------------|--|
| АВПКО | Анализ видов, последствий и критичности отказов. |
| АВПО | Анализ видов и последствий отказов. |
| АК | Анализ критичности. |
| АЛКН | Альтернативный логистический контрольный номер. |
| АЛП | Анализ логистической поддержки. |
| АООН | Анализ обслуживания, обеспечивающего надежность. |
| АТ | Авиационная техника. |
| АУР | Анализ уровней ремонта. |
| БД | База данных. |
| БД АЛП | База данных анализа логистической поддержки. |
| ВС | Воздушное судно. |
| ЖЦ | Жизненный цикл. |
| ИКДС | Иллюстрированный каталог деталей и сборочных единиц. |
| ИЛП | Интегрированная логистическая поддержка. |
| ИПИ | Информационная поддержка жизненного цикла изделий. |
| ИЭД | Интерактивная электронная документация. |
| КАФИ | Код-акроним финального изделия. |
| КИ | Конечное изделие. |
| КТПО | Категория тяжести последствий отказа. |
| ЛКН | Логистический контрольный номер. |
| ЛСИ | Логистическая структура изделия. |
| ЛСФ | Логистическая структура функций. |
| МД | Модуль данных. |
| МТО | Материально-техническое обеспечение. |
| НИР | Научно-исследовательская разработка. |
| ОБДЭ | Общая база данных эксплуатационной документации. |
| ООБД | Объектно-ориентированная база данных. |
| ПКИ | Покупное комплектующее изделие. |

| Сокращение | Значение |
|------------|---|
| ПП | Программный продукт. |
| ППО | Планово-профилактическое обслуживание. |
| ПС | Предмет снабжения. |
| РБД | Реляционная база данных. |
| РД | Ремонтная документация. |
| РКД | Рабочая конструкторская документация. |
| РЛЭ | Руководство по летной эксплуатации. |
| СЖЦ | Стоимость жизненного цикла. |
| СОК | Система объективного контроля. |
| ССН | Стандартная система нумерации. |
| СТЭ | Система технической эксплуатации. |
| ТЗ | Техническое задание. |
| ТО | Техническое обслуживание. |
| ТОиР | Техническое обслуживание и ремонт. |
| ТСО | Технические средства обучения. |
| ТЭ | Техническая эксплуатация. |
| ФИ | Финальное изделие. |
| ЭД | Эксплуатационная документация. |
| ЭК | Элемент-кандидат. |
| ЭЛД | Элемент данных. |
| ЭСИ | Эксплуатационная структура изделия. |
| ЭЭД | Электронная эксплуатационная документация. |
| LRU | Line Replaceable Unit (элемент, заменяемый на линии). |
| LSS | Программный продукт LSA STEP Suite. |
| SRU | Shop Replaceable Unit (элемент, заменяемый в мастерской). |

1. Введение

В последние годы словосочетание «Интегрированная логистическая поддержка»¹ (сокращенно - ИЛП) стало популярным как в общетехническом обиходе, так и в научно-технических документах различного уровня и статуса: в концепциях, положениях и т.д. Такая популярность связана с выходом продукции отечественных предприятий (в первую очередь – предприятий авиационной промышленности) на внешние рынки, где потребители этой продукции предъявляют к ней требования, основанные на международных и национальных стандартах, принятых в промышленно-развитых странах.

Современные наукоемкие изделия, к числу которых относятся изделия авиационной техники (АТ), имеют длительный жизненный цикл. Для таких изделий величина затрат в ходе жизненного цикла (ЖЦ) – один из важных потребительских параметров. Эти затраты складываются из затрат на разработку, производство, ввод изделия в действие, эксплуатацию, поддержание его в работоспособном состоянии и утилизацию по истечении срока службы. Для изделий, имеющих срок использования 10-20 и более лет, затраты на постпроизводственных стадиях ЖЦ, связанные с поддержанием изделия в работоспособном состоянии (состоянии готовности к использованию, боевой готовности – для военной техники), могут быть равны или даже превышать затраты на приобретение. При этом, в силу общеизвестных экономических причин (инфляция, обесценение денег), первые со временем возрастают, а вторые убывают.

Понятие ИЛП относится к числу базовых инвариантных понятий концепции и стратегии CALS (*Continuous Acquisition and Life Cycle Support*) или ИПИ (**И**нформационная **П**оддержка **ж**изненного **ц**икла **И**зделий) [1-4].

Нормативную базу ИЛП составляют многочисленные международные и национальные стандарты, среди которых значимую роль играет стандарт Министерства обороны Великобритании DEF STAN 00-60 [5]. Некоторые важные для анализа логистической поддержки (АЛП) данные описаны в спецификации NATO Product Data Model (NPDM) [6]. Номенклатура данных, связанных с материально-техническим обеспечением (МТО), регламентируется спецификацией ASD S2000M [7]. Основные положения этих нормативных документов изложены в разделе 3.

В настоящее время разработаны и представлены на утверждение в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии проекты трех национальных стандартов РФ, представляющие основу отечественной нормативной базы в сфере ИЛП:

- ГОСТ Р 5XXXX – 200*. Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения [8].
- ГОСТ Р 5XXXX – 200*. Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Основные положения [9].

¹ В англоязычной литературе: *Integrated Logistic Support (ILS)*.

- ГОСТ Р 5XXXX – 200*. Интегрированная логистическая поддержка. Основные термины и определения [10].

По определению, принятому в [8], ИЛП – совокупность видов инженерной деятельности, реализуемых посредством управленческих, инженерных и информационных технологий, ориентированных на обеспечение высокого уровня готовности изделий (в том числе показателей, определяющих готовность – безотказности, долговечности, ремонтпригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности и др.) при одновременном снижении затрат, связанных с их эксплуатацией и обслуживанием.

Основные виды деятельности ИЛП представлены на рис. 1-1².



Рис. 1-1. Основные виды деятельности ИЛП

Важнейшим видом деятельности, реализуемым в рамках ИЛП сложного изделия и играющим системообразующую роль, является **анализ логистической поддержки** (АЛП). Он представляет собой формализованную технологию всестороннего исследования как самого изделия, так и вариантов системы его эксплуатации и обслуживания, включающую комплекс инженерных методик, выполняемых с помощью специализированных компьютерных средств.

В данном учебном курсе подробно рассмотрены основные положения АЛП и аспекты его практического применения.

² Наименования видов деятельности ИЛП на рис. 1-1 приведены в краткой форме. Далее в тексте используются развернутые наименования.

Здесь для создания у читателя относительно целостного представления о проблеме ИЛП кратко описаны остальные виды деятельности ИЛП, представленные на рис. 1-1, и показана их связь с АЛП.

Планирование и управление техническим обслуживанием и ремонтом изделия. Цель этого вида деятельности – рациональная организация процессов ТОиР, позволяющая сократить затраты на их проведение и повысить коэффициент готовности, в частности, за счет сокращения простоев изделия в неисправном состоянии.

На этапах проектирования проводят анализ требований заказчика к ТОиР и разрабатывают концепцию и программу ТОиР изделия, на этапе эксплуатации – выполняют собственно планирование и управление ТОиР изделия.

При анализе требований заказчика используют описания предполагаемых условий эксплуатации, сценариев применения изделия по назначению, а также описание существующей структуры и функций организации, выполняющей ТОиР (при наличии), которая должна быть адаптирована (или заменена) для обеспечения ТОиР нового изделия. Результатом анализа являются уточненные требования к системе ТОиР, а также дополнительные требования к конструкции изделия, которые должны быть учтены на последующих этапах разработки. Исходные данные и результаты хранят в базе данных АЛП (БД АЛП).

Концепция ТОиР – основной документ для разработки системы ТОиР, содержащий общие принципы организации ТОиР изделия и его основных компонентов. Концепция ТОиР должна, как минимум, содержать следующую информацию:

- описание предполагаемых методов организации ТОиР изделия и его основных компонентов, включая описание организационных уровней, на которых будет выполняться ТОиР;
- ориентировочный состав основных планово-профилактических работ по ТОиР изделия и основных компонентов, а также их прогнозируемая периодичность, выявляемые в ходе АЛП;
- виды логистических ресурсов для выполнения ТОиР и прогнозируемая потребность в них (в т.ч. технологических возможностей исполнителей ТОиР);
- виды документации, необходимой для ТОиР, основные требования к ее содержанию и оформлению (представлению) и др.

Концепцию ТОиР, как правило, разрабатывают в нескольких альтернативных вариантах, среди которых в дальнейшем выбирают тот, который в наибольшей мере удовлетворяет требованиям заказчика. При подготовке вариантов концепции ТОиР используют результаты АЛП.

Программа ТОиР – документ, развивающий и конкретизирующий положения концепции ТОиР. Форма и содержание программы ТОиР зависят от вида изделия и регламентируются государственными и/или отраслевыми нормативными документами.

Например, для авиационной техники программу ТОиР разрабатывают в соответствии с требованиями ГОСТ 28056 [11].

Планирование и управление ТОиР ориентировано на обеспечение заданных показателей готовности конкретных экземпляров изделия (парка изделий) на этапе эксплуатации. Оно состоит в составлении календарных планов-графиков и формировании заданий на выполнение работ, определении требуемых ресурсов (по номенклатуре и количеству), а также в учете проведенных работ и расходования материальных ресурсов (в т.ч. учет выполненных замен изделий и агрегатов, отслеживание их движения и др.).

Для планирования и управления ТОиР используют сведения из концепции и программы ТОиР, информацию о фактической эксплуатации изделий, ЭД и РД, относящуюся к конкретным конфигурациям экземпляров изделия.

Планирование и управление материально-техническим обеспечением. Цель этого вида деятельности – планирование и рациональная организация управления запасами и заказами материальных ресурсов (запасных частей, расходных материалов и т.п.), являющихся предметами снабжения (ПС), обеспечивающие сокращение затрат (издержек) заказчика, обусловленных дефицитом или избытком этих ресурсов.

Планирование и управление МТО включает:

- кодификацию ПС;
- планирование начального МТО;
- планирование и управление запасами и заказами в процессе текущего МТО.

Кодификация ПС представляет собой процедуру присвоения предметам снабжения уникальных кодовых обозначений, однозначно понимаемых всеми участниками ИЛП [12].

Планирование начального МТО осуществляют в ходе выполнения АЛП. При этом используют следующие сведения, содержащиеся в БД АЛП:

- результаты расчетов, позволяющие прогнозировать нормы расхода материальных ресурсов в начальный период эксплуатации, продолжительность которого должна быть оговорена в контракте на поставку изделия;
- данные по эксплуатации изделий-аналогов;
- информацию о предполагаемой эксплуатации изделия;
- показатели надежности изделия и его составных частей;
- и др.

Результатом планирования начального МТО является номенклатура и количество запасных частей и расходных материалов, подлежащих поставке вместе с изделием и обеспечивающих эксплуатацию и ТОиР изделия в планируемый начальный период.

Эти сведения оформляют в соответствии с [7] и/или требованиями контракта в виде документа «Перечень начального МТО» [13].

Планирование и управление запасами и заказами в процессе текущего МТО включает:

- систематическую оценку фактического уровня текущих запасов по всей номенклатуре материальных ресурсов (ПС) и принятие своевременных решений о необходимости пополнения этих запасов;
- подготовку и направление поставщикам соответствующих заявок, организацию оплаты заказанных ПС (обмен документами, в т.ч. электронными, между заказчиком и поставщиками ПС);
- организацию учета, хранения и выдачи, а также контроль качества ПС, поступающих на склады.

Задачи планирования и управления запасами и заказами в процессе текущего МТО решает заказчик на основе полученных от разработчика изделия данных о номенклатуре ПС, выявленной в ходе АЛП. Эти данные предоставляются в форме перечней, ведомостей и/или каталогов по ГОСТ 2.610 [14], в т.ч. электронных.

Разработка и сопровождение эксплуатационной и ремонтной документации на изделие. Цель этого вида деятельности – обеспечение персонала актуальной и достоверной технической документацией (преимущественно в электронном виде), регламентирующей выполнение всех работ по эксплуатации и ТОиР изделия.

В требованиях к ЭД и РД, формируемых заказчиком, устанавливают виды и комплектность документации, необходимой для эксплуатации и ТОиР изделия. При отсутствии специальных требований документацию выполняют в соответствии с ГОСТ 2.601, ГОСТ 2.602 и ГОСТ 2.610 [14, 15, 16]. Форму представления документации (бумажная, электронная, то и другое), как правило, устанавливает разработчик.

ЭД и РД разрабатывают с использованием информационной технологии, регламентированной требованиями российских и международных нормативных документов [13, 14, 15, 16]. При разработке ЭД и РД используют конструкторскую документацию на изделие (в том числе в электронной форме по ГОСТ 2.051 [17]), данные БД АЛП, в том числе относящиеся к ТОиР.

Результатом применения информационной технологии разработки является специализированная ОБДЭ по ГОСТ 2.601 [15], содержащая модули данных, из которых формируется и предоставляется заказчику комплект ЭД и РД, в том числе в виде интерактивных электронных публикаций [13].

Данные, содержащиеся в ОБДЭ, можно использовать при информационной интеграции процессов разработки ЭД и РД, планирования и управления ТОиР и МТО.

Разработчик вносит изменения в ЭД и РД в соответствии с требованиями ГОСТ 2.503 и ГОСТ 2.603 [18, 19]. При использовании информационной технологии разработки все изменения должны отражаться в ОБДЭ.

Обеспечение заказчика специальным, вспомогательным и измерительным оборудованием. Цель этого вида деятельности – создание перечней всех видов стационарного и мобильного оборудования, обеспечивающего надлежащее качество работ и повышение производительности труда при эксплуатации и ТОиР изделия, необходимого для оснащения обслуживающих и ремонтных организаций заказчика (эксплуатанта), и выработка технических требований к характеристикам этого оборудования.

Перечень необходимого оборудования и требования к его характеристикам определяют в ходе выполнения АЛП. При этом рекомендуется руководствоваться принципами стандартизации и унификации и преимущественно использовать:

- оборудование из стандартных типоразмерных рядов;
- оборудование, уже имеющееся в существующей инфраструктуре заказчика;
- контрольно-измерительное и испытательное оборудование, встроенное в изделие.

Данные, относящиеся к специальному, вспомогательному и испытательному оборудованию, должны быть зафиксированы в БД АЛП на стадии проектирования. В дальнейшем перечень оборудования и требования к нему подлежат уточнению на основе данных, получаемых в ходе АЛП на последующих стадиях ЖЦ изделия.

Специальное оборудование и специальный инструмент рекомендуется применять только в тех случаях, когда технико-экономическое обоснование показывает возможность значительного снижения стоимости жизненного цикла (СЖЦ) изделия, сокращения трудоемкости и продолжительности работ по ТОиР.

Планирование и организация обучения персонала, в том числе разработки технических средств обучения (ТСО). Цель этого вида деятельности – планирование и реализация комплекса мер по подготовке (обучению) и переподготовке эксплуатирующего, обслуживающего и ремонтного персонала (включая планирование и организацию разработки ТСО, обеспечивающих эффективность учебного процесса). Этот комплекс мер должен обеспечивать такой уровень квалификации специалистов, который будет гарантировать надлежащее качество работ и высокую производительность труда при проведении ТОиР. Разработчик должен представить заказчику предложения по организации обучения персонала эксплуатирующих, обслуживающих и ремонтных организаций, которые, как минимум, должны включать:

- перечень специальностей и численности специалистов, подлежащих обучению и переподготовке по каждой специальности;
- перечень видов и форм обучения (непосредственно на изделии, в учебных классах, в специальных учебных центрах и т.д.) и соответствующие учебные

- планы, программы и учебно-методические материалы (в том числе – в электронной форме);
- прогнозируемую продолжительность обучения и требуемое опережение в ходе подготовки к вводу разрабатываемого изделия в эксплуатацию;
- состав, технические характеристики и сроки разработки и изготовления ТСО: учебных стендов, тренажеров (в том числе - компьютерных) и др.;
- сведения, касающиеся методов и программ аттестации и сертификации специалистов, прошедших обучение.

Исходные данные для подготовки предложений определяются в ходе АЛП. Учебные планы и программы, учебно-методические материалы, стенды и тренажеры, методы и программы аттестации и сертификации специалистов, как правило, готовит разработчик изделия. Заказчик утверждает документацию на разработанные средства обучения и организует учебный процесс в соответствии с утвержденной документацией.

При проектировании новых изделий меры по созданию учебно-методических материалов (в первую очередь – в форме ИЭД) и разработке комплексов ТСО (компьютерных учебных классов, стендов, тренажеров и т.п.) следует принимать заблаговременно. При планировании разработки ИЭД, ТСО и учебно-методических материалов используют информацию (модули данных [13]), содержащуюся в ОБДЭ, сформированной в ходе создания ЭД и РД для изделия.

Планирование и организация процессов упаковывания, погрузки/разгрузки, хранения, транспортирования изделия. Цель этого вида деятельности – планирование и организация процессов упаковывания, погрузки/разгрузки, хранения, транспортирования изделия и/или его составных частей способами, исключающими снижение их работоспособности (предотвращение повреждения).

Все связанные с этими процессами процедуры, методы, потребные ресурсы и требования к специальным конструктивным решениям должны быть определены на этапе проектирования, а результаты зафиксированы в БД АЛП.

При проектировании определяют требования к обеспечению сохранности изделия при длительном и краткосрочном хранении, а также при транспортировании с учетом условий окружающей среды (температура воздуха и ее перепады, влажность, уровень вибрации и другие факторы).

Для вновь разрабатываемых изделий следует проводить полный анализ транспортабельности, упаковки и вариантов процессов перемещения, хранения и транспортирования, результаты которых влияют на конструкцию изделия. Для покупных изделий указанные факторы учитывают при оценке применимости этих изделий в КИ.

Разработчик представляет заказчику план мероприятий по упаковыванию, погрузке/разгрузке, хранению и транспортированию, содержащий:

- результаты анализа транспортабельности, упаковки и вариантов процессов перемещения, хранения и транспортирования;
- описание технических средств, которые должны быть разработаны и изготовлены (например, контейнеры, транспортно-загрузочные устройства, средства хранения и транспортирования);
- требования к процедурам упаковывания, погрузки/разгрузки, хранения и транспортирования, которые будут осуществляться на стадиях поставки, развертывания (ввода в действие) и использования изделия;
- описания процедур обслуживания технических средств упаковывания, погрузки/разгрузки, хранения и транспортирования.

Все процедуры должны соответствовать действующему законодательству, в том числе требованиям по охране труда и технике безопасности, а также требованиям, относящимся к работам с опасными материалами.

Разработка инфраструктуры СТЭ³. Цель этого вида деятельности – определение требований и планирование последующего оснащения заказчика (эксплуатанта) всеми компонентами (коммуникациями, зданиями, сооружениями и т.д.), необходимыми для эксплуатации и обслуживания изделия.

Требования к составу инфраструктуры и характеристикам ее компонентов определяются в ходе АЛП и фиксируются в БД АЛП. При проведении анализа должна быть обоснована необходимость применения тех или иных компонентов и определена их стоимость.

При создании проектов инфраструктуры для конкретных изделий следует стремиться к рациональному использованию существующих компонентов инфраструктуры.

Проекты создания новых компонентов инфраструктуры следует рассматривать и утверждать только в случаях отсутствия требуемых компонентов в существующей инфраструктуре и при наличии технико-экономического обоснования.

Мониторинг технических характеристик изделия и процессов эксплуатации и технического обслуживания. Цель этого вида деятельности – установление соответствия (или, напротив, несоответствия) фактических эксплуатационно-технических характеристик изделия их расчетным (проектным) значениям, получение данных, необходимых для совершенствования конструкции изделия и СТЭ, а также для использования в последующих проектах (осуществление обратной связи от заказчика (эксплуатанта) к разработчику и производителю изделия), определение возможности перехода от планово-профилактического обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию.

³ Определение системы технической эксплуатации (СТЭ) – см. Приложение.

Технология мониторинга ориентирована на получение, статистическую обработку, анализ данных о надежности (безотказности, долговечности), ремонтпригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности изделия, параметрах СТЭ (трудоемкость и продолжительность работ по ТОиР, фактический расход ПС, время простоя изделия при ожидании ТОиР и др.) и затратах на ТОиР.

Объектами мониторинга являются изделие, его составные части, процессы эксплуатации и СТЭ. Сравнение фактических и расчетных (проектных) характеристик изделия и СТЭ позволяет обосновать решения, касающиеся изменений конструкции изделия, организации СТЭ и/или планов ИЛП.

После соответствующей обработки данные мониторинга могут фиксироваться в БД АЛП разработчика. Эти данные образуют информационное обеспечение задач АЛП, выполняемых по его результатам.

Планирование и организация процессов утилизации изделия и его составных частей. Цель этого вида деятельности – планирование и организация эффективной и своевременной утилизации изделия (и/или его составных частей) и, как правило, специального оборудования для его поддержки.

В рамках ИЛП должны быть приняты меры, обеспечивающие снижение затрат на утилизацию после вывода изделия из эксплуатации, поскольку эти затраты могут быть весьма значимыми для СЖЦ, особенно для изделий, изготовленных с использованием специальных технологий (например, с применением радиоактивных веществ).

На этапе проектирования должны быть приняты меры по обеспечению технологичности разделения изделия и его компонентов на составные части и определены способы утилизации (например, изъятие драгоценных и/или радиоактивных материалов). При необходимости для выполнения этих работ должно быть разработано специальное технологическое оборудование.

Технология организации утилизации должна быть направлена на изъятие комплекса специального оборудования поддержки и исключение его влияния на другие изделия, находящиеся в эксплуатации.

При разработке процессов утилизации должны быть приняты меры, предотвращающие ущерб для окружающей среды.

Учебный курс «**Анализ логистической поддержки: основные положения и практика применения**» состоит из следующих частей:

- Теоретическая часть содержит описание задач АЛП и способов их решения. К теоретической части относятся разделы учебного курса 2-4.
- В практической части рассмотрена последовательность и приведен пример выполнения АЛП с использованием программного продукта LSA STEP Suite (LSS). Практическую часть представляют разделы 5-6.

В приложении приведен словарь основных терминов, специфических для проблематики ИЛП в целом, так и АЛП в частности.

Все примеры и иллюстрации, приведенные в курсе, относятся к авиационной технике (самолету). Однако его основные положения могут быть распространены и на другие виды техники.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие международные и национальные стандарты представляют основу нормативной базы ИЛП?
2. Что означает понятие «ИЛП»?
3. Перечислите и дайте краткое описание основных видов деятельности ИЛП.

2. Основные задачи и стадии выполнения АЛП

Как ИЛП в целом, АЛП направлен на обеспечение требований к поддерживаемости⁴ изделия за счет минимизации СЖЦ при заданном значении коэффициента готовности, либо за счет максимизации коэффициента готовности при заданных ограничениях на СЖЦ. Первая постановка характерна для техники гражданского назначения, вторая – для военной техники.

Согласно требованиям зарубежных стандартов, АЛП должен начинаться на стадии определения требований к изделию (НИР, разработка аванпроекта) и продолжаться до завершения его использования (снятия с производства или с вооружения). Последнее необходимо для оценки правильности результатов АЛП и накопления статистического материала, служащего основой анализа новых проектов. Процесс АЛП носит итеративный характер: на каждом последующем этапе уточняются и развиваются результаты предыдущего этапа.

АЛП, будучи многопрофильной инженерной дисциплиной, охватывает следующие основные направления:

- разработка стратегии, планирование и управление процессом АЛП;
- анализ конструкции изделия в процессе ее разработки с целью выработки рекомендаций по обеспечению/повышению надежности, ремонтпригодности, эксплуатационной технологичности и, в конечном счете, показателя поддерживаемости⁵;
- разработка и анализ вариантов системы технической эксплуатации (СТЭ) изделия, обеспечивающих заданные требования в отношении СЖЦ, готовности и поддерживаемости;
- анализ взаимодействия изделия и СТЭ с целью выявления их сочетания, обеспечивающего установленные требования к поддерживаемости;
- контроль показателя поддерживаемости изделия в процессе эксплуатации и выявление факторов, негативно влияющих на этот показатель.

2.1. Задачи АЛП

Согласно [5] АЛП представляет собой взаимосвязанную совокупность задач (таблица 1).

⁴ Определение поддерживаемости – см. Приложение.

⁵ Определение показателя поддерживаемости – см. Приложение.

Таблица 1. Перечень задач АЛП

| Группа задач | Назначение группы задач | Задачи |
|---|---|--|
| 100 Планирование АЛП и контроль за его проведением. | Обеспечение формализованных действий по планированию АЛП и экспертизе программы АЛП и проекта изделия. | 101 Разработка стратегии АЛП. |
| | | 102 Разработка плана АЛП. |
| | | 103 Контроль за ходом АЛП и соблюдением требований к поддерживаемости. |
| 200 Изучение условий эксплуатации и формирование требований к изделию и СТЭ (требований к поддерживаемости). | Формирование требований к системе поддержки и связанных с ней требований к проекту на основе сравнения с существующими аналогами. | 201 Изучение условий эксплуатации изделия. |
| | | 202 Анализ возможностей применения типовых решений в конструкции и в СТЭ изделия. |
| | | 203 Анализ аналогов. |
| | | 204 Анализ технических решений, направленных на улучшение изделия и СТЭ. |
| | | 205 Поддерживаемость и определяющие ее параметры изделия и СТЭ (требования к поддерживаемости). |
| 300 Анализ вариантов конструкции изделия, СТЭ и их взаимодействия. | Обеспечение рационального баланса затрат и характеристик поддерживаемости. | 301 Определение функциональных требований к конструкции изделия (функциональный анализ). |
| | | 302 Разработка вариантов концепции и плана ИЛП изделия. |
| | | 303 Анализ альтернатив и компромиссов. |
| 400 Определение потребностей в логистических ресурсах. | Определение требований к ресурсам логистической поддержки (материальным, трудо- | 401 Анализ задач обслуживания. |
| | | 402 Предварительный анализ последствий ввода изделия в эксплуатацию. |

Основные задачи и стадии выполнения АЛП

| Группа задач | Назначение группы задач | Задачи |
|---------------------------------------|---|--|
| | вым и т.д.). | 403 Анализ способов обеспечения поддерживаемости изделия в процессе эксплуатации. |
| 500 Контроль поддерживаемости. | Проверка выполнения заданных требований и устранение недостатков. | 501 Контроль поддерживаемости на этапах разработки и эксплуатации. |

Выполнение всего перечня задач АЛП не является обязательным. Конкретный состав задач, объем работ и степень детализации анализа, а также исполнители задач определяются для каждого проекта индивидуально по согласованию между подрядчиком (разработчиком, поставщиком изделия) и заказчиком в зависимости от следующих факторов:

- типа проекта (разработка нового изделия, модернизация существующего, разработка новой модификации или исполнения, поставка существующего изделия без изменений);
- сложности изделия;
- требований заказчика;
- возможности влияния результатов АЛП на конструкцию изделия;
- возможности влияния результатов АЛП на структуру и параметры СТЭ;
- наличия и достоверности исходных данных;
- стадии жизненного цикла (ЖЦ) изделия.

Для проектов, связанных с разработкой нового изделия, АЛП носит наиболее полный характер и охватывает все направления, перечисленные выше.

Для проектов, связанных с модернизацией и разработкой модификации или исполнения, АЛП проводят с целью оценки влияния изменений, вносимых в конструкцию, на показатель поддерживаемости, а также выработки предложений по организации или изменению СТЭ. При этом задачи АЛП выполняются полностью или частично.

Для проектов, связанных с поставкой существующего изделия без изменений, АЛП, как правило, проводят с целью определения показателя поддерживаемости в планируемых условиях эксплуатации, а также для выработки рекомендаций по организации или адаптации действующей у заказчика СТЭ и определения дополнительных потребностей в логистических ресурсах. В этом случае выполняется лишь часть задач АЛП.

Следует отметить, что уточнение результатов АЛП для конкретного заказчика возможно только в том случае, если на ранних стадиях разработки изделия был выполнен ос-

новной объем базовых работ по АЛП и подготовлена БД АЛП для типового сценария эксплуатации.

Исходные данные и результаты АЛП должны храниться в специализированной базе данных – БД АЛП. Состав данных БД АЛП должен определяться для каждого проекта индивидуально в зависимости от перечисленных выше факторов. Функции создания и ведения БД АЛП обычно выполняет разработчик изделия.

БД АЛП должна заполняться и поддерживаться в актуальном состоянии на протяжении всего ЖЦ изделия. Информация из БД АЛП может использоваться во всех процессах ИЛП, а также в процессах разработки и проектирования изделия. При необходимости БД АЛП или ее часть может передаваться заказчику.

Из описаний задач АЛП, приведенных в [5], следует, что практически каждая задача представляет собой трудоемкое исследование процессов, документов, внешних условий, организационных структур и иных сущностей, совокупность которых и образует систему ИЛП. Такое исследование требует участия многих специалистов высокой квалификации: инженеров-аналитиков, конструкторов, расчетчиков, специалистов по надежности, по организации эксплуатации и обслуживания, по организации и проведению испытаний, по охране окружающей среды, экономистов и т.д. В ходе АЛП собираются и помещаются в БД АЛП огромные объемы разнообразной, подчас труднодоступной информации (числовой, текстовой, графической, мультимедийной и т.д.). Поэтому к работам по АЛП непременно должны быть привлечены специалисты в области информационных технологий.

Вследствие сказанного выше решение всего комплекса задач АЛП, описанного в [5], в нынешних российских условиях не представляется возможным.

В связи с этим в таблице 2 приведен минимальный перечень задач АЛП, рекомендуемый, в частности, для решения на начальных стадиях внедрения технологии АЛП [9]. Задачи из этого перечня могут применяться к любым видам техники, допускают четкую формализацию и при наличии соответствующих программных средств могут выполняться в автоматизированном режиме.

В последующих разделах курса именно задачи из минимального перечня описаны с необходимой степенью подробности.

Таблица 2. Минимальный перечень задач АЛП

| № п/п | Наименование задачи | Относится к группе задач по таблице 1 |
|--------------|---|--|
| 1. | Разработка документа «Стратегия АЛП». | 100 |
| 2. | Разработка документа «План АЛП». | 100 |
| 3. | Создание проекта АЛП. Описание сценария ис- | 200 |

Основные задачи и стадии выполнения АЛП

| № п/п | Наименование задачи | Относится к группе задач по таблице 1 |
|-------|--|---------------------------------------|
| | пользования изделия по назначению. | |
| 4. | Выбор элементов-кандидатов на АЛП и создание логистической структуры изделия (ЛСИ). | 200 |
| 5. | Функциональный анализ изделия. Создание логистической структуры функций (ЛСФ). Установление связей между элементами ЛСФ и ЛСИ. | 300 |
| 6. | Определение и ввод в БД АЛП параметров надежности и ремонтпригодности изделия. | 300 |
| 7. | Анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО). | 300 |
| 8. | Анализ обслуживания, обеспечивающего надежность (АООН). Определение рекомендуемой периодичности планового обслуживания изделия. | 300 |
| 9. | Разработка задач и процедур технического обслуживания изделия. | 400 |
| 10. | Оценка потребностей в запчастях и расходных материалах на заданный период эксплуатации. Подготовка перечней, каталогов запчастей и расходных материалов. | 400 |
| 11. | Оценка потребностей в средствах обслуживания и контроля, инструментах и принадлежностях. | 400 |
| 12. | Подготовка исходных материалов для разработки эксплуатационной документации на изделие. | |
| 13. | Оценка затрат на техническое обслуживание и коэффициента готовности изделия в заданных условиях эксплуатации. Прогнозная оценка показателя поддерживаемости изделия. | 200 |
| 14. | Оценка затрат на техническое обслуживание, коэффициента готовности изделия и показателя поддерживаемости изделия по результатам эксплуатации. | 500 |
| 15 | Разработка документа «План ИЛП». | 300 |

В отношении содержания таблицы 2 необходимо сделать следующие замечания:

1. Порядок расположения задач в таблице соответствует рекомендуемой последовательности их выполнения.

2. Задача 12 непосредственно не относится ни к одной из групп, перечисленных в таблице 1, однако ее выполнение является желательным в целях информационной интеграции технологии АЛП с другими технологиями ИЛП.
3. Определения понятий логистических структур и различных видов анализа приведены в Приложении.
4. Перечни и каталоги (см. задачу 10) получают как отчеты из БД АЛП.

АЛП не может рассматриваться как эпизодическая, разовая и притом факультативная деятельность. Напротив, АЛП есть неотъемлемая часть процессов разработки, изготовления и эксплуатации изделия. В связи с этим предприятие, имеющее серьезные намерения в отношении внедрения ИЛП и АЛП, обязано принять меры по организации соответствующих работ, создать или приобрести средства методического, программного и технического обеспечения.

В целом система задач АЛП и последовательность их выполнения построены так, чтобы снизить вероятность неудачных проектных решений, влияющих на эффективность эксплуатации изделия. Подобно тому, как международные стандарты серии ИСО 9000 направлены на построение системы менеджмента качества, обеспечивающей, в частности, возможность «адекватно демонстрировать потребителю способность управлять качеством», технологии и стандарты АЛП направлены на то, чтобы адекватно доказать заказчику, что поставщиком приняты все меры, обеспечивающие сокращение СЖЦ изделия, увеличение коэффициента готовности и показателя поддерживаемости.

2.2. Основные стадии процесса АЛП. Исполнители АЛП

Процесс АЛП можно условно разделить на подготовительную, основную и заключительную стадии.

На подготовительной стадии разрабатывают стратегию и план АЛП (задачи 1 и 2), создают проект АЛП и описывают сценарий использования изделия по назначению (задача 3).

На основной стадии решают задачи 4-13 из минимального перечня.

На заключительной стадии решают задачи 14 и 15, причем задача 14 позволяет оценить эффективность принятых решений по результатам фактической эксплуатации изделия и СТЭ.

Такое деление является условным, т.к. процесс АЛП является итеративным, и на любом этапе могут уточняться результаты предыдущего этапа и вноситься необходимые изменения.

В зависимости от типа проекта, сложности изделия, стадии ЖЦ изделия исполнителями задач АЛП могут быть разработчик (главный подрядчик), разработчики (поставщики,

субподрядчики) комплектующих и материалов, а также инженерный персонал заказчика. Часть задач выполняется объединенными рабочими группами, включающими представителей заказчика и главного подрядчика. Изделие, разрабатываемое главным подрядчиком и являющееся целью всего проекта и конечным продуктом для эксплуатанта, в контексте ИЛП и данного учебного курса называется **Финальным изделием (ФИ)**. Каждый субподрядчик проводит АЛП для своего изделия, являющегося компонентом ФИ. С точки зрения субподрядчика разрабатываемое им изделие называется **Конечное изделие (КИ)**.

Субподрядчик по требованию главного подрядчика может провести частичный или полный АЛП в отношении поставляемой им продукции. Он также должен предоставить всю необходимую информацию, касающуюся поставляемого оборудования: инженерные данные, в том числе спецификации, чертежи, структурные схемы изделия, расчеты и т.д.; технико-экономические данные, в том числе стоимость запчастей, затраты на капитальный ремонт и т.д.

Подрядчик, как правило, выполняет следующие функции АЛП:

- разработка и согласование с заказчиком стратегии и планов АЛП, в том числе полного перечня необходимых задач АЛП, сроков их выполнения и потребных ресурсов (финансовых и трудовых);
- подготовка и согласование с заказчиком распределения обязанностей по выполнению АЛП (перечни задач, выполняемых подрядчиком, заказчиком и объединенными рабочими группами);
- выполнение задач АЛП, предусмотренных перечнями;
- предоставление заказчику информации для АЛП в части, предусмотренной соответствующим перечнем, и контроль хода АЛП;
- выполнение при необходимости дополнительных задач АЛП помимо задач, указанных в плане АЛП и соответствующих перечнях;
- организация работы субподрядчиков по проведению АЛП.

Заказчик, как правило, выполняет следующие функции АЛП:

- участие в разработке стратегии и плана АЛП (в том числе, в определении целей, выборе задач АЛП, подлежащих выполнению, в определении сроков и финансовых ресурсов), согласование документов;
- участие в подготовке перечней задач АЛП, выполняемых подрядчиком, заказчиком и объединенными рабочими группами; согласование документов;
- выполнение задач АЛП, предусмотренных перечнями;
- предоставление подрядчику информации, необходимой для АЛП;
- контроль выполнения АЛП и оценка его результатов.

Заказчик должен предоставить описание условий будущей эксплуатации и имеющихся у него средств эксплуатации и ТОиР изделия. В зарубежной литературе документ, содержащий сведения такого рода, составляют на основе анализа возможных сценариев применения изделия по назначению⁶. Этот документ содержит технические и экономические данные, касающиеся организации эксплуатации изделия и требования к функционированию изделия, в том числе:

- сценарии, частота, средняя продолжительность использования нового изделия по назначению⁷;
- взаимодействие с другими системами;
- среда функционирования;
- имеющиеся трудовые ресурсы и ограничения и т.д.

Эта информация в дальнейшем используется при решении большинства задач из таблицы 2.

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите основные направления АЛП. На каком этапе разработки изделия должен начинаться АЛП?
2. Какие задачи необходимо решать в процессе АЛП согласно стандарту DEF STAN 00-60?
3. Перечислите задачи АЛП, включенные в минимальный перечень задач АЛП.
4. На какие стадии можно условно разделить процесс АЛП? Какие задачи из минимального перечня задач решаются на каждой стадии?
5. Какие функции АЛП выполняют разработчик и заказчик?

⁶ По терминологии, принятой в зарубежных документах, в частности, в [5], такой документ носит название «Use study» - «изучение использования» (буквальный перевод).

⁷ По терминологии, принятой в зарубежных документах, в частности, в [5], - миссии изделия.

3. Интегрированная информационная модель АЛП

Так как АЛП требует взаимодействия многих организаций и средств автоматической обработки данных, вся информация должна быть представлена в едином стандартизованном виде. Для этого необходима интегрированная информационная модель, описывающая все сущности, относящиеся к задачам АЛП, их атрибуты и отношения (связи) между ними. На основе этой информационной модели затем разрабатывают программное обеспечение БД АЛП и прикладные программы, решающие отдельные задачи АЛП.

Такая информационная модель создана в результате изучения и критического осмысления относящихся к информационным моделям положений некоторых зарубежных нормативных документов.

3.1. Основные положения некоторых зарубежных стандартов, относящиеся к информационным моделям

Как уже отмечалось во Введении, основные положения ИЛП регламентированы стандартом Министерства обороны Великобритании DEF STAN 00-60 [5], который практически стал международным и на нормы которого ссылаются иностранные заказчики, формулируя требования к ИЛП для отечественных изделий. Некоторым важным аспектам ИЛП посвящен нормативный документ НАТО [6], а также спецификации ASD S1000D [13] и S2000M [7]. Все эти документы в той или иной мере затрагивают вопросы информационного сопровождения процессов ИЛП и содержат сведения о рекомендуемых для этого информационных моделях.

Ниже рассматриваются некоторые положения указанных нормативных документов, относящиеся к информационным моделям АЛП.

В стандарте [5] для БД АЛП принята реляционная модель данных. Основанная на этой модели информационная модель⁸, предложенная в [5], содержит 108 реляционных таблиц, разбитых на 11 групп. Связь между таблицами осуществляется посредством ключевых полей. Для представления данных в БД АЛП при выполнении различных видов анализа используются понятия «Элемент данных – ЭЛД» (Data Element) и «Определение элемента данных» (DED – Data Element Definition). В стандарте приводится словарь ЭЛД, общее количество которых более 600. Благодаря такому обилию ЭЛД и множеству таблиц информационная модель позволяет отобразить и хранить в БД АЛП все данные, относящиеся к изделию, его структурам, компонентам (в том числе – для различ-

⁸ В работах, посвященных теории и практике баз данных, информационную модель иногда называют информационно-логической или инфологической моделью.

ных конфигураций) и их свойствам, сведения обо всех видах логистических ресурсов (материальных, трудовых и др.) и процессах ИЛП, данные об организациях – поставщиках и заказчиках изделия, комплектующих изделий и материалов, о процессах эксплуатации, ТОиР и МТО и т.д.

Иными словами, информационная модель стандарта [5] с избытком покрывает все информационные потребности АЛП и ИЛП в целом. Однако это, на первый взгляд, положительное свойство модели одновременно является и ее недостатком, поскольку многие данные в ней являются избыточными. Кроме того, информационной модели [5] присущ и органический недостаток, связанный с применением реляционной модели данных.

Принятая в этом стандарте реляционная модель данных на момент создания первых его редакций (конец 80-х – начало 90-х XX века) была наиболее прогрессивной в отношении способов хранения и управления данными. Однако, в последние годы появилась альтернатива этой модели – объектно-ориентированные модели данных и соответствующие БД (ООБД). Несмотря на то, что технологии ООБД еще находятся в стадии становления, следует отметить ряд их принципиальных преимуществ перед реляционными БД (РБД) [20, 21].

Дело в том, что в РБД объекты реального мира представляются как структуры, состоящие из наборов элементарных типов данных (в нашем случае - ЭЛД). Такое представление имеет понятную интерпретацию – строка в плоской таблице. Если специфика предметной области позволяет работать с такого рода представлением реальных объектов, то РБД отлично справляются со своей задачей. Однако описание в виде набора плоских таблиц во многих случаях не отражает внутренней структуры предметной области, является искусственным и становится совершенно непонятным при увеличении числа таблиц. Именно такая ситуация имеет место с реляционной моделью данных, принятой в БД АЛП по стандарту [5]. Иными словами, основной недостаток реляционной модели заключается в слишком сильной абстракции реального объекта, что ведет к потере семантики. Кроме того, имеет место и такой «технический» аспект: программное обеспечение РБД обычно оказывается жестко завязанным на структуру реляционных таблиц. Если в дальнейшем появится необходимость изменить эту структуру, то все программное обеспечение придется переделывать.

В то же время ООБД, в отличие от РБД, имеют простую и естественную связь с предметной областью, наглядно представляя ее структуру и состав. Применительно к такой сложной неоднородной предметной области, какой являются ИЛП в целом и АЛП в частности, использование ООБД должно упростить процессы создания БД, внесения изменений в структуру и состав данных без переделки программного обеспечения и положительно сказаться на понимании пользователями принципов функционирования программ, обеспечивающих работу с данными.

Можно предположить, что подобные соображения привели к тому, что в более поздних по сравнению с [5] нормативных документах приняты объектно-ориентированные модели данных.

Так, например, объектно-ориентированная модель данных положена в основу информационной модели, используемой в спецификации [13]. Эта спецификация регламентирует структуру *общей базы исходных данных* (CSDB – Common Source Data Base), используемой для подготовки эксплуатационной документации. Основной информационной единицей – информационным объектом общей базы исходных данных (и формируемой на ее основе документации) является *модуль данных* (МД). Совокупность определенным образом отобранных и структурированных МД образует электронную публикацию.

Информационная модель ASD S1000D представляет собой набор схем, описывающих стандартные типы МД, принятые в спецификации, и в структурированном виде содержит множество информационных объектов (с атрибутами) и связей между ними, охватывающих различные аспекты, касающиеся как самого изделия, так и процессов его эксплуатации и технического обслуживания, которые затем находят отражение в ЭЭД. Следует подчеркнуть, что все схемы, образующие модель, легко читаются и понятны как разработчику, так и пользователю ЭЭД и Общей базы исходных данных.

Основным идентификатором при помещении данных в БД АЛП является логистический контрольный номер (ЛКН). С помощью ЛКН идентифицируются элементы структуры анализируемого изделия, в которую, помимо компонентов самого изделия, может включаться и вспомогательное оборудование, необходимое для эксплуатации этого изделия. Для идентификации вариантов исполнения элементов структуры служит альтернативный логистический контрольный номер (АЛКН).

Международная спецификация ASD S2000M [7] описывает процессы и процедуры МТО в рамках поддержки ЖЦ изделий авиационной промышленности. Спецификация не описывает какой-либо информационной модели, а регламентирует лишь номенклатуру необходимых данных, оставляя выбор способа формирования и хранения информации на усмотрения пользователя.

К формированию информационной модели АЛП имеет отношение первый раздел S2000M – «Начальное МТО», который описывает порядок сбора, представления и обмена данными о начальном МТО.

Для каждого изделия, включаемого в перечень начального МТО, определяется набор данных, представляющий собой совокупность ЭЛД. Часть ЭЛД является обязательной для всех изделий, часть необходима только для изделий, рекомендованных к поставке в качестве запчастей, часть – для изделий, удовлетворяющих какому-либо условию. ЭЛД представляются в таблицах, форма которых регламентирована спецификацией. Все элементы данных, используемые в [7], описаны в отдельном словаре данных.

Спецификация NATO Product Data Model (NPDM) [6] представляет собой концептуальную модель инженерных данных, предназначенную для информационного сопровождения ЖЦ продукции военного назначения. NPDM построена на основе идеологии и интегрированных ресурсов, регламентированных в серии стандартов ИСО 10303

(STEP), и содержит понятия (сущности) и связи между ними, относящиеся к задачам ИЛП.

Модель NPDM включает набор схем, разработанных с использованием специального языка EXPRESS-G, предназначенного для описания объектно-ориентированных моделей данных. Руководство по EXPRESS-G содержится в стандарте ГОСТ Р ИСО 10303-11 [22].

В NPDM изделие рассматривается с трех точек зрения (view): *заказчика* (as required – как требуется), *разработчика* (as designed – как спроектировано) и *эксплуатанта* (as built/as used – как изготовлено/как используется), соответствующих разным стадиям ЖЦ.

NPDM отображает предполагаемые условия использования (*usage_scenario*) и требуемые тактико-технические характеристики (*specification*) изделия. Описываются конкретные экземпляры или партии изделий (*product_instance*). Далее в модели описываются возможные проблемы (*anomaly*) – нежелательные события (отказы, повреждения и т.д.), которые могут иметь место при эксплуатации изделия. Определен состав работ (*task*) и ресурсы, необходимые для предотвращения или минимизации вероятности возникновения этих нежелательных событий и для ликвидации их последствий. Для планирования деятельности по обслуживанию экземпляра изделия и оптимизации эксплуатации в модели отображается мониторинг его состояния и использования (*usage_status, maintenance_status*).

В основе организации работ по АЛП лежит процедура структурирования конечного изделия, т.е. разбиение его на функциональные и физические компоненты, оказывающие влияние на надежность и работоспособность изделия и, в конечном счете, на его поддерживаемость. Поэтому в модели NPDM введен дополнительный механизм логического разбиения структуры изделия. Произвольная структура описывается при помощи объектов **разбиение** (BREAKDOWN) и **элемент разбиения** (ELEMENT).

В целом информационная модель NPDM охватывает большую часть данных, наиболее значимых для АЛП, но отличается некоторой избыточностью объектов и отношений, что может вызвать трудности при разработке прикладных программ на ее основе.

3.2. Интегрированная информационная модель

На основе анализа достоинств и недостатков информационных моделей, описанных в зарубежных нормативных документах, специалистами НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика» разработана собственная интегрированная информационная модель АЛП.

Модель является объектно-ориентированной и состоит из ряда схем, разработанных, как и схемы NPDM, с использованием языка EXPRESS-G. На рис. 3-1 – рис. 3-5 представлены упрощенные схемы с набором основных объектов и атрибутов, необходимых

для решения задач АЛП. Эта модель может быть дополнена другими объектами, атрибутами и отношениями в зависимости от целей конкретного проекта, требований заказчика и т.д. Интегрированная модель предполагает возможность автоматического получения из БД, разработанной на её основе, необходимых отчетов, в том числе перечня начального МТО.

Из анализа задач АЛП и нормативных документов следует, что в интегрированной информационной модели должны, как минимум, присутствовать объекты, описывающие:

- структуру изделия и его компоненты;
- систему эксплуатации заказчика, имеющиеся ресурсы;
- параметры предполагаемого использования изделия по назначению;
- свойства (характеристики) изделия, связанные с поддерживаемостью;
- виды отказов изделия и его компонентов, взаимосвязи между отказами;
- работы, планируемые на изделии, и внеплановые работы;
- ресурсы, необходимые для эксплуатации и обслуживания изделия.

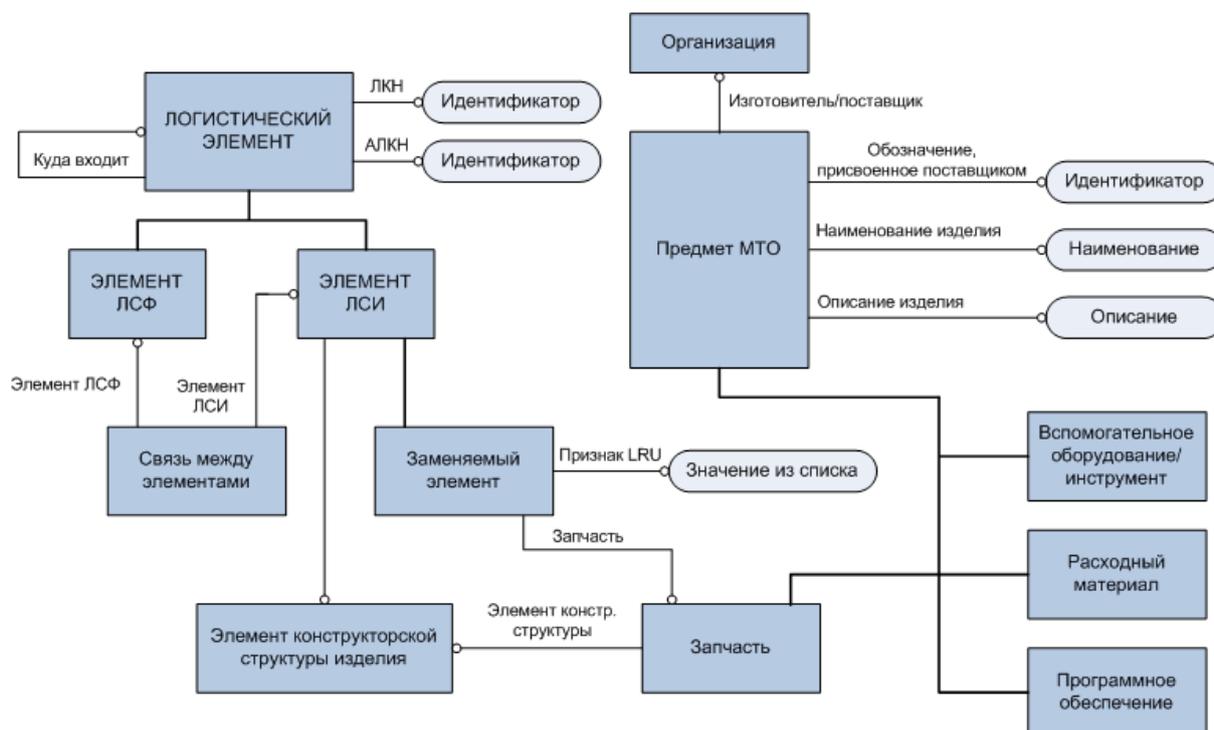


Рис. 3-1. Информация о структуре изделия и предметах МТО

Основным в интегрированной информационной модели является объект ЛОГИСТИЧЕСКИЙ_ЭЛЕМЕНТ, который используется для структурирования и анализа изделия (рис. 3-1). Для описания структуры (входимости) элементов служит атрибут объекта «куда входит». С помощью объектов этого типа можно построить структуры разных типов, предназначенные для разных видов анализа. В модели выделены два основных подтипа объекта ЛОГИСТИЧЕСКИЙ_ЭЛЕМЕНТ, предназначенные для построения

логистической структуры изделия (ЛСИ) и логистической структуры функций (ЛСФ)⁹: объекты ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ и ЭЛЕМЕНТ_ЛСФ. Основными идентифицирующими атрибутами объекта ЛОГИСТИЧЕСКИЙ_ЭЛЕМЕНТ являются ЛКН и АЛКН, которые выбраны для приведения информационной модели в соответствие с требованиями [5].

Стандарты в области АЛП рекомендуют начинать выполнение анализа на самых ранних стадиях разработки изделия. Для проектов, связанных с разработкой принципиально нового изделия, на начальном этапе АЛП, когда существует только замысел изделия, разработчики оперируют функциональными требованиями к изделию, полученными из анализа потребностей заказчиков и/или маркетинговых исследований. Для описания функциональных требований (свойств) изделия в информационной модели используется объект ЭЛЕМЕНТ_ЛСФ, с помощью которого строится ЛСФ. Каждый экземпляр объекта ЭЛЕМЕНТ_ЛСФ соответствует определенной функции изделия. ЛСФ используется для оценки функциональной полноты конструкции изделия, а также для выполнения предварительного анализа надёжности изделия, например, для АВПКО (раздел 4.5).

На этапах разработки эскизного и технического проекта формируется конструкторская структура изделия, удовлетворяющая предъявленным функциональным и другим требованиям. Объект ЭЛЕМЕНТ_КОНСТРУКТОРСКОЙ_СТРУКТУРЫ_ИЗДЕЛИЯ необходим для связи между конструкторской и логистической структурами. Для целей АЛП на базе конструкторской структуры строится ЛСИ, состоящая из объектов ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ. В ЛСИ включаются все элементы из конструкторской структуры, значимые для обслуживания изделия в процессе эксплуатации. Связь между объектами ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ и ЭЛЕМЕНТ_КОНСТРУКТОРСКОЙ_СТРУКТУРЫ_ИЗДЕЛИЯ осуществляется с помощью атрибута «*элемент конструкторской структуры*» первого объекта.

Одним из этапов функционального анализа является установление соответствий между элементами ЛСФ и ЛСИ. Для этого предназначен объект СВЯЗЬ_МЕЖДУ_ЭЛЕМЕНТАМИ. Связи между элементами этих структур позволяют ответить на вопрос, какие элементы изделия отвечают за выполнение каждой функции. Эта информация необходима для оценки функциональной полноты конструкции и проведения АВПКО.

В процессе АЛП в ЛСИ выделяются элементы, которые могут подвергаться заменам при обслуживании. Такие элементы описываются объектом ЗАМЕНЯЕМЫЙ_ЭЛЕМЕНТ. С помощью специальных расчетов определяется рекомендуемая периодичность обслуживания/замены элемента и потребность в запчастях в процессе эксплуатации. Атрибут «*признак LRU*» позволяет указать, может ли замена осуществляться на площадке базирования изделия силами экипажа или технического персонала или замена должна производиться только в специальной ремонтной организации (на заводе).

⁹ Определения логистических структур – см. Приложение.

Если для элемента рассчитана ненулевая потребность в запчастях, то это говорит о том, что изделие (элемент конструкторской структуры), соответствующее этому логистическому элементу, будет поставляться заказчику отдельно в качестве запчасти. Объект, описывающий параметры элемента конструкторской структуры, связанные с его поставкой в качестве запчасти, называется ЗАПЧАСТЬ и является одним из нескольких подтипов объекта ПРЕДМЕТ_МТО. Объекты ЗАПЧАСТЬ и ЗАМЕНЯЕМЫЙ_ЭЛЕМЕНТ связаны отношением «один ко многим», т.е. один экземпляр объекта ЗАПЧАСТЬ может быть связан с одним или несколькими экземплярами объекта ЗАМЕНЯЕМЫЙ_ЭЛЕМЕНТ. Это связано с тем, что одно изделие может быть установлено в разных местах конструкции и при выполнении АЛП будет рассматриваться как несколько разных логистических элементов (например, датчик температуры определенного типа, установленный в нескольких местах в кабине самолета и в отсеке оборудования). Рекомендуемые объемы запаса (одноименные атрибуты объекта ЗАПЧАСТЬ) определяются путём суммирования потребностей для каждого места конструкции, где установлено это изделие.

Объект ПРЕДМЕТ_МТО описывает изделие, поставляемое заказчику в процессе начального и/или текущего МТО. Поставляемое изделие может быть компонентом конечного изделия (объект ЗАПЧАСТЬ), вспомогательным оборудованием или инструментом, необходимым для обслуживания изделия в процессе эксплуатации, расходным материалом или программным обеспечением. Объект ПРЕДМЕТ_МТО имеет несколько атрибутов, общих для поставляемых изделий всех типов: наименование, описание, изготовитель/поставщик (ссылка на объект ОРГАНИЗАЦИЯ), обозначение, присвоенное поставщиком. Перечень данных, описывающих объекты ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ_ОБОРУДОВАНИЕ/ИНСТРУМЕНТ, РАСХОДНЫЙ_МАТЕРИАЛ и ПРОГРАММНОЕ_ОБЕСПЕЧЕНИЕ, зависит от конкретного проекта и должен определяться по согласованию между поставщиком и заказчиком.

Для расчета таких параметров, как потребность в запчастях и других ресурсах (например, расходных материалах), а также СЖЦ изделия, необходимо знать некоторые параметры системы эксплуатации, применяемой заказчиком, и то, как и с какой интенсивностью заказчик предполагает эксплуатировать конечное изделие. Для этих целей служат объекты ПРОЕКТ и СЦЕНАРИЙ_ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (рис. 3-2).



Рис. 3-2. Проект и сценарий использования изделия

При описании проекта можно задать продолжительность начального МТО, стоимость помещений для хранения запаса, используемую валюту. С проектом связан СЦЕНАРИЙ_ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, с помощью которого задается количество конечных изделий (КИ), эксплуатируемых по данному сценарию, средняя наработка одного КИ в год, единицы измерения наработки и т.д. В рамках сценария использования можно описать МИССИЮ¹⁰, которую будет выполнять КИ в процессе эксплуатации, а также отдельные ФАЗЫ_МИССИИ. Каждая фаза занимает определённый промежуток времени в течение миссии, который задаётся в процентах от времени миссии (атрибут «доля %» объекта ФАЗА_МИССИИ).

С каждым ЛОГИСТИЧЕСКИМ_ЭЛЕМЕНТОМ могут быть связаны различные показатели надёжности, значения которых могут быть получены путём сравнения с аналогами, из расчетов, испытаний или реальной эксплуатации изделия. Для документирования этих параметров используется объект ПОКАЗАТЕЛЬ_НАДЁЖНОСТИ, который имеет подтипы ИНТЕНСИВНОСТЬ_ОТКАЗОВ (показатель безотказности), СРЕДНЯЯ_ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ_НЕПЛАНОВОГО_ОБСЛУЖИВАНИЯ (показатель ремонтпригодности), СРЕДНИЙ_РЕСУРС и СРЕДНИЙ_СРОК_СЛУЖБЫ (показатели долговечности) (рис. 3-3). Для каждого из этих объектов можно задать тип значения (требование, сравнительный анализ, расчет, испытания, реальная эксплуатация) и конкретизировать источник данных.

¹⁰ Определение миссии – см. Приложение.

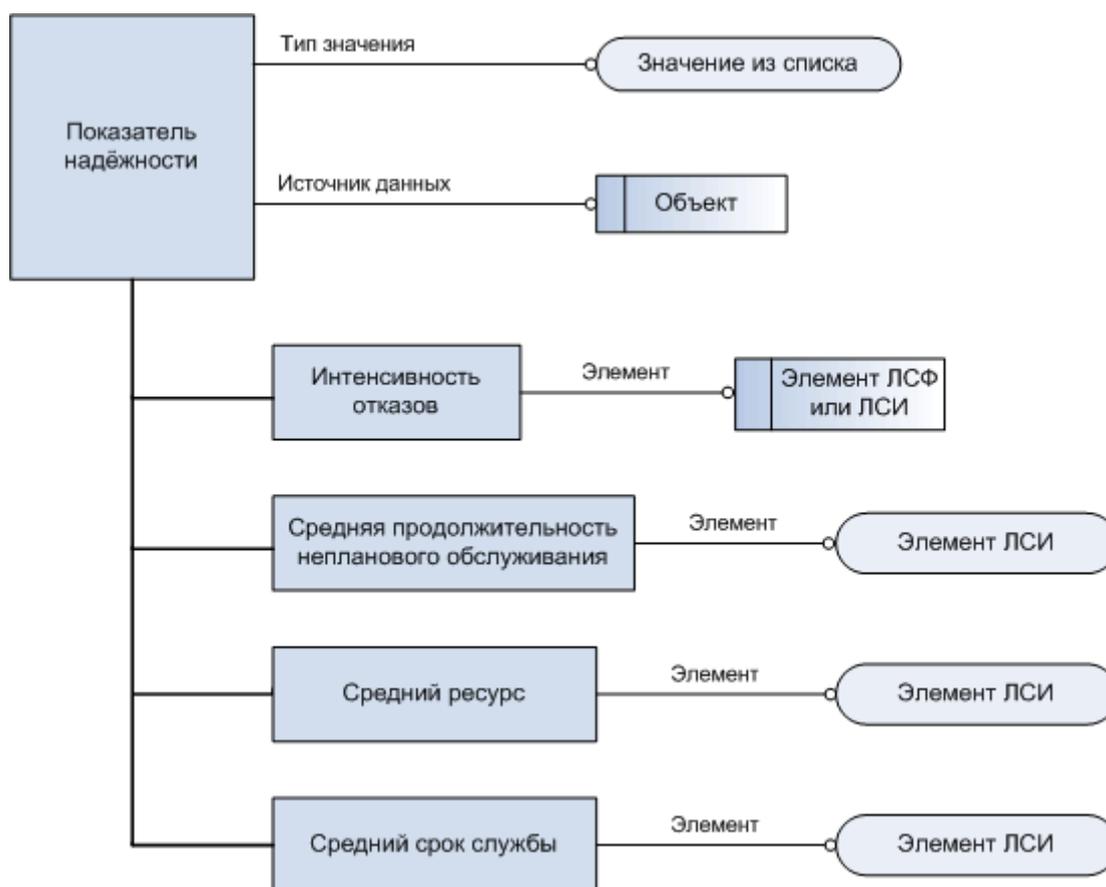


Рис. 3-3. Показатели надежности

Для описания возможных видов отказов элементов ЛСФ и ЛСИ служит объект ВИД_ОТКАЗА, имеющий два подтипа – ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ_ВИД_ОТКАЗА и ПЕРВИЧНЫЙ_ВИД_ОТКАЗА (рис. 3-4). Первым объектом описываются виды отказов элементов всех уровней разукрупнения, кроме самого нижнего. Отличительной чертой промежуточных отказов является то, что их причиной является отказ элемента нижнего уровня разукрупнения, задаваемый с помощью объекта ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННАЯ_СВЯЗЬ. Объектом ПЕРВИЧНЫЙ_ВИД_ОТКАЗА описываются отказы элементов самого нижнего уровня разукрупнения (деталей), для которых указывается первичная причина отказа (например, «выбран материал с недостаточной прочностью»). Объект ПРОЯВЛЕНИЕ может описывать как непосредственно внешние проявления отказа (задымление, стук и т.д.), так и сигналы от встроенных устройств диагностики (систем объективного контроля – СОК). Для проявления можно указать код, описание, метод обнаружения (визуально, встроенными средствами и т.д.), а также указать элемент структуры, являющийся встроенным устройством диагностики. ПРОЯВЛЕНИЕ может быть связано с одним или несколькими объектами ВИД_ОТКАЗА с помощью объекта СВЯЗЬ_ПРОЯВЛЕНИЯ_И_ВИДА_ОТКАЗА. Каждый вид отказа, в свою очередь, может иметь одно или несколько проявлений.

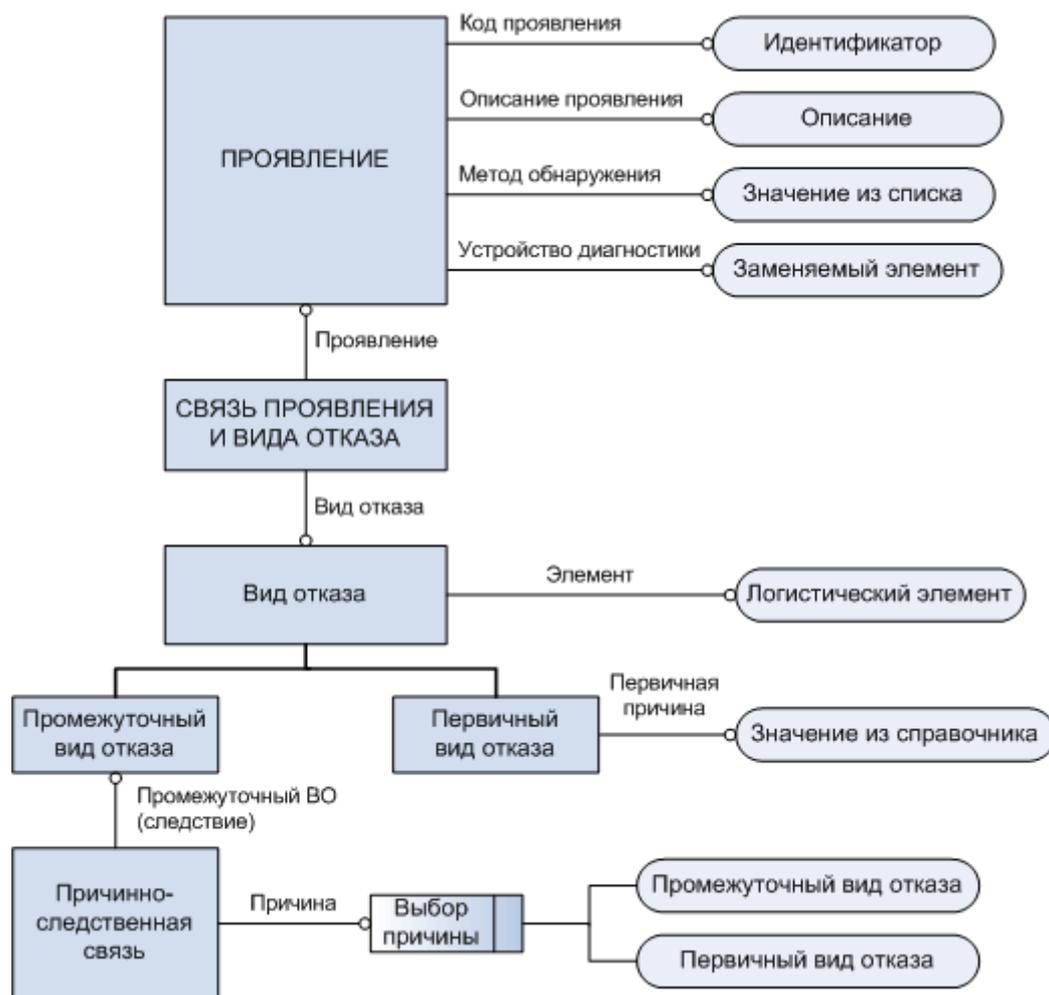


Рис. 3-4. Описание видов отказов элементов

На рис. 3-5 приведена схема описания работ по обслуживанию, которые должны выполняться при эксплуатации изделия. Перечень необходимых работ формируется на основе АВПКО и расчета рекомендуемой периодичности обслуживания. Объект ПРОЦЕДУРА_ОБСЛУЖИВАНИЯ описывает определённую регламентную работу. Для летательных аппаратов это может быть предполётная или послеполётная подготовка, оперативное или периодическое обслуживание, работа, выполняемая при хранении и т.д. Процедура обслуживания описывает работы для всего КИ в целом, поэтому связывается не с логистическим элементом, а с проектом. Для каждой процедуры можно указать номер (обозначение), наименование, тип, а также периодичность или условие, при котором должны выполняться работы, перечисленные в процедуре (атрибут «периодичность»).

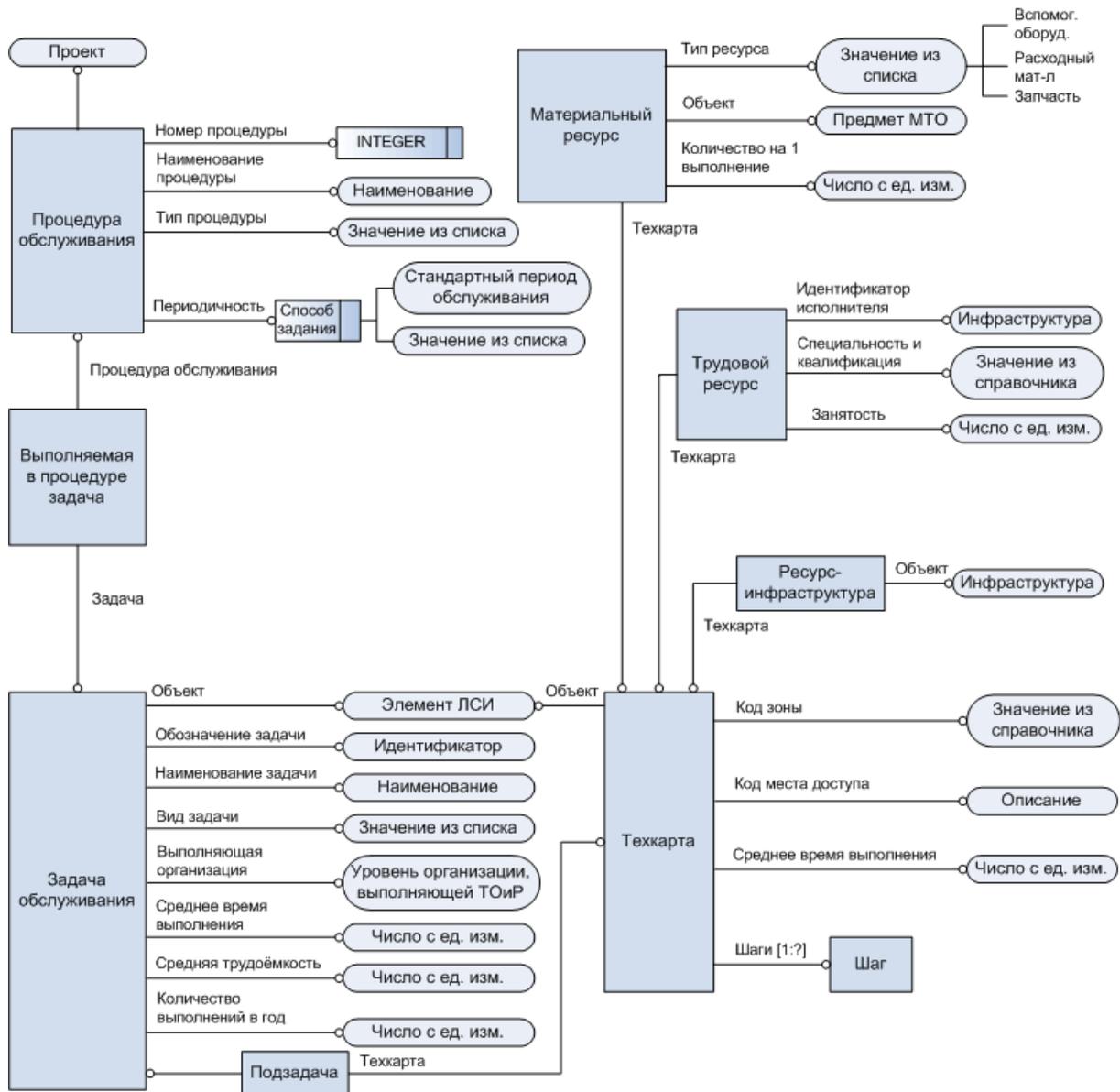


Рис. 3-5. Описание регламента, задач обслуживания, технологических карт и ресурсов

Объект ПРОЦЕДУРА_ОБСЛУЖИВАНИЯ включает в себя перечень задач обслуживания с указанием последовательности их выполнения (с помощью объекта ВЫПОЛНЯЕМАЯ_В_ПРОЦЕДУРЕ_ЗАДАЧА). Объект ЗАДАЧА_ОБСЛУЖИВАНИЯ связан с ЭЛЕМЕНТОМ_ЛСИ и описывает определённую работу на системе, подсистеме или изделии, выполняемую целиком в рамках одной или нескольких процедур. Для задачи указываются обозначение, наименование, вид задачи, организация, которая должна её выполнять (уровень обслуживания). Количество выполнений задачи в год рассчитывается с учётом того, в рамках каких процедур выполняется задача, и планируемой интенсивности эксплуатации изделия (задаётся объектом СЦЕНАРИЙ_ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (рис. 3-2)). Средняя трудоёмкость и время выполнения задачи могут задаваться специалистами по эксплуатации или рассчитываться автоматиче-

ски в зависимости от трудоёмкости и продолжительности выполнения подзадач, составляющих задачу.

Каждая задача может быть разбита на ряд ПОДЗАДАЧ. Объект ПОДЗАДАЧА служит связующим звеном между объектами ЗАДАЧА_ОБСЛУЖИВАНИЯ и ТЕХКАРТА. Одна технологическая карта может выполняться в рамках нескольких задач обслуживания и, следовательно, будет связана с несколькими подзадачами. С помощью объекта ТЕХКАРТА описывается технология выполнения определённой работы для элемента ЛСИ, указанного в атрибуте «*объект*». С каждым элементом ЛСИ может быть связано произвольное количество технологических карт, описывающих, например, работы по замене, очистке, осмотру, ремонту и т.п. Атрибуты объекта ТЕХКАРТА предназначены для описания технологии (шаги), места (код зоны и код места доступа) и продолжительности выполнения работы. Подробное описание технологии выполнения работы разбивается на необходимое количество шагов, каждый из которых описывается объектом ШАГ.

Таким образом, объект ПРОЦЕДУРА_ОБСЛУЖИВАНИЯ служит для задания периодичности выполнения работ на КИ, объект ЗАДАЧА_ОБСЛУЖИВАНИЯ необходим для группирования технологических карт, выполняемых одновременно, и распределения их по процедурам обслуживания. Технология выполнения работы и необходимые для этого ресурсы описываются объектом ТЕХКАРТА.

Ресурсы описываются специальными объектами МАТЕРИАЛЬНЫЙ_РЕСУРС, ТРУДОВОЙ_РЕСУРС, РЕСУРС_ИНФРАСТРУКТУРА, связанными с объектом ТЕХКАРТА. Объект МАТЕРИАЛЬНЫЙ_РЕСУРС служит для задания необходимых запчастей, вспомогательного оборудования и инструментов. Каждый экземпляр этого объекта атрибутом «*объект*» ссылается на ПРЕДМЕТ_МТО, являющийся ресурсом, а в атрибуте «*количество_на_1_выполнение*» указывается количество данного ресурса, необходимое для одного выполнения работы, описанной в технологической карте. С помощью объекта ТРУДОВОЙ_РЕСУРС указываются специальности и квалификации для каждого исполнителя, необходимого для выполнения работы, описанной в технологической карте, а также занятость исполнителя. Объект РЕСУРС_ИНФРАСТРУКТУРА связывает технологическую карту с объектом, описывающим здание, сооружение, ангар, навес и т.д., в котором должна выполняться работа.

Вопросы для самопроверки:

1. Для чего нужна интегрированная информационная модель АЛП?
2. Какие нормативные документы содержат сведения об информационных моделях ИЛП? Какие модели данных описываются в этих документах?
3. Какие объекты должны присутствовать в информационной модели ИЛП?
4. Какой объект является основным в интегрированной информационной модели, разработанной специалистами НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика»?

5. Для каких целей служат объекты ПРОЕКТ и СЦЕНАРИЙ_ИСПОЛЬЗОВАНИЯ в представленной информационной модели АЛП?
6. Какие показатели надежности могут быть связаны с объектом ЛОГИСТИЧЕСКИЙ_ЭЛЕМЕНТ в представленной информационной модели АЛП?
7. С помощью какого объекта описываются возможные виды отказов элементов ЛСФ и ЛСИ?
8. Как в предложенной информационной модели описываются работы по обслуживанию, которые должны выполняться при эксплуатации изделия?

4. Решение задач АЛП

В этом разделе подробно описываются задачи АЛП, входящие в минимальный перечень (см. раздел 2, табл. 2), и методики их решения.

4.1. Разработка документа «Стратегия АЛП»

Стратегия АЛП разрабатывается на ранних стадиях создания проекта изделия, предназначена для применения на всех стадиях ЖЦ изделия и призвана определить задачи АЛП, решаемые в проекте. Стратегию АЛП может разрабатывать подрядчик (разработчик изделия), заказчик или совместная рабочая группа. Принятые решения оформляют в виде документа «Стратегия АЛП».

Документ «Стратегия АЛП» должен содержать:

- определение целей АЛП, в частности, требуемые значения показателя поддерживаемости изделия и входящих в этот показатель величин (в том числе коэффициента готовности и СЖЦ изделия);
- методику расчетной оценки показателя поддерживаемости;
- оценку рисков, связанных с недостижением целей АЛП;
- перечень и описание задач АЛП, выполняемых на каждой стадии ЖЦ изделия;
- распределение задач АЛП по исполнителям (заказчик, подрядчик или совместная рабочая группа).

При формировании перечня задач АЛП следует учитывать:

- особенности предполагаемой функциональности и конструкции разрабатываемого изделия, концепции обслуживания изделия, результаты предварительной оценки его надежности, ремонтпригодности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности, готовности, а также затрат и потребностей в логистических ресурсах (на основе анализа изделий-аналогов);
- информацию о наличии, точности и достоверности данных для указанной оценки;
- возможность влияния результатов АЛП на конструкцию изделия и организацию СТЭ;
- другие факторы.

При разработке стратегии АЛП следует оценить затраты на выполнение каждой выбранной задачи, проанализировать эффективность этих затрат и сопоставить их с имеющимися ограничениями по финансированию. Следует также оценить ограничения по времени выполнения задач в рамках общего графика работ по проекту. Задачи, тре-

бующие чрезмерных затрат и оказывающие критическое влияние на график работ по проекту, рекомендуется не включать в перечень задач АЛП.

В стратегию АЛП периодически вносят изменения и уточнения. Основанием для изменений и уточнений могут служить:

- результат уже проведенного АЛП (на предшествующих стадиях ЖЦ изделия);
- уточнение графика работ по проекту изделия;
- другие изменения, возникающие в ходе реализации проекта изделия.

Изменения и уточнения в документ «Стратегия АЛП» могут вноситься вплоть до начала разработки технического проекта и/или рабочей конструкторской документации на изделие. Изменения и уточнения вносит разработчик этого документа.

Исходными данными для выполнения задачи являются:

- сведения об условиях эксплуатации изделий-аналогов;
- выводы по результатам АЛП и реальной эксплуатации изделий-аналогов;
- допустимый объем финансирования и ограничения на сроки выполнения АЛП, связанные с графиком работ по проекту (предоставляет заказчик);
- информация о планируемых исполнителях задач АЛП (предоставляет подрядчик/заказчик);
- информация о предполагаемой стоимости и времени выполнения выбранных задач АЛП (предоставляет подрядчик/заказчик);
- другая информация, имеющаяся у заказчика или подрядчика.

Результат выполнения задачи: документ «Стратегия АЛП» с последующими изменениями и дополнениями к нему, который является основным источником информации при разработке плана АЛП.

4.2. Разработка документа «План АЛП»

План АЛП развивает положения стратегии АЛП, объединяет все задачи АЛП, определяет действия и ответственность при управлении процессом АЛП, описывает подходы к реализации этого процесса, а также его стадии и этапы. План АЛП разрабатывает подрядчик на основании стратегии АЛП на ранних стадиях ЖЦ изделия (аванпроект, техническое предложение). План АЛП согласуется с заказчиком. План АЛП должен демонстрировать заказчику, как подрядчик будет выполнять его требования в отношении АЛП.

Документ «План АЛП» может включать:

- описание организационных структур, ответственных за выполнение АЛП;
- описание последовательности и порядка (сценария) выполнения выбранных задач АЛП;

- состав исполнителей задач АЛП и порядок контроля их выполнения;
- графики выполнения задач АЛП с указанием моментов времени начала и завершения;
- описание взаимосвязи графиков АЛП с графиками других работ по проекту;
- описание информационных взаимосвязей данных и задач АЛП с данными и задачами других процессов проекта;
- предварительный перечень элементов структуры изделия (элементов-кандидатов, ЭК), в отношении которых будет проводится АЛП, предложения по системе кодирования элементов;
- описание способов доведения требований к подерживаемости до разработчиков изделия и субподрядчиков, способов контроля за выполнением этих требований;
- перечень данных, которые заказчик должен предоставить подрядчику для выполнения АЛП;
- требования к оборудованию, предоставляемому заказчиком, и к оборудованию, предоставляемому субподрядчиками;
- описание процедур документирования выявленных в процессе АЛП недостатков конструкции, влияющих на подерживаемость изделия, рекомендаций и мер по улучшению конструкции;
- краткое описание программных средств, которые будут использоваться для проведения АЛП;
- описание БД АЛП и системы управления БД АЛП.

В план АЛП периодически вносят изменения и уточнения на основаниях, указанных в п. 4.1.

Исходными данными для разработки плана АЛП являются:

- стратегия АЛП (результат задачи по п. 4.1);
- требования заказчика к плану АЛП и к процедурам его изменения и уточнения;
- предложения заказчика по организации проведения АЛП;
- период, на который разрабатывается план АЛП (по согласованию между заказчиком и подрядчиком);
- требования к подерживаемости изделия (из контракта, технического задания и т.п.);
- планируемый график работ по проекту.

Результат выполнения задачи: документ «План АЛП» с последующими изменениями и дополнениями к нему, являющийся основным документом для реализации проекта АЛП (см. ниже).

При наличии в организации, выполняющей АЛП, соответствующих программных средств и БД АЛП работы по составлению плана АЛП могут проводиться с использованием этих средств. При этом некоторые разделы документа «План АЛП» могут быть сформированы как отчеты из БД АЛП.

4.3. Создание проекта АЛП. Описание сценария использования изделия по назначению

Выполнение АЛП и заполнение БД АЛП проводится в соответствии с документами «Стратегия АЛП» и «План АЛП» и должно начинаться на ранних этапах разработки изделия (аванпроект, эскизный проект).

Для начала работ специалисты подразделения АЛП¹¹ создают в БД АЛП новый раздел – проект АЛП «Финальное изделие ХХХ¹²» (ФИ) (далее «Проект АЛП») и вносят в него следующие данные (в том числе – из указанных выше документов):

- обозначение ФИ (код-акроним финального изделия – КАФИ);
- полное наименование ФИ;
- анализируемая версия ФИ (если известна);
- структура ЛКН;
- другая необходимая информация.

При анализе изделия, предназначенного для поставки конкретному заказчику, в Проект АЛП вносят следующие данные:

- идентификационные атрибуты заказчика (наименование, код, адрес и т.д.);
- идентификатор поставляемой конфигурации (код конфигурации);
- описание условий поставки;
- номер контракта;
- период начального МТО;
- валюта поставки;
- и др.

Пример экранной формы «Проект АЛП» в программном продукте (ПП) LSA Step Suite (LSS), разработанном НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», приведен на рис. 4-1¹³.

¹¹ Подразделение АЛП – подразделение, отвечающее за выполнение АЛП в целом и поддержание БД АЛП (подробнее см. раздел 5).

¹² ХХХ, как правило, совпадает с кодом-акронимом финального изделия (КАФИ).

¹³ Подробности применения ПП LSS описаны в разделе 6.

Проект

- Данные о проекте
- Сценарий использования

Логистическая...

- Структура изделия
- Структура функций
- Соответствие структур
- Редактор ЭК

АВПКО

- АВПО - АВПКО
- Функциональные отказы (ЛСФ)
- Конструктивные отказы (ЛСИ)
- Первичные причины отказов
- Компенсирующие конструктивные меры
- Компенсирующие действия персонала

ТОИР

- Периоды обслуживания

Конечное изделие

КАФИ: Версия:

Наименование:

Параметры проекта

Заказчик:

Описание поставки:

Вид Вооруженных Сил:

Номер контракта на поставку: Код конфигурации:

Единица измерения наработки: Коэф. для перевода в часы:

Период начального МТО (мес): Номер проекта НМТО:

Валюта:

Стоимость 1м3 помещений для хранения запаса в год:

Кодирование элементов

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Структура ЛКН ЛСФ: | <input type="text" value="3"/> | <input type="text" value="2"/> |
| Структура ЛКН ЛСИ: | <input type="text" value="1"/> | <input type="text" value="2"/> | <input type="text" value="3"/> | <input type="text" value="4"/> | <input type="text" value="5"/> | <input type="text" value="6"/> | <input type="text" value="7"/> | <input type="text" value="8"/> | <input type="text" value="9"/> |
| Структура функций: ЛКН: | <input type="text" value="F21"/> | | | | | | | | |
| Структура изделия: ЛКН: | <input type="text" value="21"/> | | | | | | | | |

Готово

Рис. 4-1. Пример экранной формы для ввода данных Проекта АЛП в программном продукте LSS

Для целей АЛП ФИ разбивается на отдельные крупные системы (например, в соответствии с положениями стандарта [13]). Все данные, относящиеся к АЛП определенной системы ФИ, составляют в БД АЛП (в разделе «Проект АЛП») подмножество «Проект по системе [наименование и/или кодовое обозначение системы]».

Далее на основе данных, полученных в ходе изучения условий эксплуатации изделия у будущего заказчика, разрабатывают сценарий использования изделия по назначению. Сведения о сценарии заносят в БД АЛП, в том числе:

- наименование сценария;
- описание сценария;
- количество ФИ, эксплуатируемых по сценарию;
- географический район эксплуатации;
- единицы измерения наработки;
- коэффициент для перевода наработки в часы (календарного времени);
- средняя наработка в год;
- описание миссии;

- фазы миссии;
- средняя наработка за миссию;
- количество миссий в год;
- и др.

На ранних этапах разработки, когда фактические параметры эксплуатации еще достоверно не известны, в БД АЛП могут быть введены параметры типового сценария использования, разработанного, например, для целей анализа надежности. В дальнейшем эти параметры подлежат уточнению. Проект АЛП для базовой конфигурации ФИ и типового сценария использования может быть назван «Типовой (базовый) Проект АЛП».

Пример экранной формы, содержащей данные о сценарии, вводимые в БД АЛП в программном продукте LSS, представлен на рис. 4-2.

| № | Код фазы | Наименование | Доля |
|---|----------|-----------------------|------|
| 1 | 001 | Рулежка перед взлетом | 3 |
| 2 | 002 | Взлет | 3 |
| 3 | 003 | Набор высоты | 5 |
| 4 | 004 | Полет | 77 |
| 5 | 005 | Снижение | 6 |

Рис. 4-2. Пример экранной формы для ввода данных о сценарии использования в программном продукте LSS

Значения параметров «Средняя наработка в год» (W), «Количество миссий в год» (Nm) и «Средняя продолжительность миссии» (Tm) связаны очевидной зависимостью:

$$W = Tm * Nm$$

4.4. Выбор элементов-кандидатов на АЛП, создание логистической структуры изделия (ЛСИ) и логистической структуры функций (ЛСФ)

4.4.1. Общие сведения и исполнители

Задача создания ЛСИ является довольно сложной и ответственной, поскольку от результатов ее решения зависят результаты и сама возможность решения многих других задач АЛП. Поэтому она требует участия квалифицированных и опытных исполнителей. Так как основой для создания ЛСИ служит анализ конструкторской структуры изделия (в том числе электронной по ГОСТ Р 2.053 [23]), то обязательным участником этого процесса должен быть конструктор. При этом особенности отдельных систем самолета требуют привлечения к анализу конструкторов, отвечающих за эти системы и, следовательно, детально разбирающихся в их устройстве. Формирование ЛСФ требует привлечения к процессу специалистов по надежности и безопасности самолета, так как именно они будут в дальнейшем использовать ЛСФ для проведения АВПКО и АООН. Чтобы соблюсти основные принципы формирования ЛСИ, в процессе должен участвовать специалист по ИЛП или исполнители должны пройти необходимое обучение.

Наилучшим вариантом организации решения задачи является передача обязанности по созданию ЛСИ систем конструкторам – авторам этих систем при консультационном участии специалистов по ИЛП и по надежности. Выбор элементов-кандидатов для ЛСИ должен происходить также при участии специалистов по техническому обслуживанию самолета и специалистов по запчастям.

4.4.2. Методика формирования ЛСИ

ЛСИ формируется на базе конструкторской структуры и представляет собой её подмножество, включающее только элементы-кандидаты (ЭК) на АЛП.

4.4.2.1 Выбор элементов-кандидатов на АЛП

В перечень ЭК вносят компоненты, для которых конструкцией предусмотрена возможность снятия с самолета (или с узла самолета) с применением стандартных или специальных инструментов. Также эти компоненты должны удовлетворять хотя бы одному из следующих критериев:

- 1) компонент является значимым для надежности или эксплуатационной технологичности самолета;
- 2) компонент может потребовать обслуживания в процессе эксплуатации;
- 3) компонент может быть кандидатом в перечень запчастей.

При использовании перечисленных критериев необходимо учитывать, какие **уровни обслуживания**¹⁴ планируется включить в разрабатываемую СТЭ. Если в разрабатываемой СТЭ предусматривается только один уровень – эксплуатационный, то критерии 2 и 3 должны быть конкретизированы только для этого уровня, например, «компонент может потребовать обслуживания на эксплуатационном уровне». Перечень критериев для выбора ЭК может быть также расширен в зависимости от того, какие задачи предполагается решать в процессе анализа. Например, если одной из целей АЛП является формирование иллюстрированного каталога деталей и сборочных единиц (ИКДС), то к ЭК должны быть причислены все элементы, которые должны войти в этот каталог. Таким образом, перед формированием ЛСИ необходимо четко определить цели выполняемого анализа и результаты, которые требуется получить, после чего на основании этих данных составляется или конкретизируется набор критериев для выбора ЭК.

Как правило, при выполнении АЛП на ранних стадиях проектирования (техническое предложение, эскизный проект), в ЛСИ включают почти все конструктивно-съемные компоненты, известные на данном этапе, а затем в процессе анализа из ЛСИ постепенно исключают компоненты, не отвечающие выбранным критериям. Для проектов АЛП, начавшихся на более поздних стадиях ЖЦ (технический проект, разработка РКД, производство), необходимость включения компонента в ЛСИ определяют по выбранным критериям на основании уже имеющейся информации по изделию. Если на текущем этапе анализа невозможно принять однозначное решение, является компонент ЭК или нет, то такой компонент должен быть включен в перечень ЭК и подвергнут АЛП до тех пор, пока не наберется достаточно информации для принятия решения.

4.4.2.2 Общие принципы построения ЛСИ

ЛСИ (иерархический древовидный граф, дерево – см. [23]), в общем случае, строится на основании стандартной системы нумерации (ССН)¹⁵ объектов самолета, изложенной в ряде нормативных документов (например, ASD S1000D, ATA 2200, ГОСТ 18675). В соответствии с ССН ЭК, входящие в ЛСИ, группируются по системам и подсистемам. При необходимости может быть выделен дополнительный уровень под-подсистем (рис. 4-3). Все вершины дерева ЛСИ называются «Элемент ЛСИ» независимо от того, является элемент системой, подсистемой или ЭК.

¹⁴ Уровень обслуживания (в англоязычной литературе: *maintenance level*) – тип обслуживающей ФИ структуры или организации. По [5] в авиации используют трехуровневую систему обслуживания. На первом уровне (1-я линия или эксплуатационный уровень) находится технический экипаж воздушного судна и технико-эксплуатационная часть полка (для военной авиации). На втором уровне (2-я линия или средний уровень) находится авиаремонтная мастерская. Третий уровень (3-я линия или уровень ремонтного завода) находится авиаремонтный завод или ремонтные службы производителя.

¹⁵ В англоязычной литературе: *Standard Numbering System (SNS)*. Определение ССН – см. Приложение.

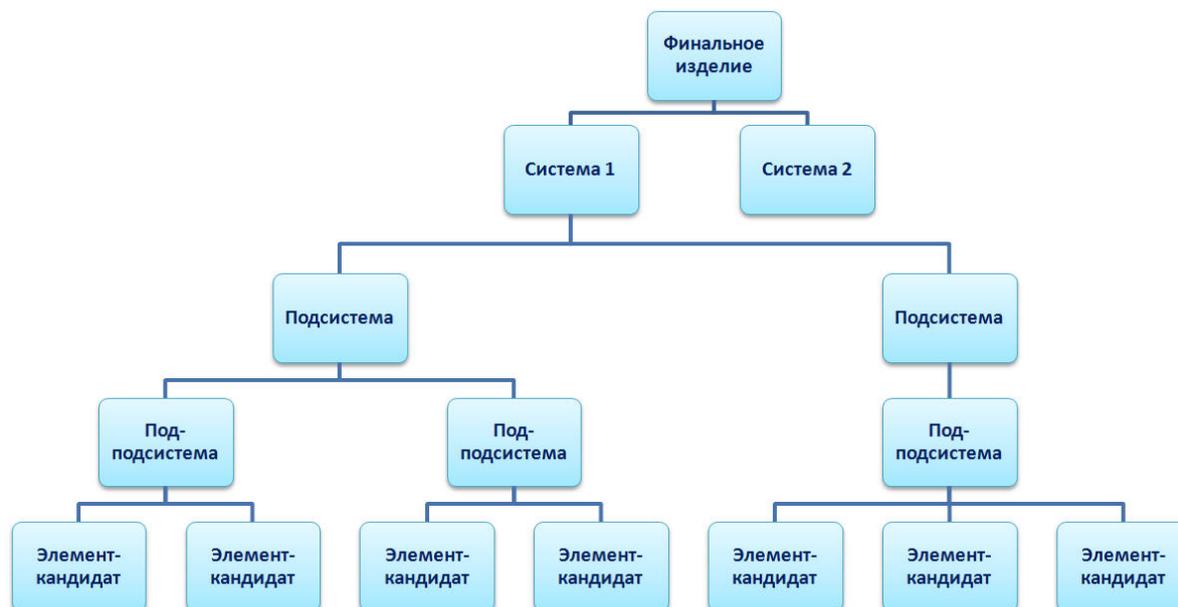


Рис. 4-3. Обобщенный пример ЛСИ

Кроме основных компонентов самолета в ЛСИ могут включаться крепежные детали, необходимые для установки/крепления основных компонентов в самолете. Решение о включении крепежных деталей в ЛСИ принимает руководство проекта, исходя из целей проекта и требований заказчиков. Основным критерием является необходимость внесения таких деталей в перечень запчастей и ИКДС, если его разработка является одной из целей проекта.

Важным моментом при создании ЛСИ является выявление «границ системы», т.е. принятие решения об отнесении некоторых «граничных» элементов к той или иной системе. Например, створка опоры шасси может быть отнесена как к системе шасси, так и к фюзеляжу самолета. В общем случае при принятии таких решений следует руководствоваться структурой ССН (например, [13]) и правилами отнесения компонентов к системам и подсистемам в эксплуатационно-технической документации на данный тип изделий. Во избежание дублирования анализа одних и тех же компонентов в рамках разных систем, необходимо отслеживать, чтобы «граничный» компонент был включен в ЛСИ только в одну из систем.

Ниже перечислены некоторые типовые правила, которые могут использоваться при определении «границ системы»:

- Гидравлические или электрические аппараты, входящие в состав таких систем, как, например, «система управления полетом» или «шасси», должны включаться в ЛСИ этих систем. В то же время, все шланги, трубопроводы и/или провода, соединяющие эти аппараты с источниками энергии, в ЛСИ должны быть отнесены к гидравлической или электрической системе соответственно. Например, гидроцилиндр, служащий для открытия створки шас-

си, должен быть включен в систему шасси, а все гидравлические линии, связанные с гидроцилиндром, относятся к гидравлической системе.

- Крепежные детали (болты, винты, кронштейны, соединительная арматура и т.д.), связанные с компонентом, для крепления которого они используются, должны быть включены в ту систему, в которую входит прикрепляемый компонент. Исключениями могут быть крепежные элементы (кронштейны или соединительная арматура), являющиеся неотъемлемой частью фюзеляжа или другой системы.
- Электропроводка, как правило, описывается в рамках отдельной подсистемы.

Таким образом, наиболее важными моментами при формировании ЛСИ являются:

- 1) отбор ЭК из конструкторской структуры по критериям проекта;
- 2) отнесение ЭК к системе/подсистеме/под-подсистеме в соответствии со стандартной системой нумерации и «границами системы»;
- 3) взаимосвязи между ЭК, описывающие отношения входимости деталей в узлы;
- 4) необходимость различать ЭК, установленные в разных зонах самолета или выполняющие разные функции в рамках одной системы.

4.4.2.3 Пример формирования ЛСИ

Формирование ЛСИ производится по следующим уровням разукрупнения:

- 0-й уровень – корневой элемент ЛСИ, соответствующий ФИ;
- 1-й уровень – соответствует системам самолета;
- 2-й уровень – соответствует подсистемам;
- 3-й уровень – соответствует под-подсистемам (*может отсутствовать*);
- 4-й уровень – соответствует элементам-кандидатам (крупные узлы/агрегаты);
- 5-й уровень – соответствует элементам-кандидатам (компоненты крупных узлов/агрегатов).

В зависимости от особенностей конкретного проекта уровень под-подсистем в ЛСИ может отсутствовать, и тогда ЭК описываются уже на 3-м уровне разукрупнения. Решение о количестве уровней разукрупнения и их интерпретации в ЛСИ должно приниматься перед началом выполнения проекта, так как это влияет на систему кодирования элементов ЛСИ (раздел 4.4.2.6).

Рассмотрим пример части ЛСИ для системы кондиционирования воздуха, созданной в программном продукте LSA Suite (рис. 4-4).

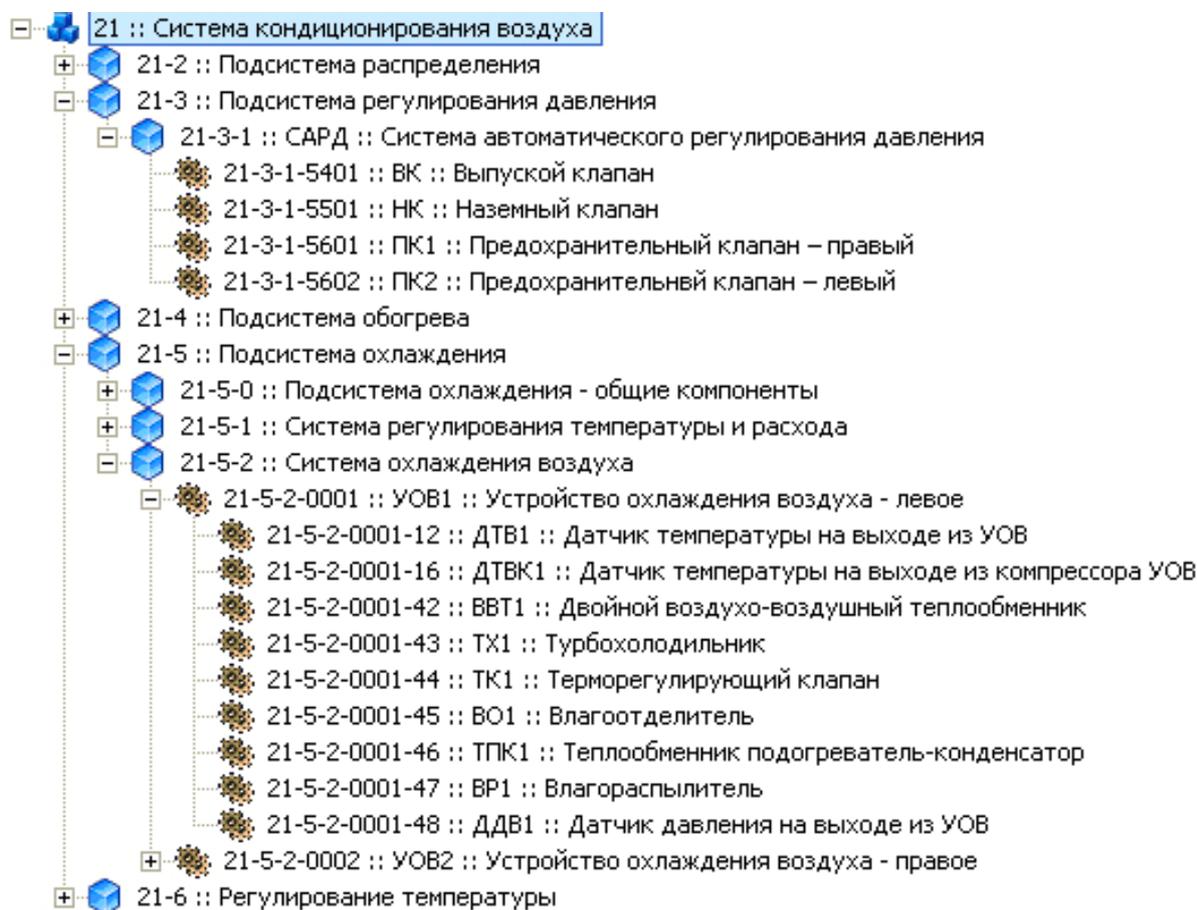


Рис. 4-4. Часть ЛСИ для системы кондиционирования воздуха

В этом примере ЛСИ содержит уровни системы, подсистем, под-подсистем и элементов-кандидатов:

- 1-й уровень – система: элемент «21::Система кондиционирования воздуха»¹⁶.
- 2-й уровень – подсистемы: элементы «21-2::Подсистема распределения», «21-3::Подсистема регулирования давления», «21-4::Подсистема обогрева» и т.д.
- 3-й уровень – под-подсистемы: «21-3-1::Система автоматического регулирования давления» (САРД), «21-5-1::Система регулирования температуры и расхода», «21-5-2::Система охлаждения воздуха» и т.д.
- 4-й уровень – элементы-кандидаты выделены иконками с двумя шестеренками. Предохранительный клапан в САРД входит в количестве двух штук, установленных в левой и правой частях фюзеляжа (2 элемента ЛСИ в

¹⁶ Цифровой индекс перед наименованием системы – это ЛКН, который подробно рассмотрен в разделе 4.4.2.6.

структуре). Устройство охлаждения воздуха в подсистеме охлаждения также представлено в количестве двух штук, расположенных в разных зонах.

5-й уровень – компоненты устройства, которые также являются элементами-кандидатами на АЛП и включены в ЛСИ.

4.4.2.4 Типы ЭК

Среди всех ЭК можно выделить два типа элементов:

- 1) Элементы, снимающиеся непосредственно с самолета; как правило, это крупные узлы и агрегаты.
- 2) Элементы, входящие в крупные узлы и агрегаты типа (1). Элементы типа (2) также могут находиться между собой в отношениях входимости (т.е. один элемент может быть компонентом другого элемента).

С точки зрения ремонта и обслуживания наиболее важны элементы типа (1), так как их замена на самолете приводит к простоя самолета и, следовательно, к снижению его готовности. Кроме того, часто такие элементы являются наиболее критичными для надежности и безопасности самолета. В зарубежной литературе элементы типа (1) называются Line Replaceable Unit (LRU), что можно перевести как «Элемент, заменяемый на линии» или «Элемент, заменяемый в условиях эксплуатации». Замена таких элементов осуществляется на 1-й линии (или эксплуатационном уровне) обслуживания. Далее элементы типа (1) будут упоминаться как LRU для краткости¹⁷.

Элементы типа (2) – это компоненты LRU. При замене эти компоненты снимаются не непосредственно с самолета, а с LRU, предварительно снятого с самолета для ремонта. В зарубежной литературе элементы типа (2) называются Shop Replaceable Unit (SRU), что можно перевести как «Элемент, заменяемый в мастерской» или «Элемент, заменяемый в цеху». Замена таких элементов осуществляется при ремонте отказавшего LRU на среднем уровне обслуживания (ремонтная мастерская, цех) или на ремонтном заводе. Далее элементы типа (2) будут упоминаться как SRU.

Кроме двух выделенных типов в некоторых случаях необходимо выделять еще один тип элементов «LRU 2-го уровня» (далее – LRU-2). LRU-2 – это компонент LRU, который при определенных условиях может заменяться непосредственно на самолете. В зависимости от типа неисправности/отказа с самолета может быть снят как родительский узел целиком (LRU), так и компонент этого узла (LRU-2)¹⁸.

С точки зрения построения ЛСИ разделение ЭК на LRU и SRU является очень важной задачей, так как влияет на разрабатываемую систему ТОиР (входит в состав задач анализа уровней ремонта (АУР)), затраты на обслуживание изделия и содержание ЭД. Ре-

¹⁷ В отечественной литературе такие элементы иногда называются «конструктивно-сменный блок (узел)».

¹⁸ Типичным примером LRU-2 может служить съемная плата (блок) электронного устройства.

шение об отнесении ЭК к LRU, LRU-2 или SRU принимается совместно конструктором и специалистом по эксплуатации на протяжении всего процесса формирования ЛСИ. Окончательное решение в основном должно быть принято к началу разработки ЭД на изделие, так как от этого зависит содержание комплекта документации (задачи обслуживания LRU и LRU-2, как правило, включаются в руководство по эксплуатации самолета, а обслуживание SRU описывается в руководствах по ремонту отдельных компонентов).

4.4.2.5 Правила включения ЭК в ЛСИ

Структура ЛСИ, начиная с уровня, на котором описываются ЭК (3-й или 4-й уровень в зависимости от особенностей проекта), строится с учетом:

- 1) принадлежности ЭК к подсистемам и под-подсистемам в соответствии со стандартной системой нумерации объектов самолета по [13] и установленными «границами» систем (раздел 4.4.2.2);
- 2) входимости ЭК друг в друга (деталей в узлы, узлов в более крупные узлы и т.д.);
- 3) расположения компонентов в конструкции самолета (увязка с зонами установки).

В первую очередь в ЛСИ включаются ЭК, являющиеся крупными узлами или агрегатами, которые могут сниматься непосредственно с самолета, а не в составе другого крупного узла, т.е. LRU. В зависимости от установленных «границ систем» и принятой стандартной системы нумерации объектов самолета каждый такой ЭК (LRU) должен быть включен в одну из подсистем (под-подсистем) той системы, к которой он относится.

При создании ЛСИ важно следовать принятой схеме разбиения ЛСИ на уровни разукрупнения (например, уровни, выделенные в примере в разделе 4.4.2.3). Если принято, что ЭК включаются в ЛСИ, начиная с 4-го уровня разукрупнения, то недопустимо создание ЭК на 2-м и 3-м уровнях¹⁹, так как это может привести к формированию неправильного ЛКН элемента (более подробно правила присвоения ЛКН описаны в разделе 4.4.2.6). Если возникает необходимость создать ЭК, входящий, например, непосредственно в подсистему (невозможно отнести элемент ни к одной под-подсистеме), то в этом случае необходимо создать «фиктивную» под-подсистему, т.е. ввести недостающий уровень искусственно. Такая фиктивная под-подсистема будет иметь наименование подсистемы и добавочное определение, поясняющее, что эта под-подсистема объединяет элементы, общие для всей подсистемы. Пример такого случая изображен на рис. 4-4, где в подсистеме охлаждения создана фиктивная под-подсистема «21-5-0::Подсистема охлаждения – общие компоненты», в которую включены все ЭК, относящиеся к подсистеме в целом.

¹⁹ Такое ограничение связано с необходимостью стандартного кодирования элементов ЛСИ с помощью ЛКН по [5].

При включении в ЛСИ LRU (или потенциальных LRU, если окончательное решение еще не принято) следует различать элементы, установленные в разных зонах ФИ. Если датчик определенного типа расположен в разных зонах самолета, то в структуре ЛСИ такой датчик должен описываться несколькими элементами ЛСИ, в параметрах которых указаны конкретные зоны и, при необходимости, места доступа. Это необходимо для того, чтобы различать компоненты, установленные в разных местах конструкции, так как место установки может влиять на ремонтпригодность и надежность компонента. В некоторых случаях приходится даже различать однотипные компоненты, установленные в одной зоне, но выполняющие в системе разные функции, поскольку такое различие по-разному влияет на свойства системы, а также на параметры самого компонента.

После создания в ЛСИ уровня, содержащего ЭК-LRU, в дерево ЛСИ добавляют ЭК (LRU-2 или SRU), являющиеся компонентами крупных узлов/агрегатов. Они включаются в ЛСИ как «дочерние»²⁰ элементы соответствующего крупного узла/агрегата (LRU). Для SRU и LRU-2 обязательное распределение по зонам и местам доступа не столь актуально, как для LRU, так как места их установки однозначно определяются «родительским» LRU.

При описании компонентов крупного узла (например, «УОВ – Устройства охлаждения воздуха» на рис. 4-4) необходимо разукрупнять узел (описывать компоненты) при каждом упоминании этого узла в ЛСИ. В атрибуте «количество в узле» компонента указывается количество данного компонента на 1 узел.

Для однозначной идентификации компонентов, выполняющих некоторую функцию в системе и находящихся в конкретном месте, [13] предлагает использовать номер функционального элемента (*Functional Item Number, FIN*²¹). Использование FIN позволяет различать компоненты одного типа, установленные в различных позициях, а также определить местонахождение элемента по электрической схеме. Кроме этого применение FIN обеспечивает навигацию между всеми модулями данных технической документации, связанными с текущим номером функционального элемента.

4.4.2.6 Назначение ЛКН элементам ЛСИ

Согласно требованиям [5] элементам ЛСИ присваивают код «Логистический контрольный номер» (ЛКН), который формируется по уровням разукрупнения и содержит в себе информацию (см. сноску) о коде родительского элемента (кроме ЛКН ФИ).

²⁰ Заимствованные из генеалогии термины «дочерний» и «родительский», в ЛСИ обозначают отношения входимости: дочерний элемент входит в состав родительского и в иерархии дерева (структуры) ЛСИ расположен ниже последнего. Подобное «родство» обычно приводит к тому, что в БД АЛП дочерние элементы наследуют некоторые атрибуты родительского элемента (см. п. 4.4.2.6).

²¹ В стандарте ATA Specification 2200 используется равнозначный термин «*Component Functional Index, CFI*».

Принцип формирования кода ЛКН для дочернего элемента в общем случае:

ЛКН дочернего элемента ЛСИ =
 [ЛКН родительского элемента ЛСИ] + [Порядковый номер дочернего элемента ЛСИ]

Структура ЛКН задается в БД АЛП с помощью специального атрибута «*Структура ЛКН*», который, как правило, связан с вершиной ЛСИ, т.е. с ФИ (самолетом). Структура ЛКН несет информацию о количестве уровней разукрупнения в дереве ЛСИ (необходимо указывать максимально возможное количество) и количестве символов для формирования порядкового номера (2-я часть ЛКН) элемента каждого уровня разукрупнения. Количество уровней в дереве ЛСИ задается количеством цифр в поле «*Структура ЛКН*» (N), а количество знаков порядкового номера для n-го уровня – это цифра на n-й позиции (из N) поля. Количество знаков порядкового номера для n-го уровня выбирается исходя из предполагаемого максимального количества элементов на данном уровне разукрупнения, т.е. чтобы хватило номеров для уникального обозначения всех элементов уровня.

Пример задания структуры ЛКН:

3 1 1 2 2 2 2 2

Количество цифр в структуре, равное 8, – соответствует максимальному количеству уровней разукрупнения в дереве ЛСИ.

Цифра 3 в первой позиции структуры говорит о том, что код элемента ЛСИ 1-го уровня разукрупнения должен иметь три знака (например, S21).

Цифра 1 во 2-й и 3-й позиции структуры – говорит о том, что порядковый номер элементов ЛСИ 2-го и 3-го уровня разукрупнения должен иметь только один знак (т.е. 1, 2, 3 и т.д.).

Цифра 2 в остальных позициях – говорит о том, что порядковый номер элементов ЛСИ остальных уровней разукрупнения должен иметь 2 знака (т.е. 01, 02, 03 и т.д.).

Для формирования «мнемонического» ЛКН рекомендуется пользоваться следующими правилами:

1. В качестве кода ФИ (ЛКН элемента 1-го уровня) использовать код-акроним финального изделия (КАФИ). Количество знаков не более 3-4, чтобы не получился слишком длинный ЛКН на нижних уровнях разукрупнения.
2. В качестве порядкового номера системы (2-я часть ЛКН элемента 2-го уровня) использовать номер системы по применяемой в проекте ССН.
3. В качестве порядкового номера подсистемы (2-я часть ЛКН элемента 3-го уровня) использовать номер подсистемы по применяемой в проекте ССН.
4. Если в ЛСИ присутствует уровень под-подсистем, то в качестве порядкового номера под-подсистемы (2-я часть ЛКН элемента 4-го уровня) использовать номер под-подсистемы, присвоенный в технической документации на изделие.

Применяя эти правила, по ЛКН элемента всегда можно определить, к какому ФИ, системе и подсистеме он относится.

4.4.3. Методика формирования ЛСФ

4.4.3.1 Общие сведения о ЛСФ

В процессе функционального анализа формируется логистическая структура функций (ЛСФ), состоящая из элементов, соответствующих *функциональным блокам* и *функциям* изделия, а также связей между ними.

ЛСФ разрабатывается и анализируется с целью:

- выявления полноты и непротиворечивости функций (в первую очередь – функциональных требований к изделию);
- выявления возможных видов функциональных отказов, а также анализа их причин (эта работа выполняется в рамках АВПКО, описанного в разделе 4.5);
- разработки требований к обслуживанию изделия (эта работа выполняется в рамках АООН, описанного в разделе 4.6).

Если в проекте не предусмотрено проведение АВПКО и АООН, то необходимость создания ЛСФ должна быть обоснована дополнительно. В случае отсутствия существенных и экономически обоснованных причин для создания ЛСФ, эта задача выполняться не должна.

Функциональный блок – это система или часть системы, чьи функции будут анализироваться в процессе АЛП (в процессе АВПКО и АООН) независимо от функций других функциональных блоков. В общем случае функциональным блоком может быть система, подсистема, под-подсистема, крупный агрегат. Решение о выделении анализируемых функциональных блоков в ЛСФ принимается совместно конструктором и специалистами по надежности в зависимости от сложности системы/агрегата, количества функций и функциональных взаимосвязей внутри системы.

ЛСФ формируется на основе:

- данных, содержащихся в техническом задании, контракте;
- информации об аналогах;
- предварительных проработок (блок-схемы и подобные документы);
- описания сценария использования по назначению и миссий, которые будет выполнять изделие.

Кроме основных функций, обусловленных назначением изделия, в состав ЛСФ включаются вспомогательные функции, например, обеспечение экипажа информацией о состоянии изделия.

Основные функциональные блоки, включаемые в ЛСФ самолета, обычно соответствуют основным системам и подсистемам по ССН. Для каждого функционального блока составляется перечень выполняемых функций. При необходимости функции разукрупняются на один уровень вниз. Количество уровней разукрупнения в общем случае не ограничено, но создавать слишком много уровней не рекомендуется, так как это затруднит анализ. Элементы всех уровней разукрупнения носят общее название – элемент ЛСФ. Общая структура дерева ЛСФ изображена на рис. 4-5.

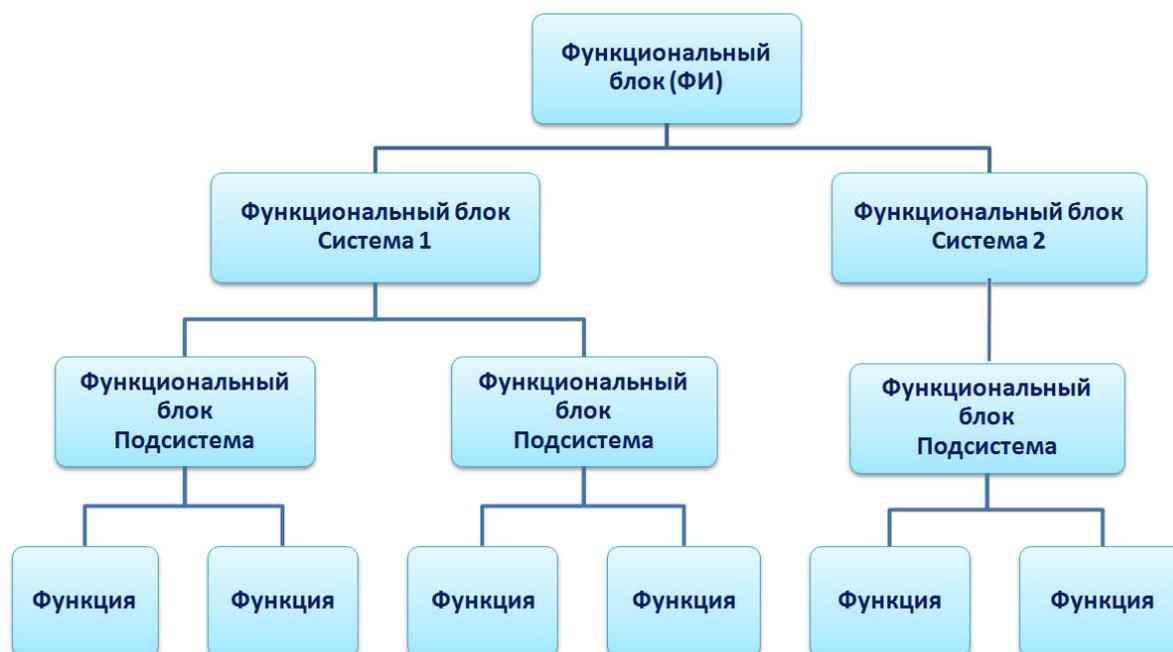


Рис. 4-5. Общая структура дерева ЛСФ

4.4.3.2 Формирование ЛСФ

Процесс создания ЛСФ состоит из следующих этапов:

1. Определяются основные системы самолета, которые включаются в ЛСФ в виде функциональных блоков (рис. 4-5). Перечень основных систем самолета регламентирован стандартами ASD S1000D или ATA 2200, но может быть уточнен для каждого конкретного проекта.
2. В зависимости от сложности системы определяется необходимость выделения функциональных блоков, соответствующих подсистемам, подподсистемам или отдельным агрегатам. Дополнительно выделенные функциональные блоки включаются в ЛСФ. При этом структура ЛСФ может не совпадать со структурой ЛСИ (по уровням разукрупнения). При создании ЛСФ допускается большая свобода и гибкость, например, функциональные блоки, соответствующие подсистемам и агрегатам, могут быть включены в ЛСФ на одном уровне разукрупнения.
3. На основании имеющихся исходных данных описываются функции выделенных функциональных блоков таким образом, чтобы каждая уникальная функция была включена в ЛСФ только один раз.

Пример ЛСФ для системы кондиционирования воздуха (СКВ) изображен на рис. 4-6.

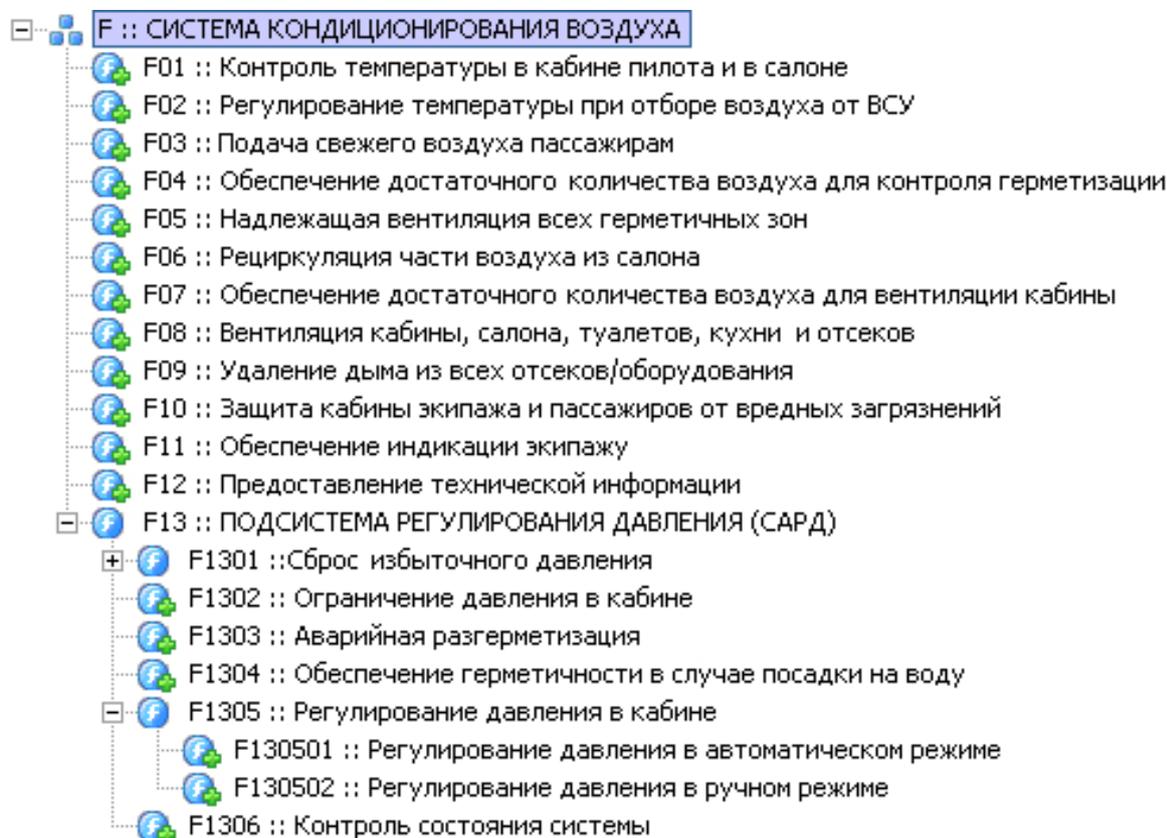


Рис. 4-6. Пример ЛСФ для СКВ

В этом примере функциональные блоки (система СКВ и подсистема САРД) выделены прописными буквами для наглядности. На примере видно, что часть функций СКВ описана непосредственно для всей системы, а часть функций, относящихся к регулированию давления, – для отдельного функционального блока «F13::Подсистема регулирования давления». Таким образом, эти две группы функций в процессе АВПКО и АООН будут анализироваться отдельно и независимо друг от друга. Функции выделенных функциональных блоков не должны дублировать друг друга, а также дублировать сами функциональные блоки нижних уровней. Так, например, в состав функций СКВ на рис. 4-6 не включена функция «регулирование давления в кабине», так как эта функция содержится в блоке «F13::Подсистема регулирования давления».

4.4.3.3 Назначение ЛКН элементам ЛСФ

Основным идентификатором элемента ЛСФ является ЛКН (по аналогии с элементом ЛСИ и в соответствии с требованиями [5]). Структура ЛКН для ЛСФ определяется в самом начале выполнения АЛП для изделия. Определение структуры ЛКН такое же, как для элементов ЛСИ (раздел 4.4.2.6). Общий принцип формирования ЛКН для ЛСФ аналогичен формированию ЛКН для элемента ЛСИ.

Формирование «мнемонического» ЛКН для элементов ЛСФ обычно не поддерживается, т.е. порядковые номера присваиваются элементам последовательно: 1, 2, 3 и т.д. Для вершины ЛСФ (ФИ) ЛКН представляет собой латинскую букву F (Functional), что позволяет наглядно различать ЛКН элемента ЛСФ и элемента ЛСИ.

4.4.4. Установление связей между элементами ЛСФ и ЛСИ

4.4.4.1 Установление связей между элементами

После создания логистических структур специалисты конструкторских подразделений должны установить связи между функциями (элементами ЛСФ) и выполняющими эти функции элементами ЛСИ. Связи устанавливаются только между функциями самого нижнего уровня разукрупнения ЛСФ и ЭК из дерева ЛСИ²².

Связи между элементами ЛСФ и ЛСИ могут быть следующих типов:

- один к одному (одна функция полностью выполняется единственным ЭК);
- один ко многим (одна функция выполняется несколькими ЭК);
- многие к одному (один ЭК участвует в выполнении нескольких функций).

Таким образом, связи между элементами ЛСФ и ЛСИ указывают:

- какой набор ЭК «отвечает» за выполнение каждой функции;
- в выполнении какого набора функций участвует каждый ЭК.

Процедура установления связей позволяет:

- 1) выявить неправильный выбор элементов-кандидатов:
 - наличие функций, «не закрытых» ЭК,
 - наличие ЭК, не выполняющих ни одной функции;
- 2) недоработки при создании ЛСФ, например, отсутствие в ЛСФ некоторых необходимых функций.

На рис. 4-7 приведен пример ЛСФ «Система кондиционирования воздуха (СКВ)», в которой отображаются элементы ЛСИ (ЭК), выполняющие функции СКВ.

²² Это правило является обязательным, так как позволяет корректно описывать причинно-следственные связи между видами отказов на этапе АВПКО.

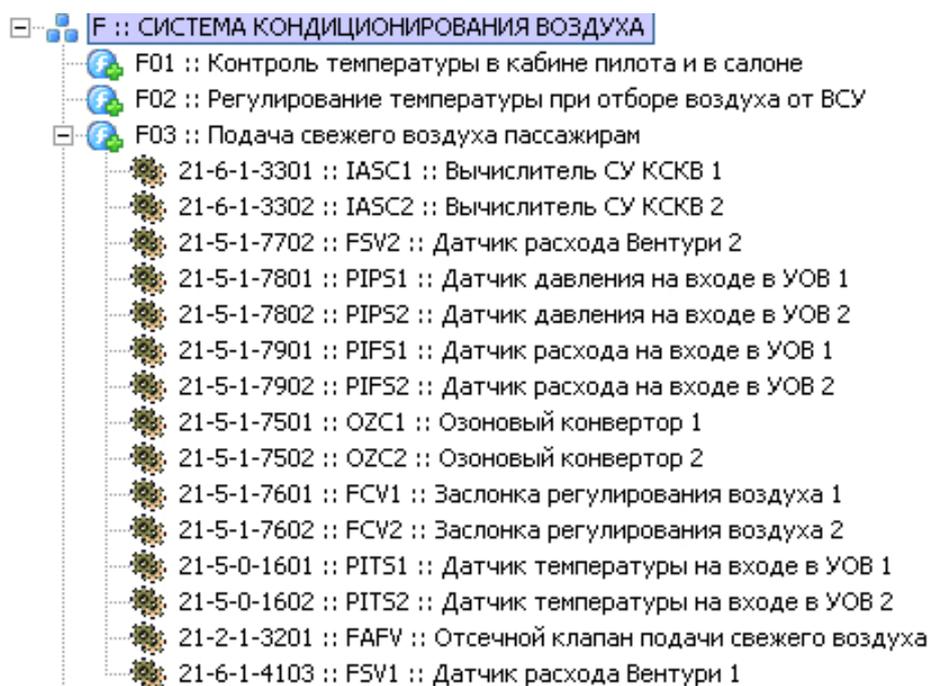


Рис. 4-7. Пример отображения связей между элементами ЛСФ и элементами ЛСИ (ЭК), участвующими в выполнении функций

4.4.4.2 Описание функций и определение доли времени работы элементов

В ходе создания ЛСФ в процессе функционального анализа составляют описание каждой функции, присутствующей в структуре. При этом определяют и документируют, как минимум, следующую информацию:

- набор выходных параметров, характеризующих выполнение функции;
- значения этих параметров, считающиеся нормой, и допуски на них;
- предполагаемое время выполнения каждой функции в процентах от времени миссии.

Сведения о распределении функций ФИ по фазам миссии, в которых эти функции выполняются, вместе с информацией о том, какие ЭК участвуют в выполнении функций, позволяют определить долю времени работы ЭК в общем времени работы (наработки) всего ФИ за миссию.

Форма документирования информации оговаривается в контракте или техническом задании. На рис. 4-8 изображен фрагмент таблицы, с помощью которой можно документировать данные о фазах миссии и времени работы систем. В таблице перечислены все функции, присутствующие в ЛСФ (1-й столбец), и отмечены фазы миссии, в которых выполняется каждая функция, в последнем столбце приводится суммарная продолжительность выполнения функции за время миссии (в процентах от времени миссии).

| САМОЛЕТ | ФАЗЫ МИССИИ | | | Доля времени работы (%) |
|---|-------------|-------------|--------------|-------------------------|
| | Взлет (5%) | Полет (90%) | Посадка (5%) | |
| Автоматическое управление полетом | | • | | 90 |
| Обеспечение связи внутри самолета и с наземными службами | • | • | • | 100 |
| Управление самолетом | • | • | • | 100 |
| Обеспечение жизнедеятельности экипажа и охлаждение оборудования | • | • | • | 100 |

Рис. 4-8. Фрагмент таблицы распределения функций по фазам миссии

Расчитанные в процессе функционального анализа доли времени работы ЭК влияют на результаты расчетов: периодичности обслуживания, потребностей в материальных ресурсах, наработки между обслуживаниями и, как следствие, коэффициента готовности ФИ.

Информация обо всех видах возможных нарушений функций (выход значений одного или нескольких параметров, характеризующих функцию, за рамки допустимых значений) и последствиях этих нарушений собирается и анализируется в процессе АВПКО, который, помимо прочего, позволяет выявить наиболее критичные функции, требующие особого внимания при разработке конструкции изделия. На основании результатов анализа возможно изменение ЛСФ. Если изделие находится на этапе разработки, то ЛСФ может быть изменена с целью снижения критичности функций или введения дополнительных функций контроля за состоянием изделия. Если же конструкция изделия уже разработана и изменяться не может, то в ЛСФ можно вносить изменения, связанные с более удобным структурированием функций для целей АВПКО. Внесение изменений в ЛСФ производится до тех пор, пока ЛСФ не станет пригодной для разработки на её базе конструкции изделия или установления связей с элементами уже разработанной конструкции.

4.4.5. Связь логистических структур с конструкторской структурой изделия в PDM-системе

В современных условиях проектирование изделия (разработка конструкторской структуры) выполняется, как правило, с использованием какой-либо PDM-системы, в которой хранятся основные исходные данные, необходимые для выполнения АЛП, в первую очередь, конструкторская структура изделия, на основе которой формируется

ЛСИ. В результате анализа конструкторской структуры изделия по установленным критериям выбираются элементы-кандидаты на АЛП.

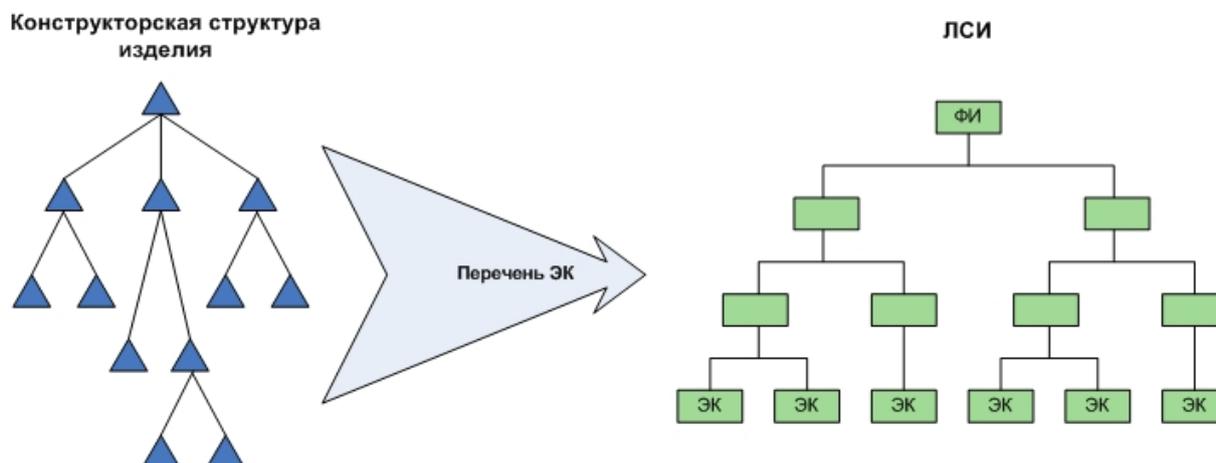


Рис. 4-9. Формирование ЛСИ из конструкторской структуры изделия

Как уже отмечалось, ЛСИ представляет собой подмножество конструкторской структуры, включающее только ЭК на АЛП (рис. 4-9). При этом один компонент конструкции может описываться несколькими элементами ЛСИ, а один элемент ЛСИ может соответствовать нескольким однотипным компонентам (изделиям), например, установленным в одной зоне и имеющим общее место доступа.

Конструкторская структура изделия также служит источником данных об изделиях, которые нужно включить в перечень начального МТО, иллюстрированные каталоги и другие документы. Такие изделия включаются в перечень ЭК для АЛП. Более подробно связь процессов АЛП и технологии разработки эксплуатационной документации на изделие рассматривается в разделе 4.9.

PDM-система является основным источником сведений о конструкции и составе изделия, обеспечивающим целостность и непротиворечивость данных. Если используемая в организации PDM-система и БД АЛП объединены в единое информационное пространство, то это позволяет реализовать механизмы отслеживания конструкторских изменений и их оперативного отображения в ЛСИ. Если автоматические механизмы оповещения об изменениях отсутствуют, то конструктора сами должны заботиться о том, чтобы все конструкторские изменения, затрагивающие ЭК, находили отображение в ЛСИ.

Рассмотрим пример обмена данными между PDM-системой и системой АЛП.

1. В PDM-системе формируется структура ССН, в соответствии с рядом нормативных документов. На рис. 4-10 представлена часть созданной структуры нумерации объектов системы кондиционирования воздуха.

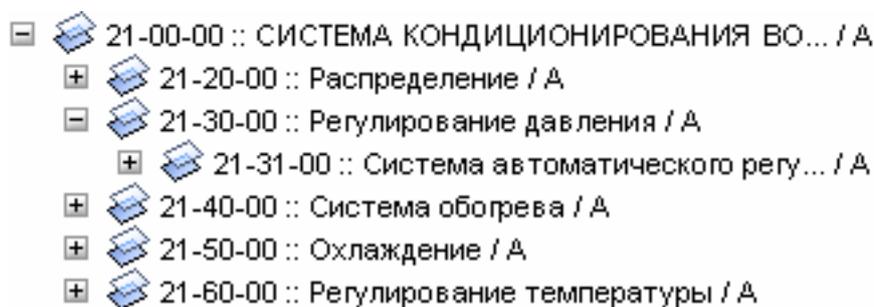


Рис. 4-10. Часть структуры ССН СКВ

- Из конструкторской структуры изделия выбираются ЭК на АЛП, которые группируются по системам (подсистемам) в соответствии с ССН объектов. При этом, конструкторские изделия связываются с соответствующими элементами структуры ССН (рис. 4-11). Таким образом, формируется логистическая структура изделия.



Рис. 4-11.

- Сформированная ЛСИ может быть выгружена в виде обменного файла формата rlxhtml для последующей загрузки в систему АЛП.

4.5. Анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО)

4.5.1. Общие сведения и исполнители

Согласно ГОСТ 27.310-95 [24], анализ видов и последствий отказов (АВПО) – формализованная, контролируемая процедура качественного анализа проекта, заключающаяся в выделении на некотором уровне разукрупнения его структуры возможных (наблюдаемых) отказов разного вида, в прослеживании причинно-следственных связей, обуславливающих их возникновение, и возможных (наблюдаемых) последствий этих отказов на данном и вышестоящих уровнях, а также – в качественной оценке и ранжировании отказов по тяжести их последствий. Процедура АВПО, дополненная оценками показателей критичности анализируемых отказов, получила название АВПКО – анализ

видов, последствий и критичности отказов. АВПКО является неотъемлемой частью АЛП изделия и служит основным источником исходных данных для большинства задач АЛП.

В рамках подготовки к проведению АВПКО выполняют следующие действия:

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

Как правило, АВПКО проводят силами специальной рабочей группы (численностью не более 5 человек), в состав которой должны входить:

- конструктор изделия (системы);
- инженер по надежности;
- инженер-испытатель;
- специалист по охране окружающей среды;
- инженер-материаловед (привлекается при необходимости);
- технолог (привлекается при необходимости);
- представитель службы снабжения (привлекается при необходимости);
- техники по обслуживанию и ремонту (привлекаются при необходимости).

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

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

Для соблюдения единого стиля описания отказов и их последствий необходимо выбрать или разработать справочники-классификаторы, содержащие стандартные формулировки для описания:

- наименований видов отказов (функциональных и конструктивных);
- проявлений отказов;
- первичных причин отказов;
- методов обнаружения отказов;
- компенсирующих конструктивных мер;
- корректирующих действий экипажа и т.д.

Справочники целесообразно формировать на основе классификаторов, существующих для данного вида объектов (например, ОСТ 1 00156-75 для авиационной техники), дополняя их в процессе анализа значениями (словами, фразами), специфичными для рассматриваемого объекта. Порядок использования справочников при выполнении анализа, а также процедуры их изменения и дополнения следует регламентировать в нормативных документах предприятия.

4.5.2. Описание структуры анализируемого изделия

АВПКО проводится итеративно на всех стадиях АЛП. Для выполнения анализа необходимо предварительно выполнить структурный и функциональный анализ изделия, т.е. разработать ЛСИ, ЛСФ и установить связи между ними (раздел 4.4). На стадии функционального анализа предметом АВПКО является ЛСФ и функциональные отказы. На второй стадии АЛП предметом анализа является ЛСИ и отказы её элементов, а также смешанная структура, полученная после установления связей между элементами ЛСФ и ЛСИ. Для простых изделий целесообразно анализировать только ЛСИ, тогда как для сложных технических изделий анализу должна подвергаться смешанная структура.

Важный методический вопрос – выбор глубины декомпозиции. Нижний анализируемый уровень декомпозиции – это уровень, до которого изделие/система будет подвергаться АВПКО. Например, при укрупненном анализе нижним может быть выбран уровень агрегатов/основных узлов изделия (LRU). Однако, как будет ясно из дальнейшего изложения, в этом случае нельзя описать и проанализировать причины отказов агрегатов, составляющих данный (нижний) уровень декомпозиции. Такой подход целесообразен для покупных комплектующих изделий (ПКИ), заменяемых целиком (LRU) и подлежащих списанию или восстановлению силами изготовителя. Для агрегатов/узлов, которые предполагается восстанавливать силами эксплуатанта, должен проводиться более глубокий анализ, позволяющий выявить и описать причины отказов агрегатов (LRU), вплоть до заменяемых комплектующих (SRU), не подлежащих дальнейшему разукрупнению/восстановлению. Нижний уровень разукрупнения ЛСИ, рассматриваемый в АВПКО, как правило, выбирается исходя из того, что необходимо проанализировать все элементы, которые подлежат обслуживанию, для чего потребуются запасные части и другие ресурсы на рассматриваемых уровнях обслуживания.

Таким образом, для проведения АВПКО разных элементов ЛСИ может быть выбран разный уровень декомпозиции в зависимости от типа элемента (ПКИ, собственная разработка) и особенностей обслуживания данного элемента у эксплуатанта.

Различные вспомогательные элементы, такие как крепеж (если он был включен в ЛСИ), в процессе АВПКО, как правило, не рассматриваются, так как процедура анализа является достаточно длительной и трудоемкой, что не позволяет охватить все элементы конструкции. Все внимание в процессе АВПКО должно быть сосредоточено на элементах, потенциально наиболее критичных для надежности и безопасности самолета.

4.5.3. Кодирование видов отказов и классификация тяжести последствий отказа

Правила кодирования видов отказов элементов должны быть разработаны до начала проведения анализа. Стандарт [5] предлагает использовать следующее правило:

Обозначение (код) вида отказа состоит из 4-х латинских букв, первая из которых должна иметь значение 'F' для вида отказа и 'D' для вида повреждения (если в рамках АВПКО проводится анализ возможных повреждений). Значения остальных позиций обозначения должны принимать последовательно значения 'AAA', 'AAB', 'AAC' и так вплоть до 'ZZZ' для каждого следующего вида отказа. Обозначение вида отказа должно быть уникально только в пределах одного элемента ЛСИ/ЛСФ.

Классификация тяжести последствий отказа предназначена для качественной оценки потенциальных последствий вида отказа элемента. Процесс разработки классификации включает в себя выбор количества категорий тяжести последствий отказа (КТПО), которые будут использоваться в процессе анализа, и определение критериев отнесения отказов к указанным категориям.

Классификация может разрабатываться для изделия индивидуально, в соответствии с требованиями контракта, или может существовать единая классификация для целого класса изделий. При классификации видов отказов по тяжести последствий учитывают следующие факторы [24]:

- опасность отказа для жизни и здоровья людей (в том числе, не связанных непосредственно с эксплуатацией объекта), для окружающей среды, для целостности и сохранности самого объекта, другого имущества и материальных объектов;
- влияние отказа на качество функционирования объекта и полноту выполнения им назначенных функций, возможный ущерб любого вида (материальный, моральный, политический и др.), обусловленный снижением качества функционирования объекта или невыполнением объектом миссии;
- скорость развития неблагоприятных последствий отказа, определяющая возможность принятия соответствующих мер защиты от них.

В [5] описана следующая классификация отказов по тяжести их последствий:

Категория 1 – Катастрофический отказ (Catastrophic) – вид отказа, который может вызвать гибель людей или повлечь за собой разрушение (потерю) ФИ.

Категория 2 – Критический отказ (Critical) – вид отказа, который может вызвать серьезное ранение, значительный материальный ущерб или серьезное повреждение ФИ, которое приведет к срыву выполнения поставленной задачи.

Категория 3 - Граничный отказ (Marginal) – вид отказа, который может вызвать легкое ранение, незначительный материальный ущерб или незначительное повреждение ФИ, которое приведет к задержке или к снижению эффективности выполнения миссии.

Категория 4 - Незначительный отказ (Minor) – вид отказа, не вызывающий ранения, не причиняющий материального ущерба или повреждения ФИ, но приводящий к необходимости внепланового обслуживания или мелкого ремонта.

4.5.4. Методика и алгоритм выполнения АВПКО

АВПКО должен проводиться, начиная с самых ранних стадий разработки, и систематически повторяться на последующих стадиях с целью оценки проекта, для выявления наиболее критичных элементов конструкции и определения приоритетности корректирующих и компенсирующих действий.

АВПКО можно разбить на два этапа, выполняемых последовательно на каждой стадии разработки:

1. Анализ видов и последствий отказов (АВПО).
2. Качественный и количественный анализ критичности (АК).

4.5.4.1 Анализ видов и последствий отказов

АВПО – это процедура, в рамках которой описываются возможные виды функциональных и конструктивных отказов элементов структуры изделия, описываются причины и последствия каждого выявленного вида отказа, а также определяется тяжесть последствий отказов.

На ранних стадиях разработки изделия, когда конструкция полностью еще не определена, предметом АВПКО является ЛСФ и функциональные отказы. На более поздних стадиях предметом анализа является ЛСИ и отказы ее элементов, а также связи между элементами ЛСФ и ЛСИ.

При проведении **первой части АВПО** на ранних стадиях разработки (анализ ЛСФ) выполняют следующую последовательность действий:

1. Для каждой системы описывают возможные виды ее функциональных отказов. Для этого последовательно, сверху вниз по дереву ЛСФ, анализируют функции системы и определяют возможные нарушения этих функций, то

есть выход одного или нескольких параметров, характеризующих нормальное выполнение функции, за пределы допустимых значений. Каждое возможное нарушение функции описывается как вид функционального отказа, который связывается с элементом ЛСФ, соответствующим этой функции. Анализируются функции всех функциональных блоков, выделенных в системе (раздел 4.4.3.1).

2. Для каждого функционального отказа описывают возможное последствие на уровне системы (для каждой функции желательно описывать только одно, наиболее тяжелое последствие). Должны описываться только возможные независимые и несовместные последствия, т.е. наступление одного из последствий полностью исключает наступление другого возможного последствия. Если два последствия могут наступить вместе, то они должны описываться как одно последствие²³.
3. Для каждого последствия на уровне системы (это виды функциональных отказов, связанные с системой) указывается КТПО и последствие данного отказа системы для всего самолета (последствие на уровне ФИ).

Ко **второй части АВПО** (анализ ЛСИ и связей ЛСФ – ЛСИ) переходят после того, как будут полностью определены и установлены связи между элементами ЛСФ (функциями) и ЛСИ (ЭК, выполняющими эти функции), т.е. на более поздних стадиях разработки изделия. На этом этапе выполняют следующие действия:

1. По связям между элементами ЛСФ и ЛСИ для каждой функции определяют перечень компонентов (LRU), отвечающих за ее выполнение, и для каждого компонента из перечня описывают возможные виды отказов (это конструктивные отказы компонентов, например, поломка, износ, разрыв (электрической цепи, трубопровода) и т.д.). На этом этапе желательно описывать не только виды отказов, приводящие к нарушению рассматриваемой функции, а вообще все возможные виды отказов компонента.
2. Для каждого конструктивного отказа компонента описывают возможные последствия, т.е. каждый вид отказа компонента связывают с определенным видом отказа функции, которую он выполняет. Если для конструктивного отказа возможно несколько последствий, то для каждого последствия необходимо указать вероятность его возникновения при наступлении данного конструктивного отказа²⁴.
3. Для каждого конструктивного отказа вводят в БД АЛП такие данные, как «Доля вида отказа», «Уровень вероятности отказа», «Метод обнаружения

²³ Каждое описанное последствие на уровне системы может быть представлено в БД АЛП как вид функционального отказа, связанный с данной системой. Тогда данное требование можно представить так: «Все функциональные отказы системы должны быть независимы и несовместимы, т.е. наступление одного функционального отказа полностью исключает наступление другого функционального отказа. Если два функциональных отказа могут наступить вместе, то они должны быть описаны как один функциональный отказ».

²⁴ Вероятность наступления последствия, как правило, равна вероятности возникновения события, при котором данное последствие наступит с вероятностью 100%.

отказа», «Компенсирующие конструктивные меры», «Компенсирующие действия персонала».

4. Проверяют, что последствия описаны для всех конструктивных отказов элементов ЛСИ. Если это не так, то определяют причину отсутствия последствий и, при необходимости, в анализ вносят корректировки, например, добавляют пропущенные функциональные отказы или исправляют связи между элементами ЛСФ и ЛСИ.

После установления причинно-следственных связей всем видам конструктивных отказов в зависимости от описанных последствий назначается КТПО, после чего можно переходить к оценке критичности видов отказов и компонентов.

На рис. 4-12 схематично проиллюстрированы взаимосвязи между видами отказов разных уровней разукрупнения и механизм распределения КТПО функционального отказа системы по всем видам отказов нижестоящих элементов. Если, например, последствием нижестоящего функционального отказа является граничный отказ системы (КТПО = 3), то этому функциональному отказу также присваивается КТПО = 3. Если функциональный отказ может привести к нескольким последствиям разной тяжести, то ему назначается КТПО наиболее тяжелого последствия.

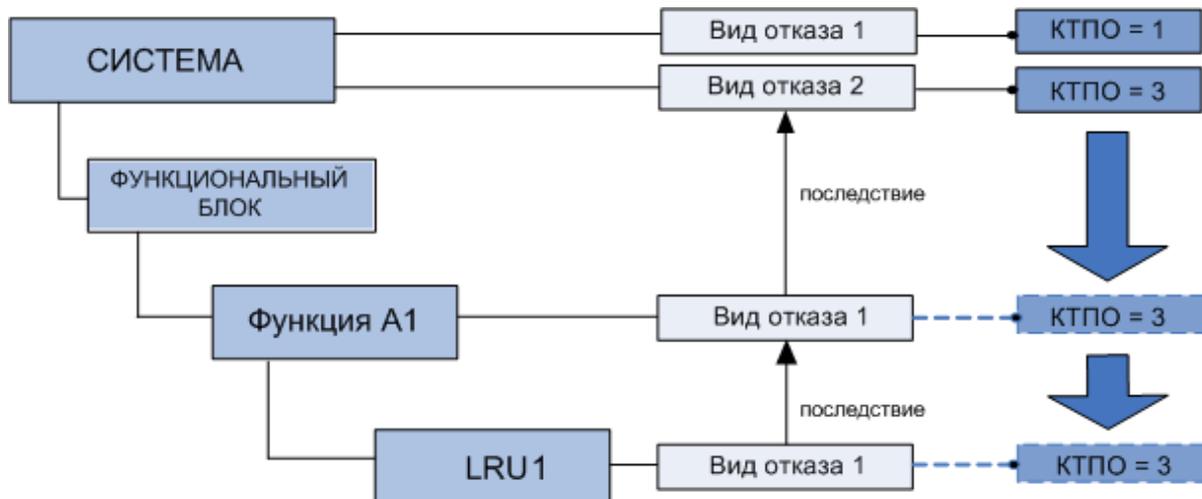


Рис. 4-12. Взаимосвязи между видами отказов разных уровней разукрупнения и механизм распределения КТПО

Третьей частью АВПО является определение причин отказов конструктивных элементов (LRU). При определении причин отказа элемента ЛСИ следует учитывать выбранный нижний уровень декомпозиции для данного типа элементов (раздел 4.5.2). Если рассматриваемый элемент ЛСИ является неразукрупняемым изделием (деталь или агрегат нижнего уровня декомпозиции, не подлежащий более глубокому анализу), то для его видов отказов причины могут быть описаны простым текстом или выбраны из соответствующего справочника-классификатора.

Если рассматриваемый элемент подлежит более глубокому анализу, то далее АВПО подвергается структура данного элемента, которая должна быть предварительно описана в рамках структурного и функционального анализа. Причина отказа такого элемента описывается в терминах отказов (комбинаций отказов) компонентов структуры. При этом алгоритм действий аналогичен **второй части АВПО**: описываются виды отказов элементов нижнего уровня разукрупнения и для них указываются последствия на вышестоящем уровне. Определение причин отказов элементов нижнего уровня разукрупнения осуществляется аналогичным способом до тех пор, пока не будут выявлены первичные причины всех видов отказов элементов ЛСИ.

4.5.4.2 Качественный и количественный анализ критичности

4.5.4.2.1 Качественный анализ критичности

Качественный анализ критичности (АК) выполняется, как правило, на ранних стадиях разработки, когда конструкция изделий еще не полностью определена и нет количественных данных о надежности всех комплектующих изделий.

Для выполнения этого вида анализа каждому виду отказа необходимо назначить качественный параметр, характеризующий вероятность его возникновения – уровень вероятности возникновения. Возможные значения этого параметра регламентированы в [5] (таблица 3).

Таблица 3. Уровни вероятности возникновения вида отказа

| Уровень вероятности возникновения отказа | Описание |
|--|---|
| A | Частый отказ. Вероятность возникновения отказа за заданное время работы превышает 0.2. |
| B | Вероятный отказ. Вероятность возникновения отказа за заданное время составляет от 0.1 до 0.2. |
| C | Возможный отказ. Вероятность возникновения отказа за заданное время составляет от 0.01 до 0.1. |
| D | Редкий отказ. Вероятность возникновения отказа за заданное время составляет от 0.001 до 0.01. |
| E | Маловероятный отказ. Вероятность возникновения отказа за заданное время ниже 0.001. |

Процедура качественного анализа критичности заключается в назначении приоритетов корректирующих и компенсирующих действий видам отказов в зависимости от КТПО и заданного уровня вероятности возникновения отказа.

Для этого виды отказов распределяются по матрице критичности, на горизонтальной оси которой отложены значения КТПО, а на вертикальной – уровни вероятности возникновения отказа (рис. 4-13).

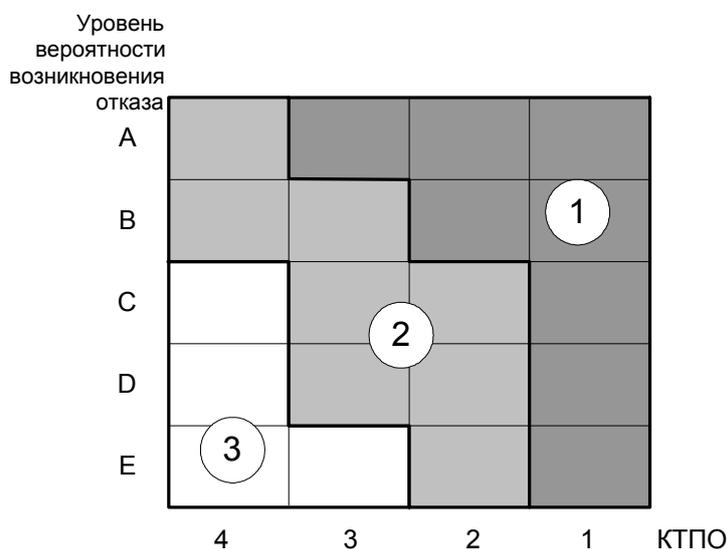


Рис. 4-13. Матрица критичности для качественного анализа

На матрице специалистами-аналитиками для каждого проекта индивидуально выделяются области равных приоритетов (в рассматриваемом примере это три области: 1 – высокого, 2 – среднего и 3 – низкого приоритета).

В зависимости от того, в какую область матрицы критичности попадает вид отказа, ему назначается соответствующий приоритет корректирующих и компенсирующих действий. Рекомендуется следующая классификация элементов по приоритетам корректирующих и компенсирующих действий (таблица 4).

Таблица 4. Классификации элементов по приоритетам

| Приоритет | Рекомендации |
|-----------|---|
| 1 | Функция/элемент, хотя бы один отказ которого требует особого внимания при разработке конструкции. Для таких функций/элементов необходимо предусмотреть системы контроля, сигнализации и компенсации отказа. Эти элементы должны рассматриваться как первоочередные кандидаты на изменение конструкции (замену) с целью повышения надежности всего изделия. Функция/элемент нуждается в полномасштабном АВПКО. |
| 2 | Функция/элемент, отказы которого требуют внимания при разработке. Требуется оценка необходимости разработки систем контроля, сигнализации и компенсации отказа. Может потребоваться измене- |

| Приоритет | Рекомендации |
|-----------|--|
| | ние конструкции (замена) с целью повышения надежности всего изделия. Для функции/элемента рекомендуется провести полномасштабный АВПКО. |
| 3 | Функция/элемент, которая требует минимального АВПКО для подтверждения значения приоритета. Не рассматривается как кандидат на доработку/замену. Не требует ввода систем контроля, сигнализации и компенсации отказа. |

4.5.4.2.2 Количественный анализ критичности

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

Для выполнения количественного анализа критичности необходимо задать следующие параметры:

1. Для каждого анализируемого элемента (ЛСИ или ЛСФ):

λ_i – интенсивность отказов i -го элемента, 1/ е.и.²⁵ наработки.

2. Для каждого вида отказа анализируемого элемента:

α_{ij} – доля j -го вида отказа i -го элемента. Если для элемента описан только один вид отказа, то $\alpha_{ij} = 0$. Если для элемента описано несколько видов от-

казов, то должно выполняться условие $\sum_{j=1}^J \alpha_{ij} = 1$, где J – количество видов

отказов элемента. Если $\sum_{j=1}^J \alpha_{ij} < 1$, то описаны не все возможные виды отказа элемента.

β_{ij}^K – вероятность возникновения последствия K -й категории тяжести для j -го вида отказа i -го элемента ($K = 1, 2, 3, 4$ – КТПО, назначенное j -му виду отказа). Если для вида отказа описано несколько возможных последствий с разными КТПО, то необходимо определить вероятность возникновения последствия с наихудшим значением КТПО.

²⁵ е.и. – единица измерения.

Число критичности j -го вида отказа i -го элемента ЛСИ рассчитывается по формуле, приведённой в [5]:

$$Cm_{ij}^K = \beta_{ij}^K \cdot \alpha_{ij} \cdot \lambda_i \cdot (T_{\text{работы}})_i, \quad (1)$$

где:

Cm_{ij}^K – число критичности j -го вида отказа i -го элемента ЛСИ K -й (наихудшей) категории тяжести последствий;

$(T_{\text{работы}})_i$ – наработка i -го элемента ЛСИ за время миссии.

Как следует из (1), число Cm_{ij}^K равно количеству отказов j -го вида i -го элемента ЛСИ, приводящих к K -й (наихудшей) категории тяжести последствий, которое может возникнуть за наработку $(T_{\text{работы}})_i$.

Для назначения приоритетов видам отказов, они распределяются по матрице критичности, на горизонтальной оси которой отложены значения КТПО, а на вертикальной – числа критичности видов отказов. Так как использование абсолютных значений чисел критичности неудобно²⁶, рекомендуется использовать относительную величину – относительное число критичности вида отказа P_{ij} , которое рассчитывается по формуле:

$$P_{ij} = \frac{Cm_{ij}^K}{\lambda_{\text{ФИ}} \cdot T_{\text{миссии}}}, \quad (2)$$

где:

Cm_{ij}^K – число критичности j -го вида отказа i -го элемента ЛСИ, определенное по формуле (1);

$\lambda_{\text{ФИ}}$ – интенсивность отказов ФИ, 1/е.и. наработки;

$T_{\text{миссии}}$ – наработка ФИ за время миссии, е.и. наработки.

На рис. 4-14 изображена матрица критичности, используемая для количественного анализа критичности видов отказов. На матрице выделены области равных приоритетов, назначаемые, как и в случае качественного анализа критичности, аналитиком, проводящим АВПКО, для каждого изделия индивидуально. Особенностью этой матрицы является то, что на вертикальной оси размещается непрерывная шкала относительных чисел критичности, в отличие от дискретной шкалы на рис. 4-13.

²⁶ Для высоконадежных элементов числа критичности весьма малы.

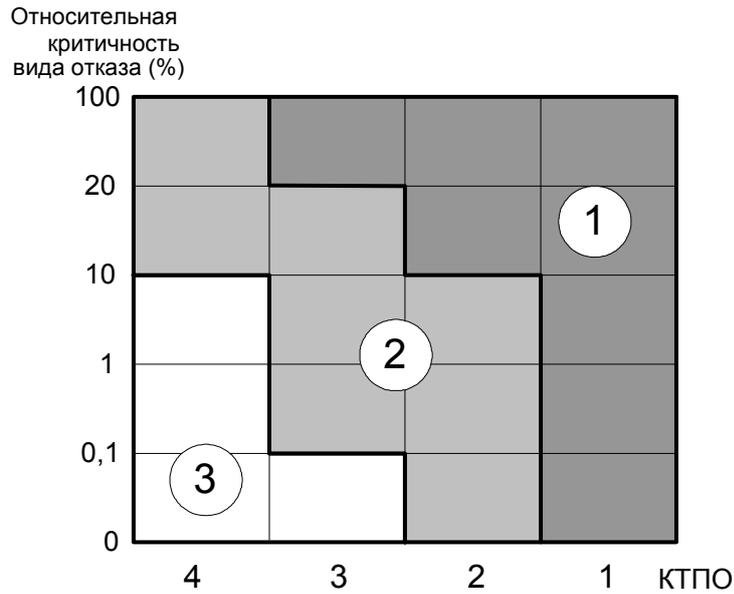


Рис. 4-14. Матрица критичности для количественного анализа

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

Для упорядочения элементов ЛСИ по критичности, необходимо рассчитать числа критичности элементов отдельно для каждой КТПО, т.е. для i -го элемента определяются четыре числа критичности: $(Cr1)_i$; $(Cr2)_i$; $(Cr3)_i$; $(Cr4)_i$. Каждое число представляет собой сумму чисел критичности видов отказов этого элемента, относящихся к определенной КТПО:

$$\begin{aligned}
 (Cr1)_i &= \sum_{j=1}^{N_1} Cm_{ij}^1; & (Cr2)_i &= \sum_{j=1}^{N_2} Cm_{ij}^2; \\
 (Cr3)_i &= \sum_{j=1}^{N_3} Cm_{ij}^3; & (Cr4)_i &= \sum_{j=1}^{N_4} Cm_{ij}^4;
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где:

$Cm_{ij}^1, Cm_{ij}^2, Cm_{ij}^3, Cm_{ij}^4$ – числа критичности j -го вида отказа i -го элемента ЛСИ, относящегося к 1, 2, 3, 4 категории тяжести последствий (рассчитываются по формуле (1)); j – порядковый номер вида отказа элемента ЛСИ, относящегося к 1, 2, 3, 4 категории тяжести последствий;

N_1, N_2, N_3, N_4 – количество видов отказов i -го элемента, относящихся к 1, 2, 3, 4 категории тяжести последствий.

Если с элементом не связаны виды отказов с КТПО = K , то $(CrK)_i = 0$ при $K = 1$ или 2, или 3, или 4.

В расчетах вместо величин Cm_{ij}^K могут использоваться относительные значения, определяемые по формуле (2).

Упорядочение элементов ЛСИ по критичности осуществляется по трем параметрам: приоритету корректирующих и компенсирующих действий, КТПО и числу критичности элемента. Сначала из ЛСИ выбирают все элементы, чьи виды отказа отнесены к 1-му приоритету и имеют КТПО = 1, и упорядочивают по убыванию числа критичности элемента. Затем выбирают элементы, чьи виды отказа имеют 1-й приоритет, но КТПО = 2, и также упорядочивают по убыванию числа критичности, и так далее – по убыванию приоритета и КТПО. Упорядоченный по критичности перечень элементов ЛСИ может использоваться при разработке конструкции изделия для определения очередности внесения изменений в конструкцию с целью повышения надежности, а также при разработке планов обслуживания изделия для определения элементов, которым при эксплуатации необходимо профилактическое обслуживание.

4.6. Анализ обслуживания, обеспечивающего надежность (АООН)

4.6.1. Общие сведения и исполнители

Анализ обслуживания, обеспечивающего надёжность (АООН), – методика определения набора операций планового технического обслуживания ФИ и оптимального интервала между этими операциями. Методика проведения АООН для изделий авиационной техники описана в стандарте АТА MSG-3 [25].

Цели эффективной программы планового технического обслуживания заключаются в следующем:

- обеспечение заданных уровней надежности и безопасности самолета;
- восстановление надежности и безопасности до заложенных при проектировании уровней в случае их понижения;
- получение информации, необходимой для улучшения конструкции тех изделий, надежность которых оказалась недостаточной;

- достижение этих целей с минимальными суммарными затратами, включая затраты на техническое обслуживание и затраты, вызванные отказами.

В общем случае программа технического обслуживания состоит из двух групп работ:

1. **Плановые работы**, которые должны выполняться с определенной периодичностью. Целью этих работ является предупреждение снижения уровней надежности и безопасности, заложенных при проектировании. Программа планового технического обслуживания может включать:
 - смазку/заправку;
 - проверку работоспособности/визуальную проверку;
 - осмотр/проверку исправности;
 - восстановление;
 - замену и списание.
2. **Неплановые работы**, которые являются результатом:
 - плановых работ, выполняемых с установленной периодичностью (например, если при выполнении плановой работы обнаружен отказ);
 - сообщений о неисправностях (обычно исходящих от летного экипажа и систем встроенного контроля);
 - анализа информации (например, данных, которые указывают на возможность наступления отказа, хотя отказ еще не произошел).

В данном разделе рассмотрен только алгоритм формирования требований к плановому обслуживанию. Подходы к формированию списка неплановых работ приведены в разделе 4.8. Следует обратить внимание, что методика описывает способ формирования начального перечня плановых работ по обслуживанию, который затем должен корректироваться и расширяться на основании имеющихся нормативных документов на данный тип изделий, данных об эксплуатации аналогов, о результатах испытаний и реальной эксплуатации изделия.

Для разработки программы планового технического обслуживания формируются одна или более рабочих групп (возможна отдельная группа по каждой системе или группе систем), в которую должны входить:

- конструктор по системе;
- инженер по надежности и безопасности самолета;
- инженер-испытатель;
- техники по обслуживанию и ремонту;
- специалист по АЛП и/или АООН;
- представители заказчика/эксплуатанта, если заказчик выдвигает такие требования.

Кроме того, в рабочую группу должны входить представители государственных авиационных властей. Порядок взаимодействия с государственными службами и порядок утверждения результатов анализа должны быть выработаны и официально утверждены в организации-проектанте перед началом анализа.

Процесс АООН представляет собой поэтапный логический анализ элементов конструкции и их видов отказов, следовательно, основными исходными данными для АООН являются результаты структурного, функционального анализа (ЛСФ и ЛСИ) и результаты АВПКО.

4.6.2. Пример анализа систем самолета и силовой установки

4.6.2.1 Выбор объекта анализа

Объектом анализа систем самолета и силовой установки является смешанная структура ЛСФ – ЛСИ. Последовательно анализируется каждый функциональный блок ЛСФ. Предметом рассмотрения являются:

- 1) функции анализируемой системы или части системы;
- 2) функциональные отказы и их последствия;
- 3) причины каждого функционального отказа, т.е. отказы элементов ЛСИ (LRU).

Все эти данные являются результатом АВПКО, проведенного ранее (раздел 4.5.4).

Так как процедура АООН является достаточно сложной и трудоемкой, то анализу должны подвергаться не все функциональные блоки и компоненты системы, а только наиболее критичные. Выбор таких компонентов осуществляется перед началом анализа по следующим критериям:

- могут ли отказы не обнаруживаться или иметь малую вероятность обнаружения летным экипажем в нормальных условиях?
- может ли отказ влиять на безопасность (на земле или в полете), включая системы обеспечения безопасности/аварийные системы или оборудование?
- может ли отказ иметь значительное влияние на эксплуатацию (возможность выполнения самолетом своей миссии)?
- может ли отказ иметь существенное влияние на экономику (например, дополнительные затраты на устранение отказа или издержки от простоя самолета)?

АООН необходим для тех изделий/компонентов, которые имеют положительный ответ по крайней мере на один из четырех вопросов. Соответственно функциональный блок, в который входит этот компонент, также подлежит анализу. Для тех компонентов, которые имеют отрицательный ответ на все четыре вопроса, АООН не требуется. Если все компоненты (элементы ЛСИ), связанные с функциональным блоком, не требуют

выполнения анализа, то такой функциональный блок также не должен рассматриваться в процессе АООН.

4.6.2.2 Алгоритм анализа

Для проведения АООН используются логические диаграммы, содержащие вопросы, которые задаются относительно разных объектов анализа. Ответы на вопросы (ДА/НЕТ) приводят к определению категории последствий отказа, вида плановой работы или к следующему вопросу алгоритма.

Алгоритм АООН систем самолёта и силовой установки состоит из двух уровней (рис. 4-15 и рис. 4-16):

- **на 1-ом уровне** (вопросы 1, 2, 3 и 4) требуется оценить каждый ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ОТКАЗ для определения КАТЕГОРИИ ОТКАЗА АООН, т.е. установить его влияние на безопасность (явное, скрытое или отсутствие такого влияния), эксплуатацию, экономику;
- **на 2-ом уровне** (вопросы 5, 6, 7, 8 и 9, от «А» до «F») для каждого функционального отказа рассматривается ПРИЧИНА(Ы) ОТКАЗА с целью выбора конкретного вида работы (работ) по техническому обслуживанию.

На 2-ом уровне для выбора работ введена как параллельная логика, так и логика по умолчанию. Независимо от ответа на первый вопрос (А) о «Смазке/Обслуживании», следующий вопрос о выборе работ должен быть задан обязательно. Для категорий явного и скрытого влияния на безопасность следует отвечать на все последующие вопросы. Для других категорий, в случае ответа «Да» на второй вопрос (В), разрешается прекратить анализ.

Логика по умолчанию может использоваться в тех ветвях алгоритма, которые не связаны с влиянием отказа на безопасность. В случае недостатка достоверной информации для ответа «Да» или «Нет» на вопросы 2-го уровня, логика по умолчанию диктует, что следует ответить «Нет» и задать следующий вопрос. При ответе «Нет» имеется единственное продолжение – это следующий вопрос, который, в большинстве случаев, предусматривает более сложные и /или дорогостоящие работы.

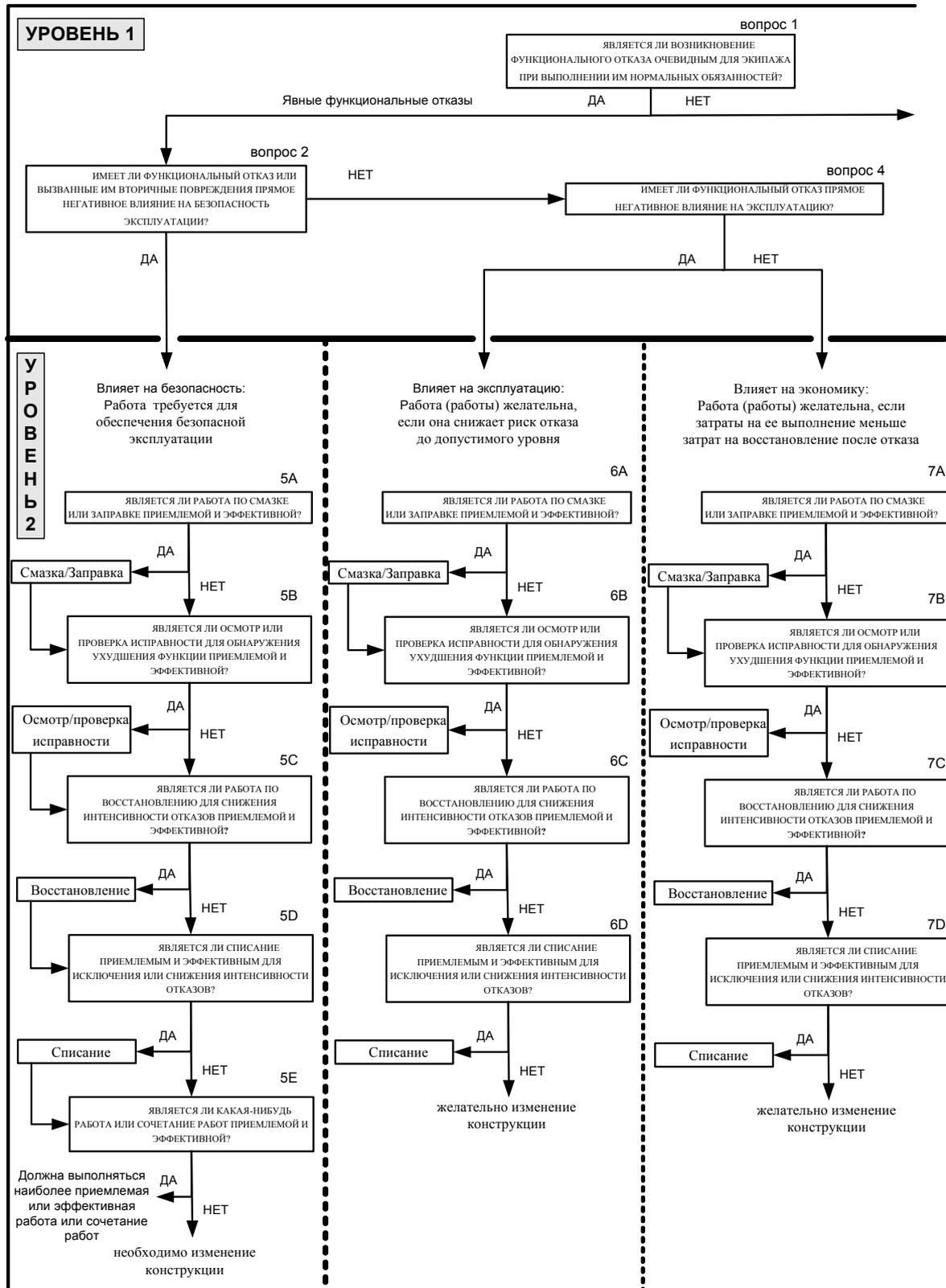


Рис. 4-15. Алгоритм АОН

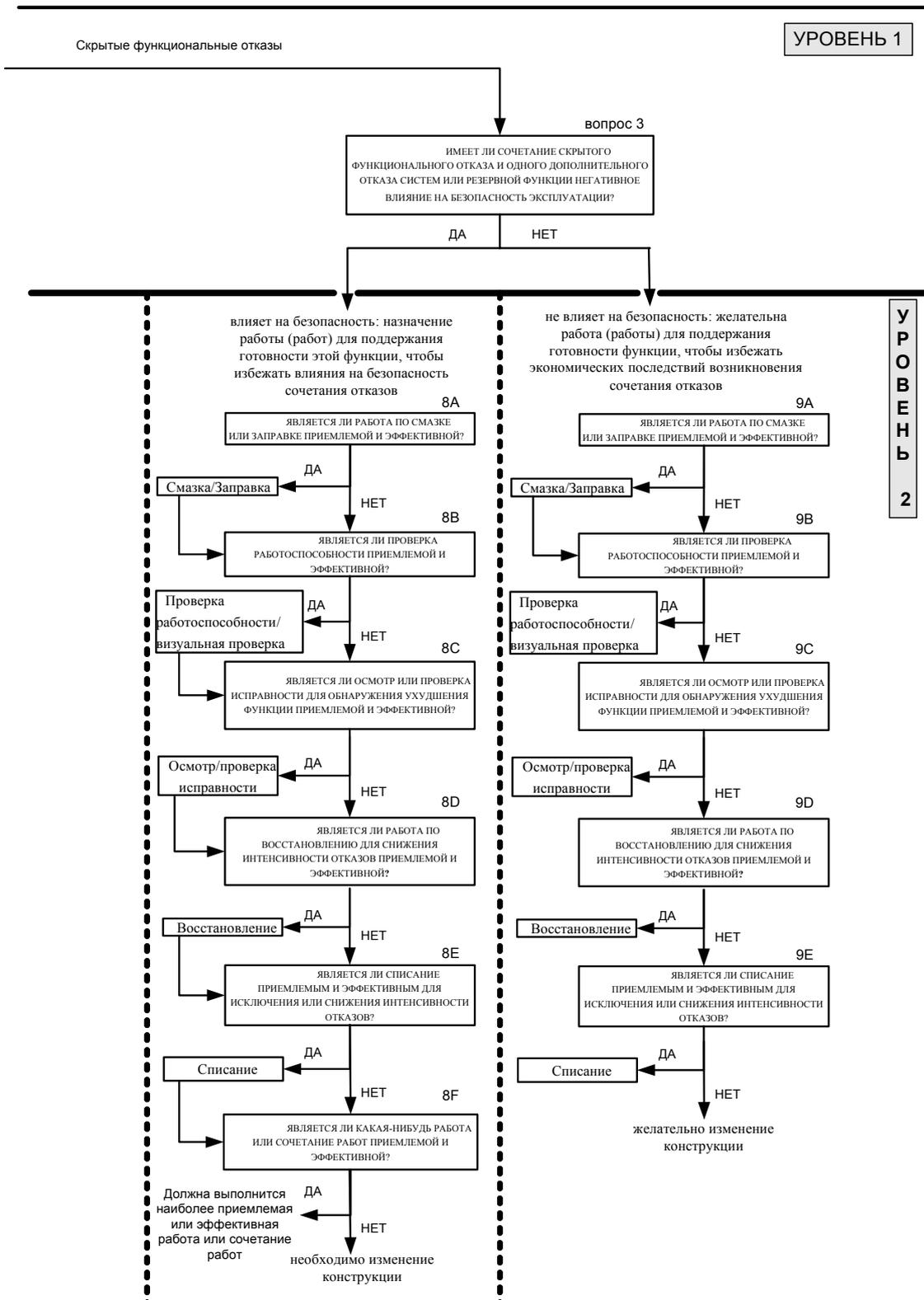


Рис. 4-16. Алгоритм АООН (продолжение)

4.6.2.3 Первый уровень алгоритма (определение категории отказа АООН)

Логическая схема принятия решения облегчает определение категории отказа. На 1-ом уровне алгоритма задаются 4 вопроса по отношению к каждому функциональному отказу выбранного функционального блока.

Явный или скрытый функциональный отказ

Вопрос 1: Является ли возникновение функционального отказа очевидным для экипажа при выполнении им *нормальных* обязанностей?

Этот вопрос выясняет, будет ли летный экипаж знать о функциональном отказе при выполнении им нормальных обязанностей. Цель этого вопроса – разделить явные и скрытые функциональные отказы. *Нормальными* являются обязанности, связанные с повседневной текущей эксплуатацией самолета, описанные, большей частью, в руководстве по летной эксплуатации (РЛЭ). Если существуют проверки, не включенные в РЛЭ, но которые могут выполняться летным экипажем для обнаружения отказа, то при анализе следует отметить этот момент, а также необходимость включения данной процедуры в РЛЭ, в этом случае отказ может быть отнесен к «явным». Если в будущем будет принято решение не включать данную проверку в РЛЭ, то категория отказа должна быть изменена на «скрытый».

Отказы систем, о которых сигнализируется летному экипажу во время выполнения им своих нормальных функций, должны считаться явными.

Прямое негативное влияние на безопасность

Вопрос 2: Имеет ли функциональный отказ или вызванные им вторичные повреждения *прямое негативное влияние на безопасность эксплуатации*?

Прямое влияние: функциональный отказ или вызванные им вторичные повреждения влияют на безопасность непосредственно, без сочетания с другими функциональными отказами (отсутствует резервирование, и единичный отказ влияет на вылет самолета).

Негативное влияние на безопасность: негативным влиянием на безопасность следует считать условие, при котором последствия отказа могут прервать безопасный полет, негативно повлиять на приземление самолета и/или нанести ущерб жизни и здоровью находящихся на борту людей.

Эксплуатация: период времени, в течение которого экипаж находится на борту с целью совершения полета.

Влияние скрытого функционального отказа на безопасность

Вопрос 3: Имеет ли сочетание скрытого функционального отказа и одного дополнительного отказа систем или резервной функции негативное влияние на безопасность эксплуатации?

Этот вопрос задается по отношению к каждому скрытому функциональному отказу, определенному с помощью вопроса 1. Вопрос распространяется на отказы, в которых потеря одной скрытой функции, об отказе которой неизвестно летному экипажу, не влияет сама по себе на безопасность, однако, в сочетании с дополнительным функциональным отказом (системы или резерва) имеет негативное влияние на безопасность полета. Для систем, обеспечивающих безопасность, и аварийных систем или оборудования этот дополнительный отказ является тем событием, ради которого была разработана система или оборудование.

Влияние на эксплуатацию

Вопрос 4: Имеет ли функциональный отказ прямое негативное влияние на эксплуатацию?

Этот вопрос выясняет, может ли функциональный отказ иметь негативное влияние на эксплуатацию:

- 1) влияние, требующее введения эксплуатационных ограничений или корректирующих действий перед предстоящим вылетом;
- 2) влияние, требующее от летного экипажа выполнения нестандартных или аварийных процедур.

Этот вопрос задается по отношению к каждому явному функциональному отказу, оказывающему прямого негативного влияния на безопасность. Ответ может зависеть от режима эксплуатации. Оценка влияния или отсутствия влияния на эксплуатацию может потребовать консультации с MMEL (Главный Перечень Минимального состава Оборудования) и/или с другими документами, регламентирующими методику эксплуатации. Так как документы, необходимые для оценки влияния на эксплуатацию, обычно недоступны во время начальной стадии проведения АООН, рабочие группы при рассмотрении вопроса 4 должны дать ответ на основе предположений (допущений). Как только необходимые документы становятся доступными, все ответы должны быть проверены и утверждены.

Ответы на вопросы первого уровня определяют, какую из пяти категорий отказа АООН нужно присвоить анализируемому функциональному отказу.

Категория 5: явный отказ – влияет на безопасность. Работа по предотвращению данного отказа требуется для обеспечения безопасной эксплуатации. В этой категории нужно задавать все вопросы второго уровня по отношению к причинам отказа. Если

анализ этой категории не приводит к назначению каких-либо эффективных работ, то необходимо изменение конструкции.

Категория 6: явный отказ – влияет на эксплуатацию. Работа (работы) желательна, если она снижает риск отказа до допустимого уровня. Анализ причин отказа по логической схеме второго уровня требует обязательного ответа на первый вопрос (А) относительно смазки/заправки. Любой ответ на этот вопрос предусматривает переход к следующему вопросу. После второго вопроса (В) ответ «Да» будет завершать анализ (выбранная работа (работы) удовлетворяет всем требованиям). Если ответы на все вопросы отрицательны («Нет»), т.е. не выбрано ни одной работы, и если ущерб для летной эксплуатации от данного функционального отказа серьезен, то может быть желательно изменение конструкции.

Категория 7: явный отказ – влияет на экономику. Работа (работы) желательна, если затраты на ее выполнение меньше затрат на восстановление после отказа. Анализ причин отказа по логической схеме второго уровня требует обязательного ответа на первый вопрос (А) относительно смазки/заправки. Любой ответ на этот вопрос предусматривает переход к следующему вопросу. После второго вопроса (В) ответ «Да» будет завершать анализ (выбранная работа/работы удовлетворяет всем требованиям). Если ответы на все вопросы отрицательны («Нет»), т.е. не выбрано ни одной работы, и если ущерб для летной эксплуатации от данного функционального отказа серьезен, то может быть желательно изменение конструкции.

Категория 8: скрытый отказ – влияет на безопасность. Влияние на безопасность скрытой функции требует назначение работы (работ) для поддержания готовности этой функции, чтобы избежать влияния на безопасность сочетания отказов. По отношению к причине такого отказа должны быть заданы все вопросы второго уровня. Если эффективных работ не найдено, то необходимо изменение конструкции.

Категория 9: скрытый отказ – не влияет на безопасность. Для отказов категории 9 может быть желательной работа (работы) для поддержания готовности функции, чтобы избежать экономических последствий возникновения сочетания отказов. Анализ причин отказа по логической схеме второго уровня требует обязательного ответа на первый вопрос (А) относительно смазки/заправки. Любой ответ на этот вопрос предусматривает переход к следующему вопросу. Со второго вопроса (В) ответ «Да» будет завершать анализ (выбранная работа (работы) удовлетворяет всем требованиям). Если ответы на все вопросы отрицательны («Нет»), т.е. не выбрано ни одной работы, и если ущерб для экономики от данного функционального отказа серьезен, то может быть желательно изменение конструкции.

После того, как таким образом проанализированы все функциональные отказы, переходят к анализу причин отказов – т.е. видов отказов элементов конструкции, которые являются причинами функциональных отказов.

4.6.2.4 Второй уровень алгоритма (определение состава работ)

Определение состава работ выполняется почти одинаково для всех пяти категорий отказа АООН. Для определения состава работ нужно провести анализ причин функционального отказа с помощью логической схемы второго уровня, которая состоит из шести вопросов и немного различается для разных категорий отказа.

Смазка/заправка (для всех категорий).

Вопросы 5А, 6А, 7А, 8А, 9А: Является ли работа по смазке или заправке приемлемой и эффективной?

Имеется в виду любая смазка или заправка расходными материалами/жидкостями с целью поддержания заложенных в конструкции характеристик.

Критерий приемлемости: пополнение расходного материала должно снижать скорость ухудшения характеристик.

Критерий эффективности – по влиянию на безопасность: работа должна снижать вероятность отказа.

Критерий эффективности – по влиянию на летную эксплуатацию: работа должна снижать вероятность отказа до допустимого уровня.

Критерий эффективности – по влиянию на экономику: работа должна быть экономически эффективной.

Проверка работоспособности/визуальная проверка (только для категорий скрытого функционального отказа).

Вопросы 8В и 9В: Является ли проверка работоспособности приемлемой и эффективной?

Проверка работоспособности – это работа, которая устанавливает, выполняет ли изделие предписанную функцию. Проверка не требует количественных допусков, это работа по обнаружению факта отказа.

Визуальная проверка – наблюдение (исследование), которое устанавливает, выполняет ли изделие предписанную функцию. Проверка не требует количественных допусков. Это работа по обнаружению факта отказа.

Критерий приемлемости: должно быть возможным определение факта отказа (визуально или другими не инструментальными средствами).

Критерий эффективности – по влиянию на безопасность: работа должна обеспечить необходимую надежность скрытой функции для снижения вероятности возникновения сочетания отказов, влияющего на безопасность.

Критерий эффективности – по влиянию на экономику: работа должна обеспечить необходимую надежность скрытой функции для того, чтобы избежать экономического ущерба от сочетания отказов и быть экономически эффективной.

Осмотр/Проверка исправности (для всех категорий).

Вопросы 5В, 6В, 7В, 8С и 9С: Является ли осмотр или проверка исправности для обнаружения ухудшения функции приемлемой и эффективной?

Осмотром является:

1. **Общий визуальный осмотр** – визуальное исследование внутренней или внешней зоны, монтажа или сборки с целью выявления явного повреждения, отказа или отклонения от нормы. Этот вид проверки проводится в пределах досягаемости, если другой не оговорен. Для улучшения визуального осмотра всех доступных поверхностей зоны осмотра может использоваться зеркало. Этот вид осмотра обычно проводится при имеющемся освещении: дневном свете, ангарном освещении, свете карманного фонаря или переносной лампы. Он может потребовать снятия или открытия эксплуатационных панелей или люков. Для доступа к проверяемому месту могут потребоваться стремянки, лестницы или площадки.
2. **Детальный осмотр** – тщательное визуальное исследование конкретных мест конструкции (системы), монтажа или сборки с целью выявления повреждения, отказа или отклонения от нормы. Имеющееся освещение обычно дополняется источником прямого освещения с соответствующей установкой интенсивности. Могут использоваться вспомогательные средства осмотра, такие как зеркала, увеличительные стекла и т.д. Может потребоваться очистка поверхности и сложные процедуры доступа.
3. **Специальный детальный осмотр** – тщательное исследование конкретных изделий, монтажа или сборки с целью выявления повреждения, отказа или отклонения от нормы. При этом исследовании могут широко использоваться специализированная методология осмотра и/или оборудование. Может потребоваться тщательная очистка с последующим доступом и разборкой.

Проверка исправности – это количественная проверка для того, чтобы установить, находится ли одна или более функций в установленных пределах.

Критерий приемлемости: должны выявляться снижение устойчивости изделия к развитию отказа и интервал между ухудшением состояния и функциональным отказом.

Критерий эффективности – по влиянию на безопасность: работа должна снижать риск отказа для гарантии безопасной эксплуатации.

Критерий эффективности – по влиянию на летную эксплуатацию: работа должна снижать риск отказа до допустимого уровня.

Критерий эффективности – по влиянию на экономику: работа должна быть экономически эффективной, т.е. затраты на ее выполнение должны быть меньше затрат на восстановление после отказа и на простой вследствие отказа.

Восстановление (для всех категорий).

Вопросы 5С, 6С, 7С, 8D, 9D: Является ли работа по восстановлению для снижения интенсивности отказов приемлемой и эффективной?

Эта работа нужна для того, чтобы вернуть изделие к установленным для него техническим требованиям. Так как восстановление может варьироваться от чистки или замены отдельных частей до капитального ремонта, объем каждой назначенной работы по восстановлению должен быть точно указан.

Критерий приемлемости: изделие должно проявлять признаки ухудшения функциональных характеристик при некотором, поддающемся определению сроке службы, и большая часть изделий должна дорабатывать до этого срока службы. Должно быть возможно восстановление изделия до установленных норм сопротивляемости отказу.

Критерий эффективности – по влиянию на безопасность: работа должна снижать риск отказа для гарантии безопасной эксплуатации.

Критерий эффективности – по влиянию на летную эксплуатацию: работа должна снижать риск отказа до допустимого уровня.

Критерий эффективности – по влиянию на экономику: работа должна быть экономически эффективной, т.е. затраты на ее выполнение должны быть меньше затрат на восстановление после отказа или на простой вследствие отказа.

Списание (для всех категорий).

Вопросы 5D, 6D, 7D, 8E, 9E: Является ли списание приемлемым и эффективным для исключения или снижения интенсивности отказов?

Списание понимается, как снятие изделия с эксплуатации при достижении установленного срока службы. Работы по списанию обычно назначаются так называемым одноэлементным изделиям, как например, пиропатроны, фильтроэлементы, баллоны, диски двигателей, элементы конструкции с ограниченным безопасным сроком службы и др.

Критерий приемлемости: изделие должно проявлять признаки ухудшения функциональных характеристик при некотором, поддающемся определению, сроке службы, и большая часть изделий должна дорабатывать до этого срока службы.

Критерий эффективности – по влиянию на безопасность: ограничение безопасного срока службы должно снижать риск отказа для гарантии безопасной эксплуатации.

Критерий эффективности – по влиянию на летную эксплуатацию: работа должна снижать риск отказа до допустимого уровня.

Критерий эффективности – по влиянию на экономику: ограничение срока службы должно быть экономически выгодно, т.е. затраты на выполнение работы должны быть меньше затрат на отказы, которые она предупредила.

Сочетание работ (только для категорий влияния на безопасность эксплуатации).

Вопрос 5Е: Является ли какая-нибудь работа или сочетание работ приемлемой и эффективной?

Этот вопрос должен определить категорию влияния на безопасность, в которой обязательно должна быть выбрана какая-нибудь работа. В том случае, если ни одна работа не выбрана, рекомендуется изменение конструкции изделия.

4.6.2.5 Определение периодичности выполнения выбранных работ

4.6.2.5.1 Общие сведения

Рабочая группа должна определить наиболее подходящую периодичность каждой выбранной работы по техобслуживанию на основе имеющихся данных и инженерной оценки. Пока изделие не войдет в эксплуатацию, определённые данные по интенсивности отказов и характеристикам компонентов часто отсутствуют. В этом случае периодичность каждой работы по техобслуживанию систем определяется, в основном, на основе опыта эксплуатации подобных систем и агрегатов.

Работа по техобслуживанию не должна выполняться чаще, чем подсказывает опыт или другие данные. Работы, которые выполняются чаще, чем необходимо, увеличивают опасность ошибок, допущенных в процессе техобслуживания, и могут оказать отрицательное воздействие на надежность и безопасность. Кроме того при этом резко возрастают затраты на обслуживание.

При определении наиболее подходящей периодичности работ по техобслуживанию рабочей группе необходимо учитывать:

- результаты испытаний, проведенных изготовителем, и технический анализ этих результатов;
- рекомендации изготовителя и/или фирмы-поставщика;
- требования заказчика;
- опыт эксплуатации таких же или подобных систем /подсистем;
- обоснованную инженерную оценку.

Рабочая группа должна оценить начальный интервал для каждой работы по техобслуживанию на основе всех имеющихся в распоряжении данных. Как часть такой оценки рабочая группа должна проанализировать ответы на следующие вопросы:

1. Какой опыт эксплуатации общих/подобных изделий/элементов/систем на других самолетах имеется в распоряжении, чтобы определить наиболее эффективный интервал (периодичность) работы?
2. Какие усовершенствования конструкции, обеспечившие более продолжительный интервал между проверками, были внесены?
3. Какой интервал между работами рекомендуют фирма-поставщик/изготовитель на основе проверочных данных и анализа отказов?

В разделе 4.6.2.5.2 предложена расчетная методика для определения периодичности обслуживания компонентов конструкции на основании данных об их надежности (интенсивности отказов) и критичности (тяжести последствий отказа).

Задача состоит в определении такой периодичности профилактических работ $t_{пр}$ по обслуживанию и ремонту основных систем, агрегатов и узлов изделия, при которой вероятность безотказной работы этих систем, агрегатов и узлов будет не менее заданной величины $P_0 < 1$. Расчет периодичности выполняется для элементов ЛСИ, при этом значение P_0 определяется на основании КТПО, присвоенной видам отказов элемента в процессе АВПКО. Для элементов ЛСИ, виды отказов которых имеют КТПО = 1 или 2, эти значения – наибольшие (например, 0,99 или даже 0,999), а для элементов с КТПО 3 и 4 – меньше.

4.6.2.5.2 Методика расчета периодичности обслуживания

4.6.2.5.2.1 Основные предположения и допущения

Пусть в изделии имеется элемент (система, агрегат, узел), подверженный отказам. Поток отказов – простейший (пуассоновский) с параметром (интенсивностью) λ . Средняя наработка на отказ:

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda}$$

Наработка может исчисляться в различных единицах измерения: в календарном времени, в часах налета (для самолетов), в километрах пробега (для наземных транспортных средств), в рабочих циклах и т.д. Ниже для простоты изложения используется календарное время, хотя переход к другим единицам измерения не представляет трудности.

Предположим, что через некоторое время $t_{пр}$ работоспособность элемента полностью восстанавливается за счет обслуживания, ремонта или замены на новый, так что начинается новый отсчет эксплуатационного ресурса.

Для пуассоновского потока отказов распределение времени между отказами – показательное, т.е. плотность вероятности:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Вероятность отказа к моменту времени $t_{\text{пр}}$ составит:

$$Q(t_{\text{пр}}) = (1 - e^{-\lambda t_{\text{пр}}}) \quad (5)$$

а вероятность безотказной работы:

$$P(t_{\text{пр}}) = e^{-\lambda t_{\text{пр}}} \quad (6)$$

В первом приближении предполагаем, что время восстановления работоспособности элемента равно нулю. В дальнейшем будет рассмотрен случай с ненулевым временем восстановления (раздел 4.6.2.5.2.4). Предположение о нулевом времени восстановления оправдано, если наблюдение за изделием ведется в течение достаточно длительного интервала времени $T \gg t_{\text{пр}}$. В этом случае $Q(t_{\text{пр}})$ скачком приобретает нулевое значение, после чего процесс эксплуатации («жизни») элемента продолжается, и вероятность его отказа снова определяется выражением (5) с новым началом отсчета. Далее предположим, что за интервал времени $[t_{\text{пр}}, t_{\text{пр}(i+1)}]$ ($i = 1, \dots, n-1$, где n – число интервалов замены (восстановления) за время T) отказов не происходит. Как будет показано ниже, это предположение дает оценку определяемой величины $t_{\text{пр}}$ сверху. Если отказ все же происходит, то восстановление отказавшего элемента также происходит мгновенно, после чего возобновляется эксплуатационный ресурс и процесс продолжается.

4.6.2.5.2.2 Определение интервала ($t_{\text{пр}}$) между профилактическими работами

Изменение вероятности Q отказа в процессе эксплуатации изделия в соответствии с введенными предположениями представлено графически на рис. 4-17.

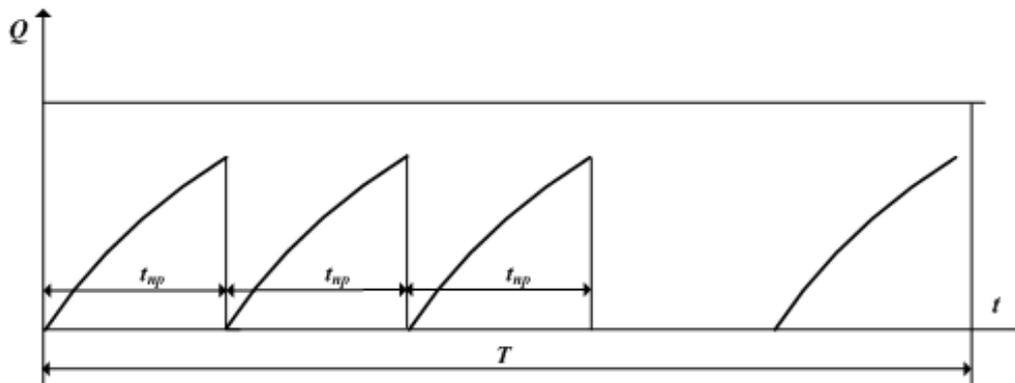


Рис. 4-17. График изменения вероятности отказа

Пусть P_0 – заданная вероятность безотказной работы элемента. Тогда с учетом (6) должно быть выполнено условие

$$P(t_{\text{пр}}) = e^{-\lambda t_{\text{пр}}} \geq P_0 \quad (7)$$

Решая неравенство (7), можно найти

$$\frac{t_{\text{пр}}}{t_{\text{ср}}} \leq -\ln P_0 \quad (8)$$

График, построенный в соответствии с (8), представлен кривой 1 на рис. 4-18.

Расчет по этой формуле дает крайне «пессимистическую» оценку длительности интервала между профилактиками. Так, если $P_0 = 0,9$, то $t_{пр} \leq 0,105t_{ср}$, т.е. длительность интервала между профилактиками должна быть менее 0,1 от средней наработки на отказ.

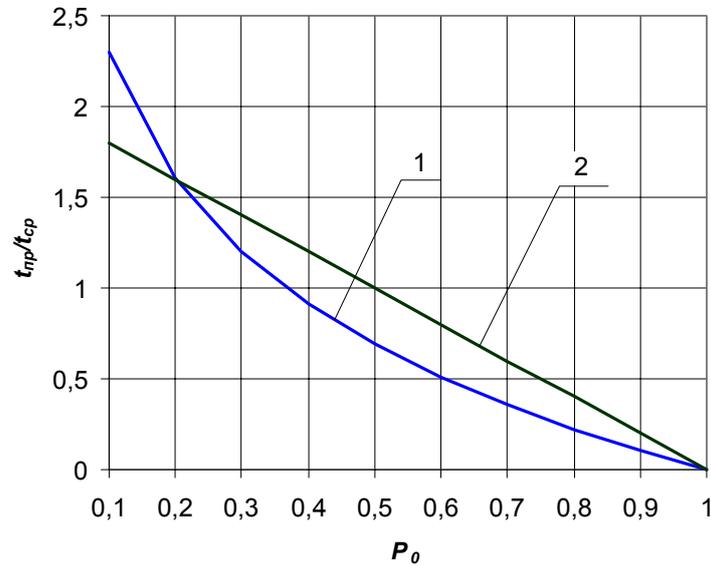


Рис. 4-18. Графики функций (8) и (16)

Для получения более оптимистической оценки, вычислим среднюю вероятность отказа на достаточно продолжительном интервале времени $T \gg t_{пр}$. Эту оценку можно получить следующим образом:

$$\tilde{Q} = \frac{1}{T} \left(\left[\frac{T}{t_{пр}} \right] \int_0^{t_{пр}} (1 - e^{-\lambda t}) dt + \delta \right), \quad (9)$$

где $\left[\frac{T}{t_{пр}} \right]$ — целая часть, а δ — дробная часть отношения $T/t_{пр}$.

Полагая, что $(T/t_{пр}) \gg 1$ и $\delta = 0$, получим:

$$\tilde{Q} = \frac{1}{t_{пр}} \int_0^{t_{пр}} (1 - e^{-\lambda t}) dt \quad (10)$$

Выполняя интегрирование и несложные преобразования, получим из (10):

$$\tilde{Q} = 1 - \frac{t_{ср}}{t_{пр}} \left(1 - e^{-\frac{t_{пр}}{t_{ср}}} \right) \quad (11)$$

Из (11) следует, что средняя вероятность безотказной работы на интервале $[0, T]$ равна:

$$\tilde{P} = \frac{t_{\text{cp}}}{t_{\text{np}}} \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}}} \right) \quad (12)$$

Для определения величины t_{np} необходимо, как и выше, решить неравенство:

$$\frac{t_{\text{cp}}}{t_{\text{np}}} \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}}} \right) \geq P_0 \quad (13)$$

Ввиду очевидной сложности аналитического решения этого неравенства, преобразуем его к виду

$$\left(1 - e^{-\frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}}} \right) \geq \frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}} P_0 \quad (14)$$

и разложим экспоненциальную функцию в степенной ряд, удерживая три члена этого ряда (погрешность разложения $\delta = (t_{\text{np}}/t_{\text{cp}})^3$). Тогда получим:

$$1 - \left[1 - \frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}} + \frac{1}{2} \left(\frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}} \right)^2 \right] \geq \frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}} P_0, \quad (15)$$

отсюда:

$$\frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}} \leq 2(1 - P_0) \quad (16)$$

При $P_0 = 0,9$ получим $t_{\text{np}} \leq 0,2 t_{\text{cp}}$, т.е. интервал времени между заменами оказывается в два раза больше, чем при расчете по формуле (8). Погрешность расчета по сравнению с (13) составит $(0,2)^3 = 0,008 = 0,8\%$, что вполне пригодно для практических расчетов. График, построенный в соответствии с (16), представлен прямой 2 на рис. 4-18.

На практике для выбора величины t_{np} можно пользоваться условием:

$$-\ln(P_0) \leq \frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}} \leq 2(1 - P_0) \quad \text{для } P_0 \geq 0,2, \quad (17)$$

откуда:

$$t_{\text{np}} \geq -t_{\text{cp}} \ln P_0, \quad (18)$$

$$t_{\text{np}} \leq 2t_{\text{cp}}(1 - P_0) \quad (19)$$

Формулу (18) следует использовать для элементов, отказы которых относятся к КТПО = 1 или 2, для остальных элементов (КТПО = 3, 4) рекомендуется применять формулу (19).

4.6.2.5.2.3 Определение интервала ($t_{пр}$) при возникновении отказа в интервале

Теперь рассмотрим случай, когда в интервале между профилактическими работами возникает отказ. Графически эта ситуация представлена на рис. 4-19. Поскольку, как следует из вышеизложенного, $t_{пр} / t_{ср} \ll 1$, на графике участки экспоненты заменены прямыми линиями.

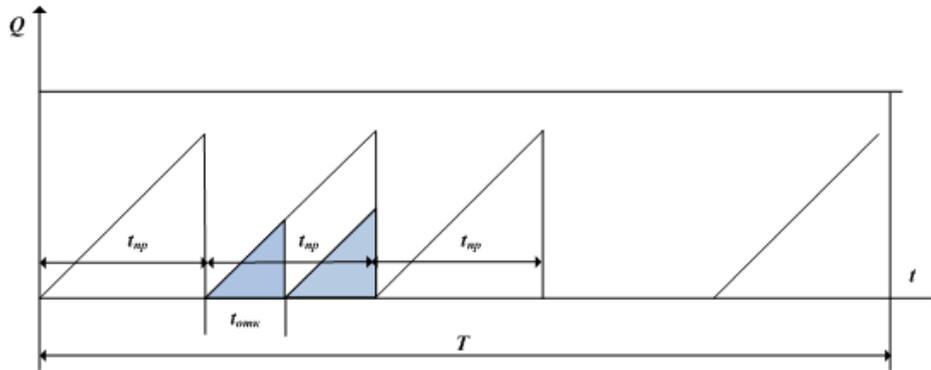


Рис. 4-19. График изменения вероятности отказа при возникновении отказа в период между обслуживаниями

Пусть $t_{отк}$ – момент наступления отказа (время отсчитывается от момента предыдущего восстановления). После отказа также происходит «мгновенное» восстановление, а затем возобновляется процесс эксплуатации с первоначальными характеристиками надежности (заштрихованные треугольники на рис. 4-19). Для рассматриваемого интервала $t_{пр}$ из элементарных геометрических соображений найдем среднюю вероятность отказа:

$$\tilde{Q}_{t_{пр}} = \frac{1}{t_{пр}} (S_1 + S_2), \tag{20}$$

где:

$$S_1 = \frac{t_{отк}^2}{2t_{ср}} - \text{площадь левого треугольника};$$

$$S_2 = \frac{(t_{пр} - t_{отк})}{2t_{ср}} - \text{площадь правого треугольника}.$$

Подставляя эти выражения в (20), полагая $t_{отк} = k t_{пр}$ ($k \leq 1$) и выполняя элементарные преобразования, получим:

$$\tilde{Q}_{t_{пр}} = \frac{t_{пр}}{2t_{ср}} \gamma_1, \tag{21}$$

где:

$$\gamma_1 = 2k(k - 1) + 1 \tag{22}$$

График функции (22) представлен на рис. 4-20 (кривая 1).

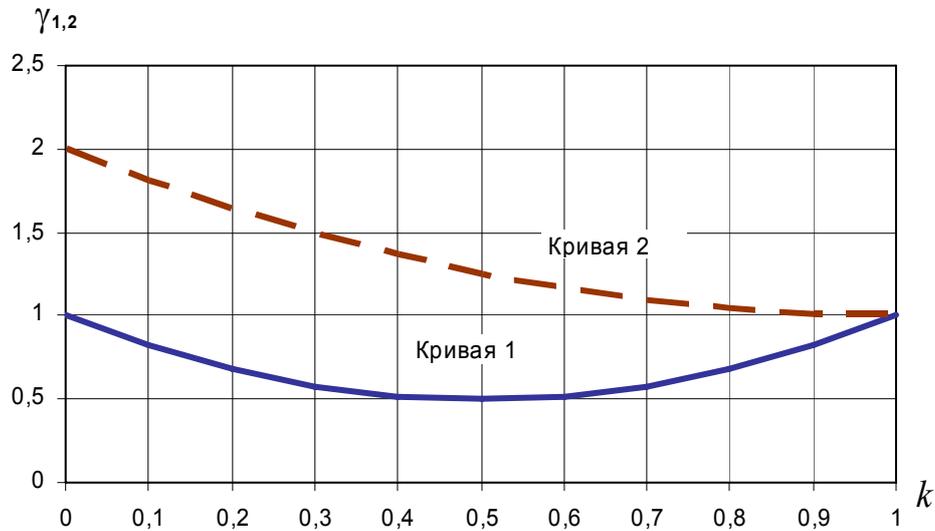


Рис. 4-20. Графики функций (22) и (25)

Из графика видно, что $0,5 \leq \gamma \leq 1$.

Предположим, что на интервале $[0, T]$ укладывается n интервалов длительностью $t_{\text{пр}}$, и на $m \leq n$ из этих интервалов происходит по одному отказу и восстановлению по описанной выше схеме (вероятность более одного отказа считается пренебрежимо малой). Тогда средняя вероятность отказов на интервале $[0, T]$:

$$\hat{Q} = \frac{1}{n} \left[m \gamma_1 \frac{t_{\text{пр}}}{2t_{\text{сп}}} + (n - m) \frac{t_{\text{пр}}}{2t_{\text{сп}}} \right] = \left[1 - \frac{m}{n} (1 - \gamma_1) \right] \frac{t_{\text{пр}}}{2t_{\text{сп}}}$$

Средняя вероятность безотказной работы:

$$\hat{P} = 1 - \hat{Q} = 1 - \left[1 - \frac{m}{n} (1 - \gamma_1) \right] \frac{t_{\text{пр}}}{2t_{\text{сп}}} \geq P_0,$$

откуда:

$$\frac{t_{\text{пр}}}{t_{\text{сп}}} \leq \frac{2(1 - P_0)}{\left[1 - \frac{m}{n} (1 - \gamma_1) \right]} \quad (23)$$

Поскольку $\left[1 - \frac{m}{n} (1 - \gamma_1) \right] \leq 1$, то $\hat{Q} \leq \tilde{Q}$, $\hat{P} \geq \tilde{P}$, т.е. средняя вероятность отказа меньше, а средняя вероятность безотказной работы больше, чем в случае, рассмотренном выше (раздел 4.6.2.5.2.2). Это означает, что время $t_{\text{пр}}$, найденное по формуле (23), будет больше, чем то же время, рассчитанное по формуле (16). Так, при $P_0 = 0,9$, $k =$

0,4, $\gamma_1 = 0,52$, $(m/n) = 0,5$, $t_{пр} = 2 \cdot 0,1 / (1 - 0,5 \cdot 0,48) = 0,263 t_{ср}$, т.е. при прочих равных условиях время $t_{пр}$ оказывается на 30% больше, чем рассчитанное по формуле (16).

Далее рассмотрим случай, когда отказ возникает вблизи правой границы интервала $t_{пр}$ (рис. 4-21).

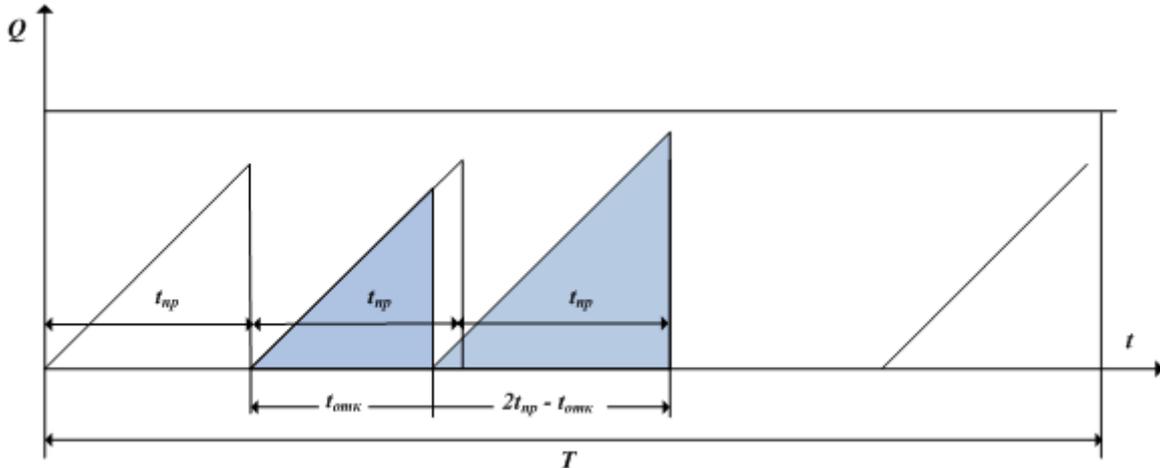


Рис. 4-21. График изменения вероятности отказа при возникновении отказа в период между обслуживаниями вблизи правой границы интервала $t_{пр}$

В этом случае нецелесообразно производить замену (восстановление) элемента в конце текущего интервала и имеет смысл отнести ее на конец следующего интервала $t_{пр}$. В этом случае средняя вероятность отказа на двух смежных интервалах:

$$\hat{Q}_{2t_{пр}} = \frac{t_{пр}}{2t_{ср}} \gamma_2, \quad (24)$$

где

$$\gamma_2 = (k - 1)^2 + 1 \geq 1 \quad (25)$$

График функции (25) – кривая 2 на рис. 4-20.

Если на интервале $[0, T]$ таких случаев m и они охватывают $2m \leq n$ интервалов, то:

$$\hat{Q} = \left[1 + \frac{2m}{n} (\gamma_2 - 1) \right] \frac{t_{пр}}{2t_{ср}},$$

$$\hat{P} = 1 - \hat{Q} = 1 - \left[1 + \frac{2m}{n} (\gamma_2 - 1) \right] \frac{t_{пр}}{2t_{ср}} \geq P_0,$$

откуда:

$$\frac{t_{\text{пр}}}{t_{\text{ср}}} \leq \frac{2(1 - P_0)}{\left[1 + \frac{2m}{n}(\gamma_2 - 1)\right]} \quad (26)$$

Эту формулу имеет смысл использовать при $k > 0,5$. Пусть $k = 0,7$, $\gamma_2 = 1,09$, $P_0 = 0,9$, $(m/n) = 0,5$. Тогда $t_{\text{пр}} \leq 2 * 0,1 * (1/1,09) = 0,183 t_{\text{ср}}$, т.е. на 8,5% меньше, чем значение, рассчитанное по формуле (12), и находится в интервале, определяемом условиями (16). Учитывая то, что в реальных условиях возможна комбинация всех трех рассмотренных выше случаев (отсутствие отказов между профилактиками, отказ ближе к началу очередного периода между профилактиками, отказ ближе к концу этого периода), можно без большой погрешности пользоваться формулами (8) и (16) с учетом условия (17).

4.6.2.5.2.4 Определение интервала в случае, когда время восстановления работоспособности отлично от нуля

В заключение рассмотрим случай, когда время $t_{\text{в}}$ восстановления работоспособности элемента отлично от нуля, т.е. $t_{\text{в}} > 0$. Естественно предположить, что во время восстановительных работ вероятность отказа равна нулю. Диаграмма изменения вероятности отказов для этого случая показана на рис. 4-22. Из элементарных геометрических соотношений по этой диаграмме можно сделать вывод, что для этого случая средняя вероятность отказа на интервале $[0, T]$ будет меньше, вероятность безотказной работы больше, и, следовательно, время $t_{\text{пр}}$ больше, чем рассчитанное по формуле (16). Поэтому расчет по формуле (16) даст результат «с запасом», а общая длительность цикла профилактических работ составит:

$$t'_{\text{пр}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{в}} \quad (27)$$

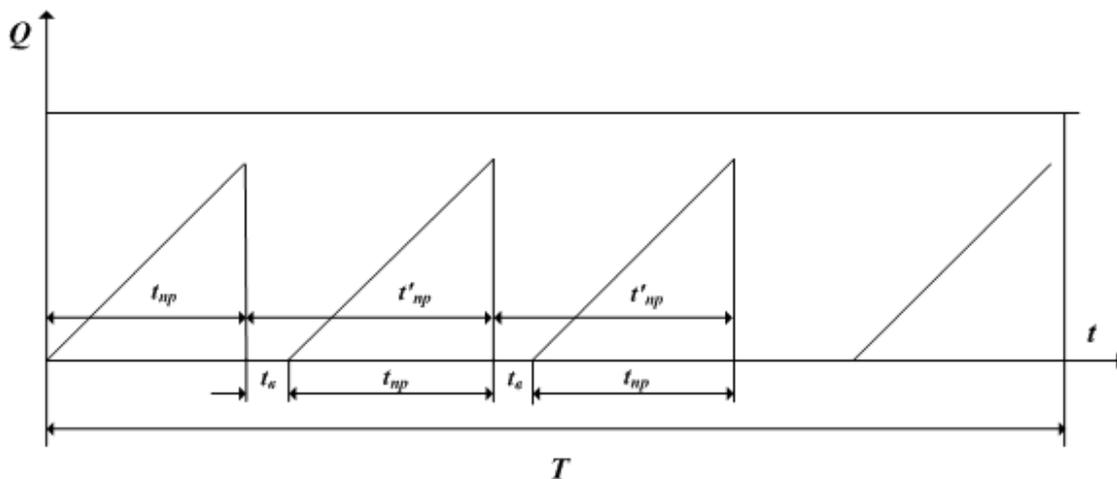


Рис. 4-22. График изменения вероятности отказа при ненулевом времени $t_{\text{в}}$ восстановления работоспособности элемента

4.6.2.5.2.5 Привязка рассчитанной периодичности к стандартным периодам обслуживания

На практике для любого изделия задаются сроки выполнения планово-профилактических работ. Эти сроки назначаются чаще всего по наработке, либо в календарном времени. Так, например, для самолетов проводить такие работы предписывается через 50, 100, 300, 1500 летных часов и т.д. Для наземных транспортных средств наработка обычно задается в километрах пробега, например, 2000, 10000, 30000 км и т.д.

Номенклатура элементов, подлежащих планово-профилактическому обслуживанию (ППО) в установленные периоды, определяется при помощи условия:

$$T_{j+1} > t_{\text{пр}i} \geq T_j \quad (j = 1 \dots k) \quad (28)$$

где:

T_1, T_2, \dots, T_k – установленные нормативными документами сроки выполнения планово-профилактических работ в порядке возрастания,

$t_{\text{пр}i}$ ($i = 1 \dots L$) – полученное в результате расчета значение периодичности профилактических работ для i -ого элемента.

Согласно (28), i -ый элемент должен подвергаться обслуживанию по достижении срока T_j . Рекомендуется назначать i -ому элементу срок обслуживания T_j при попадании расчетного значения $t_{\text{пр}i}$ в диапазон $T_j \approx \begin{matrix} +5\% \\ -15\% \end{matrix}$. В случае попадания $t_{\text{пр}i}$ в интервал между T_j и T_{j+1} , следует назначать i -ому элементу меньшее значение срока обслуживания (T_j). Для элементов, у которых $t_{\text{пр}i} < T_1$, следует устанавливать особый режим обслуживания, либо должны быть приняты меры к повышению надежности такого элемента. Для элементов, у которых $t_{\text{пр}i}$ больше их срока службы, плановые сроки обслуживания не назначаются.

4.7. Методика расчета параметров материально-технического обеспечения (МТО)

4.7.1. Общие сведения

Одна из наиболее актуальных задач при организации материально-технического обеспечения (МТО) сложных технических изделий – определение параметров начального и текущего МТО, т.е. номенклатуры и количества запасных частей и расходных материалов, подлежащих заказу и хранению на складах эксплуатанта или сервисной службы. Эти параметры определяют отдельно для плановых (регламентных) работ и для обеспечения технического обслуживания и ремонтов (ТОиР), связанных со случайно возникающими отказами (неплановое ТОиР).

К числу основных параметров МТО, подлежащих расчету, относятся:

- уровень начального запаса A_{max} , который должен обеспечить требуемый коэффициент готовности парка конечных изделий в течение начального периода, когда текущее МТО по тем или иным причинам еще не налажено;
- уровень минимального запаса A_{min} , который должен обеспечить требуемый коэффициент готовности в течение времени поставки заказанной партии запчастей на склад;
- объем партии поставки Q при пополнении запаса.

4.7.2. Методика расчета оптимального количества запасных частей для устранения случайно возникающих отказов

Суть методики определения количества запчастей, необходимого для устранения случайно возникающих отказов, заключается во введении и использовании понятия об уровне риска. Уровень риска – вероятность отсутствия детали на складе эксплуатанта и/или ремонтной (сервисной) службы в тот момент, когда она потребуется для ремонта изделия. Задача выбора значения уровня риска в данной методике не рассматривается. Выбор зависит от многих факторов, в том числе от требуемой готовности парка ФИ, ограничений бюджета на приобретение и поддержание запаса, а также от значимости отдельного элемента для работоспособности ФИ.

Расчет параметров МТО выполняется для всех заменяемых элементов ЛСИ, которые могут отказывать при эксплуатации (имеют ненулевую интенсивность отказов).

На рис. 4-23 изображен примерный вид процесса движения запасов на складе, связанный с устранением случайно возникающих отказов. Предполагается, что фактическое количество отказов деталей и фактическое время поставки являются случайными величинами. Также предполагается, что за время цикла расходования - пополнения запас может использоваться полностью, т.е. «страховой» запас отсутствует. Кроме того предполагается, что интервал времени от момента прихода партии поставки в адрес заказчика до момента ее помещения на склад равен нулю.

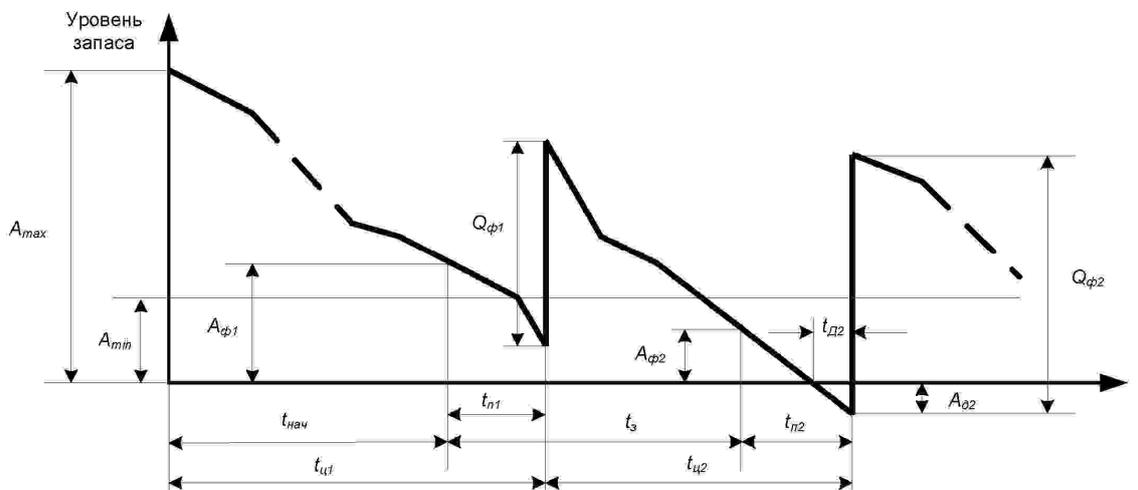


Рис. 4-23. Примерный процесс движения запасов на складе

На рис. 4-23 использованы следующие условные обозначения:

- A_{max} – уровень начального запаса;
- A_{min} – уровень минимального запаса;
- A_{fk} – фактический уровень запаса для k -го цикла на момент формирования заказа ($k = 1, 2, 3, \dots$);
- Q_{fk} – фактический объем партии поставки для k -го цикла;
- $t_{нач}$ – продолжительность начального МТО;
- t_3 – горизонт планирования заказов;
- t_{nk} – фактическое время выполнения поставки для k -го цикла;
- $t_{цк}$ – фактическое время k -го цикла;
- $A_{ок}$ – уровень дефицита для k -го цикла;
- $t_{ок}$ – время, в течение которого существует дефицит, для k -го цикла.

Для организации управления запасами для каждой единицы хранения требуется определить следующие основные параметры:

- уровень начального запаса – $(A_{max})_{непл}$;
- уровень минимального запаса, обеспечивающий требуемую готовность в течение времени поставки заказанной партии запчастей на склад, – $(A_{min})_{непл}$;
- объем партии поставки при пополнении запаса – $Q_{непл}$.

Исходными данными являются (для заменяемых деталей одного типа):

- количество деталей, одновременно находящихся в эксплуатации, шт. – n ;
- интенсивность отказов одной детали, 1/ед. времени – λ ;
- продолжительность начального МТО, мес. – $t_{нач}$ (обычно не превышает двух лет);
- горизонт планирования заказов, мес. – t_3 (предполагается, что периодичность размещения заявок на запчасти регламентируется в соответствующих нормативных документах);
- среднее время выполнения поставки, т.е. время от момента подачи заявки до момента прихода партии запчастей в адрес заказчика, мес. – $t_{п}$.

Каждый определяемый параметр МТО характеризуется временным интервалом, на протяжении которого должна быть обеспечена требуемая готовность конечного изделия. Для уровня начального запаса это продолжительность начального МТО ($t_{нач}$), для уровня минимального запаса – среднее время выполнения поставки $t_{п}$, для объема партии поставки – горизонт планирования заказов t_3 . Зная интенсивность отказов одной детали, количество деталей, одновременно находящихся в эксплуатации, и соответст-

вующий временной интервал, можно найти средние значения определяемых параметров МТО: средний уровень начального запаса a_{\max} , средний уровень минимального запаса a_{\min} и средний объем партии поставки q по формулам:

$$\alpha_{\max} = \tilde{\lambda} \cdot n \cdot (t_{\text{нач}} + t_n),$$

$$\alpha_{\min} = \tilde{\lambda} \cdot n \cdot t_n,$$

$$q = \tilde{\lambda} \cdot n \cdot t_3,$$

где $\tilde{\lambda}$ – интенсивность отказов одной детали, приведенная к используемому временному базису (например, 1/мес).

Интенсивность спроса на конкретный тип запчастей определяется интенсивностью отказов всех деталей этого типа. Так как фактическое число отказов является случайной величиной, то требуется задать статистические характеристики отказов каждого типа деталей. Предполагается, что эти параметры известны из предшествующего опыта.

Для оценки требуемого количества запчастей при замене одного типа деталей в течение определенного периода, необходимо найти вероятность появления числа отказов (1, 2, 3, ..., m) за этот период. Если предположить, что поток отказов является простейшим (пуассоновским), то:

$$P(m) = \frac{\mu^m}{m!} e^{-\mu},$$

где μ – среднее количество отказов за рассматриваемый период (интенсивность отказов),

m – количество отказов (1, 2, 3 и т.д.),

$P(m)$ – вероятность появления m отказов за рассматриваемый период.

График функции $P(m)$ для $\mu = 2$ приведен на рис. 4-24.

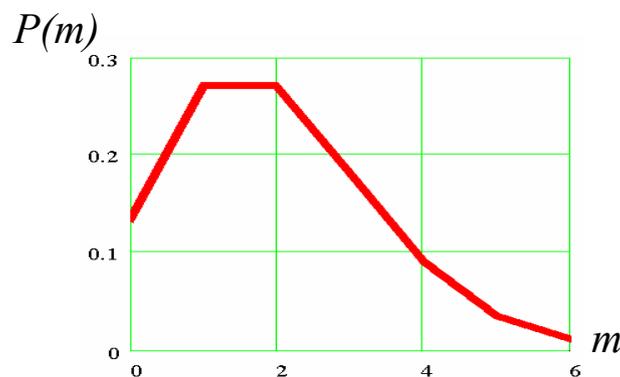


Рис. 4-24. Вероятность появления m отказов для $\mu=2$

«Накопленная» вероятность появления от 0 до m отказов за заданный период определяется формулой:

$$\sum_{j=0}^m P(m) = \sum_{j=0}^m \frac{\mu^j}{j!} e^{-\mu}$$

На рис. 4-25 приведен график «накопленной» вероятности появления от 0 до m отказов деталей одного типа.

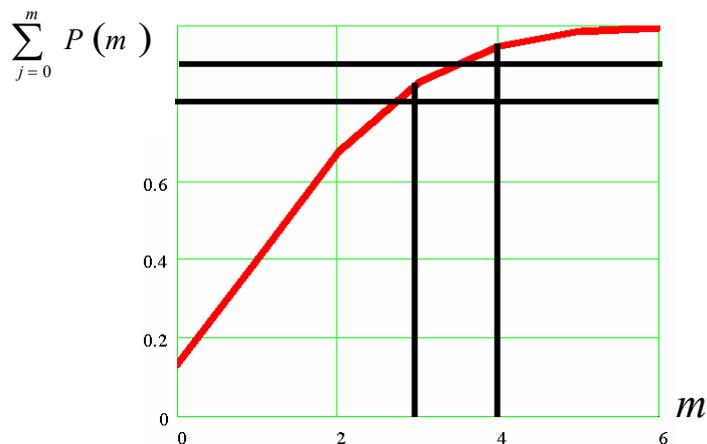


Рис. 4-25 «Накопленная» вероятность появления от 0 до m отказов для $\mu=2$

Для определения количества запчастей, которое следует держать на складе, введено понятие допустимого уровня риска R , равного вероятности отсутствия запчасти на складе в тот момент, когда она понадобится. На рис. 4-25 проведены две горизонтальные линии, соответствующие уровням риска $R = 0,2$ (нижняя) и $R = 0,1$ (верхняя).

Очевидно, что в точке пересечения кривой $\sum_{j=0}^m P(m)$ с горизонталью, соответствующей величине R , имеет место равенство:

$$\sum_{j=0}^m P(m) = 1 - R .$$

Тогда необходимое количество запчастей можно найти, решая неравенство

$$1 - R \leq \sum_{j=0}^m \frac{\mu^j}{j!} e^{-\mu} \tag{29}$$

относительно m и принимая в качестве результата ближайшее большее целое (поскольку m может быть только целым числом). Аналитическое решение такого неравенства связано с большими трудностями, а численное – очевидно из графических построений

на рис. 4-25. В данном примере для $R = 0,2$ на складе следует иметь три детали, а для $R = 0,1$ – четыре.

Если за время цикла запас может расходоваться полностью (нет страхового запаса), то искомые параметры МТО $(A_{max})_{непл}$, $(A_{min})_{непл}$ и $Q_{непл}$ можно найти, подставляя в неравенство (29) вместо μ средние значения a_{max} , a_{min} и q соответственно. Решая неравенство (29) при этих значениях, получим для заданного уровня R :

$$m = \begin{cases} A_{max} & \text{при } \mu = a_{max} \\ A_{min} & \text{при } \mu = a_{min} \\ Q & \text{при } \mu = q \end{cases}$$

Для описанного способа организации управления запасами предполагалось отсутствие «страхового» запаса деталей, т.е. при определенных условиях возможно появление дефицита запчастей (рис. 4-23). Во избежание таких ситуаций, следует ввести понятие неснижаемого уровня запаса, за который в рассмотренной модели можно принять уровень минимального запаса $(A_{min})_{непл}$. При достижении такого неснижаемого уровня производится заказ запчастей, независимо от того, когда наступит плановое время заказа. При достижении неснижаемого уровня ближайшее плановое время размещения заявки на запчасти аннулируется, чтобы не возникало повторных заказов.

4.7.3. Совместное выполнение расчетов периодичности планово-профилактических работ и параметров МТО

При разработке методики расчета потребности в запасных частях, необходимых для устранения внезапно возникающих отказов, и методики расчета периодичности планово-профилактических работ (раздел 4.7.2 и 4.6.2.5.2) мы исходили из предположения о том, что эти процессы между собой никак не связаны. Вместе с тем, почти очевидно, что между ними имеется достаточно тесная взаимосвязь.

С помощью приведенной ниже методики сначала определяется количество запчастей, необходимое для выполнения планово-профилактических работ на протяжении периода начального МТО $((A_{max})_{пл})$ и в процессе текущего МТО на протяжении горизонта планирования заказов $(Q_{пл})$. Далее описан подход к определению общего количества запчастей для плановых работ и устранения случайных отказов.

Предполагая, что процесс возникновения отказов подчиняется закону Пуассона, вероятность безотказной работы на интервале времени $[0, T]$ определим по формуле:

$$P_0(T) = e^{-\lambda T}, \quad (30)$$

где λ – интенсивность отказов, исчисляемая в принятых единицах измерения (например, $[\lambda] = 1/\text{ед. времени}$ наработки или $1/\text{ед. календарного времени}$).

Если техническими требованиями к изделию или его компоненту задана величина $P_0(T)$, то из (30) легко найти требуемое значение интенсивности отказов:

$$\lambda_{\text{тр}} = -\frac{1}{T} \ln P_0(T) \approx \frac{1}{T} (1 - P_0) \quad (\text{при } P_0 \geq 0,9) \quad (31)$$

Если для некоторого компонента «физическая» интенсивность отказов $\lambda_{\text{ф}}$, определяемая его конструкцией и/или установленная статистически (при испытаниях или эксплуатации данного компонента или его близкого прототипа), удовлетворяет условию:

$$\lambda_{\text{ф}} < \lambda_{\text{тр}}, \quad (32)$$

то такой компонент не требует профилактического обслуживания, и количество запасных частей, потребных для устранения случайно возникающих отказов, может быть определено по соответствующей методике (раздел 4.7.2) при $\lambda = \lambda_{\text{ф}}$.

Если же условие (32) не выполнено, то такой компонент требует доработки конструкции с целью повышения надежности и уменьшения интенсивности отказов до приемлемой величины. Другой путь повышения надежности – проведение регулярных профилактических работ с периодичностью $t_{\text{пр}}$, определяемой по формулам (18), (19) (раздел 4.6.2.5.2.2) при заданном значении $P_0 = P_0(T)$.

При этом, если расчетный период $t_{\text{пр}}$ между профилактиками превышает назначенный срок службы (ресурс) конечного изделия, то такой компонент не нуждается в профилактических заменах и, следовательно, в запчастях для планового ТОиР ($A_{\text{max}}^{\text{пл}} = 0$ и $Q_{\text{пл}} = 0$).

Если профилактические работы проводятся с периодичностью $t_{\text{пр}}$ и в результате работоспособность компонента полностью восстанавливается, то эквивалентная интенсивность отказов $\lambda_{\text{эkv}}$ в период между профилактиками определяется по формуле

$$\lambda_{\text{эkv}} = \lambda_{\text{тр}}, \quad (33)$$

где $\lambda_{\text{тр}}$ – требуемое значение интенсивности отказов, определяемое по формуле (31).

Если предположить, что рассматриваемый компонент является неремонтируемым и подлежит замене при каждой профилактике, то за произвольное время $t_{\text{пр}} < T_I \leq T$ для плановых замен понадобится следующее количество запасных компонентов:

$$m_{\text{пл}} = \left(\frac{T_I}{t_{\text{пр}}} - 1 \right) \cdot n, \quad (34)$$

где n - количество однотипных компонентов, одновременно находящихся в эксплуатации, шт.

$$m_{\text{пл}} = \begin{cases} (A_{\text{max}})_{\text{пл}}, & \text{при } T_1 = t_{\text{нач}} \\ Q_{\text{пл}}, & \text{при } T_1 = t_3 \end{cases} \quad (35)$$

Если $t_{\text{нач}} < t_{\text{пр}}$, то $(A_{\text{max}})_{\text{пл}} = 0$. Если $t_3 < t_{\text{пр}}$, то заданный горизонт планирования заказов слишком мал для данного типа компонентов. В этом случае рекомендуется увеличить t_3 таким образом, чтобы $t_3 \geq t_{\text{пр}}$, после чего повторить расчет.

Для сложных, дорогостоящих компонентов, замена которых при каждой профилактике нецелесообразна, следует проводить более подробный анализ, в ходе которого в структуре таких компонентов следует выделить узлы и детали, находящиеся на следующих уровнях декомпозиции и подлежащие замене. Сам такой компонент является ремонтируемым, и в результате ремонта его работоспособность полностью восстанавливается.

В то же время, количество компонентов, необходимых для выполнения внеплановых замен, связанных с устранением внезапно возникающих отказов в интервале $[0, T_1]$, может быть определено по методике, описанной в разделе 4.7.2, с использованием величины $\lambda_{\text{тр}} < \lambda_{\text{ф}}$.

Полное количество запчастей для выполнения плановых и неплановых работ можно найти следующим образом:

- если $(A_{\text{max}})_{\text{пл}} > 0$ и $Q_{\text{пл}} > 0$, то принимается $A_{\text{max}} = (A_{\text{max}})_{\text{пл}} + 1$ и $Q = Q_{\text{пл}} + 1$. Это означает, что для компонентов, подвергающихся профилактическим заменам, количество запчастей для выполнения этих работ, увеличенное на 1, перекрывает возможную потребность в запчастях для устранения внезапно возникающих отказов.
- если $(A_{\text{max}})_{\text{пл}} = 0$ (выполнение профилактик не планируется вообще или только в течение периода начального МТО), то принимается $A_{\text{max}} = (A_{\text{max}})_{\text{непл}}$.
- если $Q_{\text{пл}} = 0$ (компонент не подвергается профилактическому обслуживанию), то $Q = Q_{\text{непл}}$.
- $A_{\text{min}} = (A_{\text{min}})_{\text{непл}}$. Если $A_{\text{min}} = 0$, то рекомендуется принимать $A_{\text{min}} = 1$ (в случае отсутствия страхового запаса).

В большинстве случаев количество запчастей для планового ТОиР достаточно и для устранения случайно возникающих отказов. Это связано с тем, что плановое обслуживание с периодичностью, определенной по методике, приведенной выше, позволяет существенно повысить вероятность безотказной работы компонента и, следовательно, снизить вероятность возникновения случайного отказа. Если отказ все-таки возникнет, и на его устранение будет израсходована запчасть из текущего запаса, то заявка на компенсирующее пополнение должна подаваться немедленно (это вопрос дисциплины управления запасами, которая в методике не рассматривается). С другой стороны, из формулы (32) видно, что в плановых заменах не нуждаются только высоконадежные компоненты. Следовательно, для них потребность в запчастях для устранения случай-

ных отказов будет также низкой (обычно для таких компонентов требуемое количество запчастей для непланового ТОиР не превышает 1 даже при уровне риска $R < 0,001$).

Приведенные выше соображения справедливы только для компонентов, от которых требуется высокая вероятность безотказной работы в процессе эксплуатации ($P_0 > 0,99$). Для компонентов, надежность которых менее критична, приведенный алгоритм определения параметров МТО справедлив из других соображений. В этом случае низкая потребность в запчастях для устранения случайно возникающих отказов будет обусловлена возможностью использовать большее значение уровня риска.

Таким образом, задачу определения параметров МТО следует решать в рамках АЛП еще на стадии разработки изделия в комплексе с другими задачами по повышению надежности. Принятие окончательного решения о количестве запчастей, которые должны храниться на складе, зависит от следующих факторов:

- критичность компонента для работоспособности всего изделия;
- физические свойства компонента;
- стоимость хранения и доставки;
- доступность поставщиков;
- наличие у заказчика площадей для хранения;
- позиция заказчика в отношении приемлемой длительности хранения запчастей.

4.8. Разработка регламентов и технологий ТОиР по результатам АЛП

4.8.1. Общие сведения и исполнители

Одной из основных целей АЛП является разработка эффективной СТЭ изделия. В ходе разработки СТЭ по результатам выполнения аналитических и расчетных задач, зафиксированным в БД АЛП, должны быть разработаны регламенты обслуживания, сформированы подробные описания всех задач и технологий обслуживания, а также выбраны и документированы необходимые ресурсы. В результате создается большой объем данных, которые затем должны быть включены в эксплуатационную документацию на изделие. Результаты выполнения этой работы должны быть отражены в БД АЛП, из которой будет возможно автоматическое получение регламента ТОиР и процедурно-технологических модулей данных.

Регламент (процедура обслуживания) содержит перечень работ (**задач обслуживания**) с указанием периодичности и/или условий их выполнения.

Задача обслуживания – это описание процесса выполнения определенной работы на самолете или вне его. Задачи обслуживания могут быть разных видов, в зависимости от содержания выполняемых работ, например, в [5] приводятся следующие виды работ:

регулировка, чистка, обследование, проверка функционирования, смазка, восстановление, замена, ремонт и т.д. В описании задачи указываются материальные и трудовые ресурсы, необходимые для ее выполнения.

Разработкой задач и процедур обслуживания в процессе АЛП занимаются:

- 1) специалисты по эксплуатационной технологичности;
- 2) специалисты рабочей группы АООН;
- 3) специалисты отдела технической эксплуатации.

Специалисты по эксплуатационной технологичности, как правило, описывают задачи по замене (снятие/установка) компонентов самолета (LRU). Поскольку их целью является оценка эксплуатационной технологичности конструкции, последовательность выполнения задачи замены и потребные ресурсы они описывают именно с этой точки зрения. Эта информация является базовой для дальнейшей разработки задач обслуживания специалистами отдела технической эксплуатации с целью приведения их к виду, пригодному для включения в ЭД.

Специалисты рабочей группы АООН формируют перечень задач **планового** обслуживания, который позволит поддержать заданный уровень надежности ФИ. В их обязанности не входит детальная проработка технологии выполнения задачи и выбор ресурсов. «Заголовок» (наименование) задачи, сформированный специалистом АООН, затем переходит к специалистам по технической эксплуатации для дальнейшей разработки, создания перечня шагов и ресурсов.

4.8.2. Правила формирования перечня задач обслуживания

Задачи обслуживания подразделяются на плановые и неплановые.

Перечень задач планового обслуживания ФИ формируется по результатам выполнения АООН и имеющихся нормативных документов на данный тип самолета. На основании этих документов определяется вид необходимых плановых задач, к каким элементам ЛСИ они относятся, наименование задач и рекомендуемая периодичность их выполнения. В результате специалист по АООН должен создать в БД АЛП описания задач обслуживания, связанных с соответствующими элементами ЛСИ. В параметрах каждой задачи указывается ее вид, наименование и обозначение.

На примере (рис. 4-26) в системе LSS отображены: элемент ЛСИ («Наземный клапан») и связанные с ним задачи обслуживания (вкладка «Задачи обслуживания»). Цифровой индекс перед наименованием задачи обслуживания – обозначение задачи, сформированное в процессе АООН. Обозначение задачи содержит код ССН анализируемого функционального блока и порядковый номер задачи.

Решение задач АЛП

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| 21 :: Система кондиционирования воздуха | | | | | |
| 21-2 :: Подсистема распределения | | | | | |
| 21-3 :: Подсистема регулирования давления | | | | | |
| 21-3-1 :: САРД :: Система автоматического регулирования дав... | | | | | |
| 21-3-1-5401 :: ВК :: Выпускной клапан | | | | | |
| 21-3-1-5501 :: НК :: Наземный клапан | | | | | |
| 21-3-1-5601 :: ПК1 :: Предохранительный клапан – правый | | | | | |
| 21-3-1-5602 :: ПК2 :: Предохранительный клапан – левый | | | | | |
| 21-31-00-705-001 :: Operational test | | | | | |
| 21-31-00-705-009 :: System test | | | | | |
| 21-4 :: Подсистема обогрева | | | | | |
| 21-5 :: Подсистема охлаждения | | | | | |
| 21-6 :: Регулирование температуры | | | | | |

| Задача | Вид | Элемент | Вып... | Ср.время выпол... | Ср.трудоемкос... |
|---|---------|---------------------------|--------|-------------------|------------------|
| 21-31-55-001 :: Снятие наземного клапана | remove | 21-3-1-5501 :: Наземны... | С :: | 0.125333 | 0 |
| 21-31-55-002 :: Установка наземного клапана | install | 21-3-1-5501 :: Наземны... | | 0.155333 | 0 |

Рис. 4-26. Задачи обслуживания, связанные с элементом ЛСИ

После того, как в БД АЛП внесены все задачи планового обслуживания системы/подсистемы, специалист по АООН должен сгруппировать их по периодичности выполнения. Для этого на соответствующем уровне разукрупнения ЛСИ создается объект «Процедура обслуживания», одним из атрибутов которого является периодичность выполнения. Затем в эту процедуру включаются все задачи обслуживания, которые должны быть выполнены с данной периодичностью (рис. 4-27). Подробнее этот процесс описан в разделе 4.8.3.

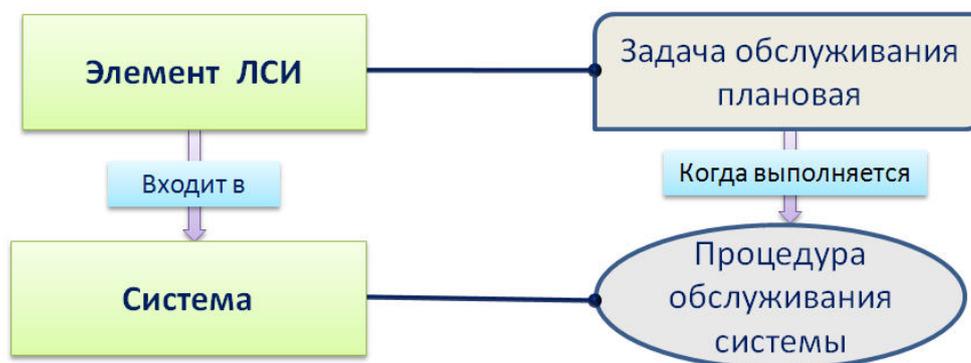


Рис. 4-27. Плановая задача обслуживания

Задачи непланового обслуживания формируются специалистами отдела ИЛП или специалистами по эксплуатационной технологичности (в рамках выполнения своих обязанностей), исходя из следующих принципов:

- 1) если АВПКО показал, что в процессе эксплуатации элемента ЛСИ (LRU) возможно возникновение случайного отказа, с вероятностью, превышающей некоторую заранее установленную величину, то с таким элементом необходимо связать задачу обслуживания, направленную на устранение отказа;
- 2) если при описании технологии плановой задачи обслуживания элемента ЛСИ очевидно, что при обнаружении неисправности компонента его при-

дется заменить, то с этим элементом ЛСИ (LRU) связывается неплановая задача обслуживания, направленная на замену компонента.

Кроме того, в БД АЛП необходимо указать, при возникновении каких видов отказов будет выполняться описанная неплановая задача обслуживания (рис. 4-28). Виды отказов элемента ЛСИ определены ранее в процессе выполнения АВПКО.

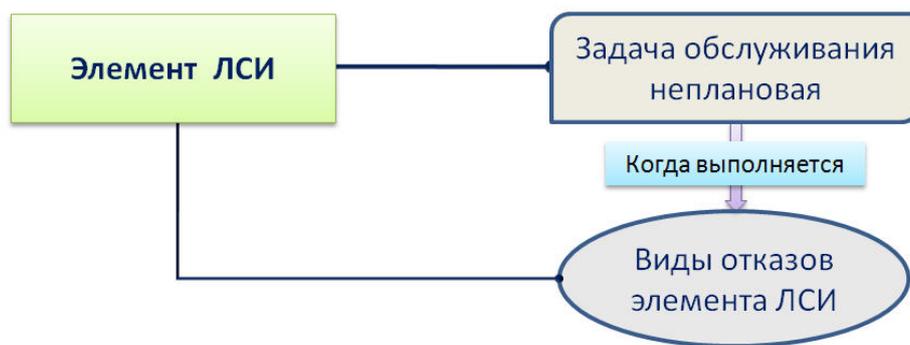


Рис. 4-28. Неплановая задача обслуживания

Если задача одного и того же вида (например, замена) может выполняться как плановая, так и неплановая, то с элементом связывается только одна задача обслуживания этого вида. Периодичность/условие выполнения такой задачи задается как через виды отказов, так и через связь с процедурой обслуживания. На ранних стадиях анализа, когда конкретные шаги задачи еще не известны, в БД АЛП можно ввести прогнозируемые значения продолжительности и трудоемкости выполнения задачи. Позднее эти значения будут уточнены на основании более детальной информации о технологии выполнения задачи.

4.8.3. Правила формирования процедур обслуживания

Процедуры обслуживания (регламентные работы) описываются в ЛСИ на уровне основных систем/подсистем и крупных агрегатов с присвоением уникального идентификатора (номера) и наименования. Для каждой процедуры указывается тип и условие/периодичность выполнения, определенные в соответствии с нормативными документами на данный тип изделий и результатами АООН. Для самолетов, например, различают следующие типы работ (процедур обслуживания):

- оперативные работы: предполетные, послеполетные подготовки, подготовки к повторному полету, контрольные осмотры и т.д.;
- периодические работы, например, работы с периодичностью 12 мес.;
- работы, выполняемые после определенного налета, например, работы, выполняемые через каждые 200 полетных часов.

Процедура обслуживания не содержит подробного описания выполняемых работ, а только ссылки на отдельные задачи обслуживания с указанием последовательности их выполнения. В процедуры включаются только плановые задачи обслуживания. На рис.

4-29 показано, как в системе LSS отображены процедура обслуживания «Ежегодный осмотр САРД» и входящие в нее задачи.

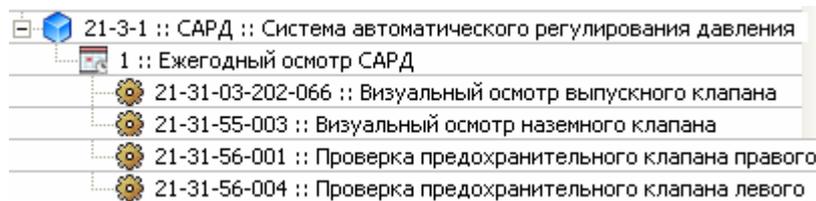


Рис. 4-29. Представление процедуры обслуживания в системе LSS

Распределение плановых задач по процедурам осуществляется на основании рекомендуемой периодичности планового обслуживания изделия и имеющейся нормативной документации.

4.8.4. Разработка технологии выполнения задачи обслуживания

Задача обслуживания представляет собой подробное описание всех действий, необходимых для достижения определенного результата, включая все подготовительные, завершающие и вспомогательные работы. Например, последовательность действий при замене узла У1 может быть следующей (рис. 4-30):

1. Открыть люк Х.
2. Снять узел У2.
3. Снять узел У1.
4. Действия над узлом У1.
5. Установить [запасной] узел У1.
6. Установить узел У2.
7. Закрыть люк Х.

Все перечисленные действия будут входить в задачу, описывающую замену узла У1, как отдельные шаги или подзадачи.

После создания перечня подзадач разрабатывается подробная технология выполнения каждой подзадачи. Очевидно, что такие действия, как «открыть люк Х» и «закрыть люк Х» будут повторяться много раз, как минимум, в задачах обслуживания всех элементов ЛСИ, доступ к которым осуществляется через данный люк. Эти действия выносятся в отдельную задачу обслуживания, чтобы не повторять многократно описание выполнения. Задача доступа связывается со всей системой в целом. При описании задачи замены элемента У1 можно будет просто сослаться на нужную задачу доступа (открытие/закрытия люков).

Аналогично поступают с задачей снятия/установки препятствия (узел У2). Эти задачи связываются с элементом ЛСИ, соответствующим узлу У2, а в задаче замены узла У1 просто ссылаются на нужную задачу (снятие или установка). Задача снятия/установки

узла У2, помимо выполнения в рамках замены У1, может выполняться самостоятельно при замене узла У2.

Таким образом, существуют разные типы задач обслуживания:

1. Базовая задача, которая может выполняться самостоятельно в рамках процедуры обслуживания (task, согласно [5]) – это задача замены на рис. 4-30.
2. Подзадача – «кирпичик», который служит для формирования более крупных задач обслуживания (subtask, согласно [5]) – это остальные задачи на рис. 4-30.

В техническую документацию на изделие, как правило, включаются только базовые задачи. Технически подзадача также может содержать ссылку на какую-либо другую подзадачу, но создание таких ссылок второго уровня не рекомендуется, так как при этом труднее проследить взаимосвязи между задачами и в дальнейшем сформировать содержание технической документации.

При описании шагов задачи с ними связывают необходимые иллюстрации и дополнительную информацию (предупреждения, предостережения и примечания), а также ресурсы, необходимые для выполнения каждого шага. Если шаг задачи ссылается на подзадачу, то повторный ввод иллюстраций, дополнительной информации и ресурсов не требуется, так как вся эта информация наследуется от связанной подзадачи.

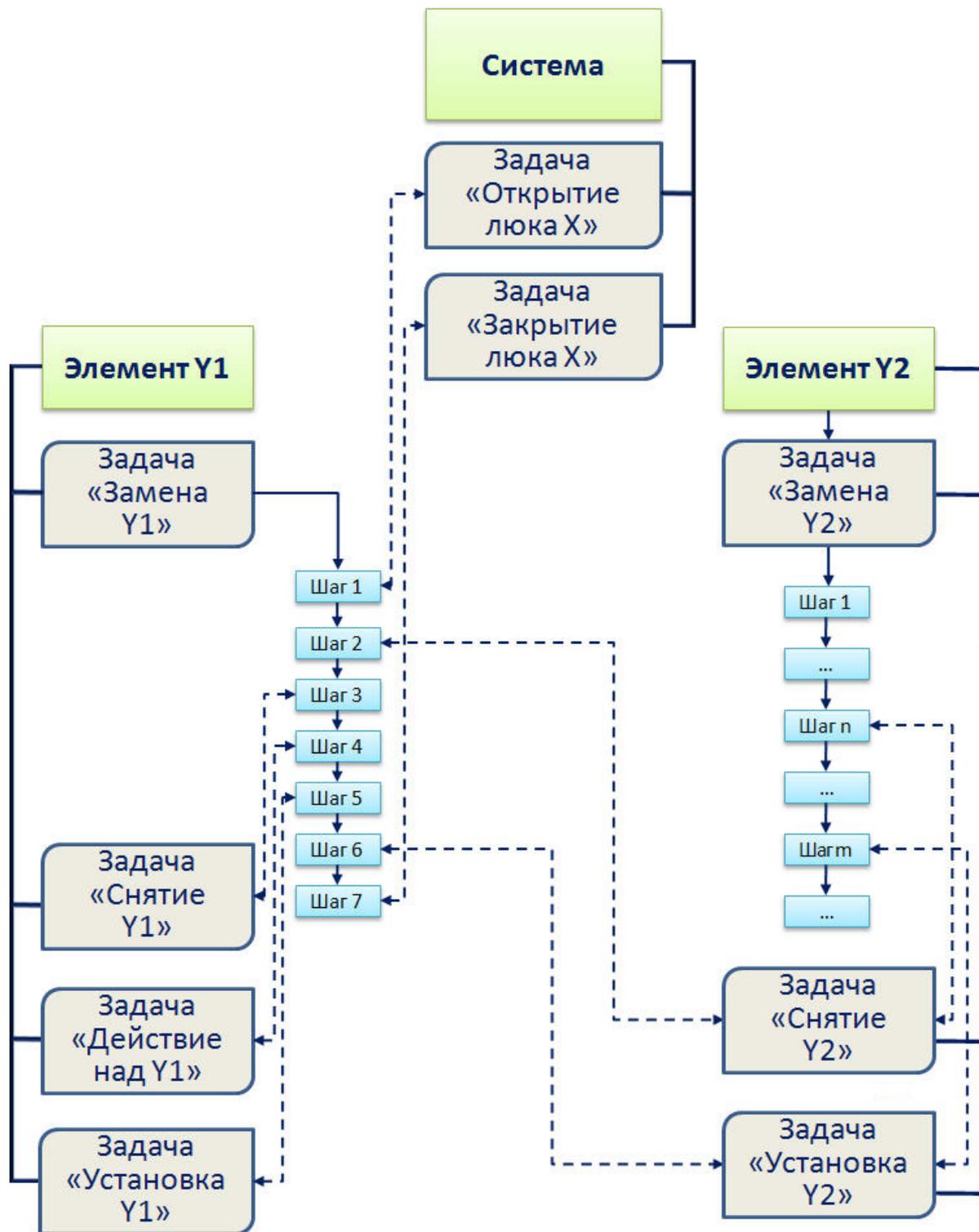


Рис. 4-30. Формирование задач обслуживания с использованием ссылок на задачи

Ресурсы подразделяются на средства инфраструктуры, вспомогательное оборудование, инструменты, расходные материалы, запчасти и трудовые ресурсы. Для материальных ресурсов указывается расход ресурса на одно выполнение задачи, а для трудовых – количество, специальности, квалификации и занятость исполнителей (чел. час.). Для всех перечисленных видов ресурсов в БД АЛП создаются специальные справочники.

После описания структуры и технологий выполнения ТОиР оценивается количество плановых выполнений каждой задачи обслуживания за определенный период, например, за год. Это значение находится исходя из того, в каких процедурах обслуживания выполняется данная задача (с какой периодичностью), а также с учетом планируемой наработки КИ в течение заданного периода. Полученное значение используется для определения и уточнения потребностей в ресурсах для обслуживания, а также при расчете СЖЦ.

4.9. Подготовка данных для разработки эксплуатационной документации

Электронная эксплуатационная документация (ЭЭД) на изделие создается на этапе его разработки и поставляется с конкретными экземплярами этого изделия. В общем случае эксплуатационная документация (не обязательно электронная) представляет собой комплект документов, связанных в некоторую структуру, причем каждому из этих документов присвоен специальный код.

Исходные данные для подготовки эксплуатационной документации:

- конструкторская документация на изделие, в том числе чертежи и схемы изделия и его составных частей;
- описания функций изделия и его составных частей;
- описания регламентов, задач и технологий обслуживания;
- другие документы, формируемые в процессе проектирования изделия.

Требования по подготовке эксплуатационной документации на сложные изделия определены стандартом [13], представляющим собой новую версию известного в авиации стандарта АЕСМА 1000D. Стандарт [13] используется при создании документации в процессе разработки воздушного судна, морского или наземного транспорта или оборудования как гражданского, так и военного назначения. Требования стандарта касаются структуры, оформления и содержания разрабатываемой электронной документации.

Технология разработки и сопровождения электронной документации осуществляется на основе *Общей базы исходных данных* (английская аббревиатура: *CSDB*). Основная цель общей базы данных – предоставление исходной информации для создания электронной документации на изделие. В Общей базе исходных данных хранятся такие информационные объекты, как модули данных, иллюстрации, перечни модулей данных и др.

Наименьшей самостоятельной информационной единицей, входящей в состав электронной документации, в соответствии с [13] и [15] является *модуль данных*. МД представляет собой совокупность взаимосвязанных технических сведений, относящихся к определенной тематике и не допускающих дальнейшего дробления на составные части. Типовыми модулями данных являются описание изделия и его компонентов, описание технического обслуживания изделия, описание процессов эксплуатации изделия. Каждый модуль данных идентифицируется кодом модуля данных, обеспечивающим доступ к нему, кодом языка его содержательной части и номером версии.

При планировании проекта ЭЭД составляется *Перечень необходимых модулей данных (Data Module Requirements List, DMRL)*, который содержит список модулей данных, входящих в комплект эксплуатационной документации. Перечень необходимых модулей данных является аналогом ведомости эксплуатационной документации и определяет структуру ЭЭД. Источником данных о предварительной структуре ЭЭД служит логистическая структура изделия, в которую включаются все элементы конструкции, для которых в процессе эксплуатации может потребоваться техническое обслуживание, при этом они группируются по системам/подсистемам в соответствии с принятой ССН (рис. 4-31).

По результатам выполнения АЛП в «предварительный» DMRL могут быть включены модули данных, содержащие следующую информацию:

- Описательная информация, которая используется для представления сведений об устройстве изделия и его компонентов, принципах их работы, назначении и эксплуатации.
- Процедурно-технологическая информация – инструкции и технологические карты для проведения ТОиР изделия и его составных частей.
- Информация для планирования технического обслуживания – сведения о регламенте ТОиР изделия и его составных частей.
- Каталоги деталей и сборочных единиц – иллюстрированные перечни деталей и сборочных единиц, входящих в изделие, его системы и агрегаты.
- Процедуры поиска и устранения отказов.

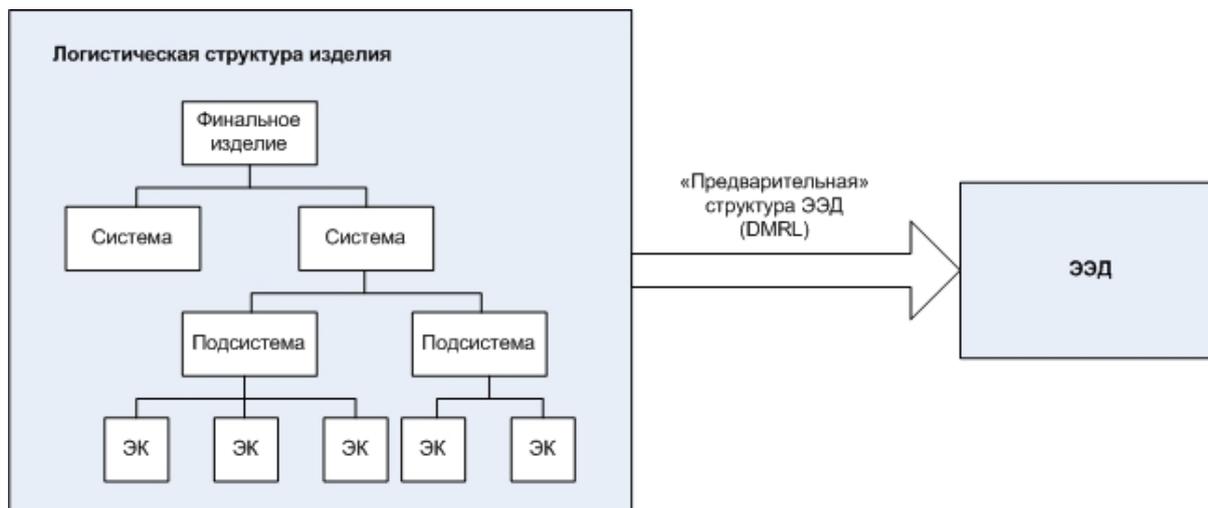


Рис. 4-31. Связь ЛСИ с ЭЭД

В соответствии с требованиями [13] и [15] модулям данных присваивается код модуля данных (английская аббревиатура: *DMC (Data Module Code)*), который используется для управления модулями данных в Общей базе исходных данных. Код модуля данных может содержать от 17 до 37 буквенно-цифровых символов. Одним из сегментов структуры кода модуля данных является код ССН (английская аббревиатура: *SNS*), который может быть получен из соответствующего атрибута элемента ЛСИ, связанного с создаваемым модулем данных. На рис. 4-32 показана структура и приведен пример кода модуля данных. Рассмотрим сегменты кода модуля данных, представленные на рис. 4-32:

- **Идентификационный код модели (MI).** Данный код идентифицирует модель или сразу несколько моделей, принадлежащих одному типу.
- **Отличительный код системы (SDC)** назначается, когда возможен выпуск моделей разных видов, и указывает, для какой конфигурации применим указанный модуль данных, не влияя при этом на идентификацию типа модели или разновидности.
- **Код стандартной системы нумерации (SNS).** В примере, представленном на рисунке, перед кодом ССН «32-11-01» находится буква «Е». Это **код категории изделия (MISC)**, который используется для обозначения различных ССН, используемых в кодах модулей данных, содержащих различные ССН²⁷.
- **Код демонтажа (DC)** определяет степень разбиения на составные части сборочных единиц, к которым применяется информация по техническому обслуживанию.

²⁷ Код категории изделия используется для обозначения различных структур кодирования ССН, которые применимы к отдельным проектам ЭЭД на уровне системы, подсистемы и под-подсистемы в рамках ССН. Также используется для разграничения различных определений в рамках одной ССН.

- **Вариант кода демонтажа (DCV)** определяет альтернативные элементы оборудования или компоненты, незначительно отличающиеся по конструкции, но не настолько, чтобы изменить отличительный код системы.
- **Информационный код (IC)** используется для определения типа информации, содержащейся в модуле данных.
- **Вариант информационного кода (ICV)** используется для модулей данных, относящихся к одному изделию и виду информации.
- **Код расположения изделия (ILC)** определяет место работ по обслуживанию компонента изделия, к которому относится модуль данных.

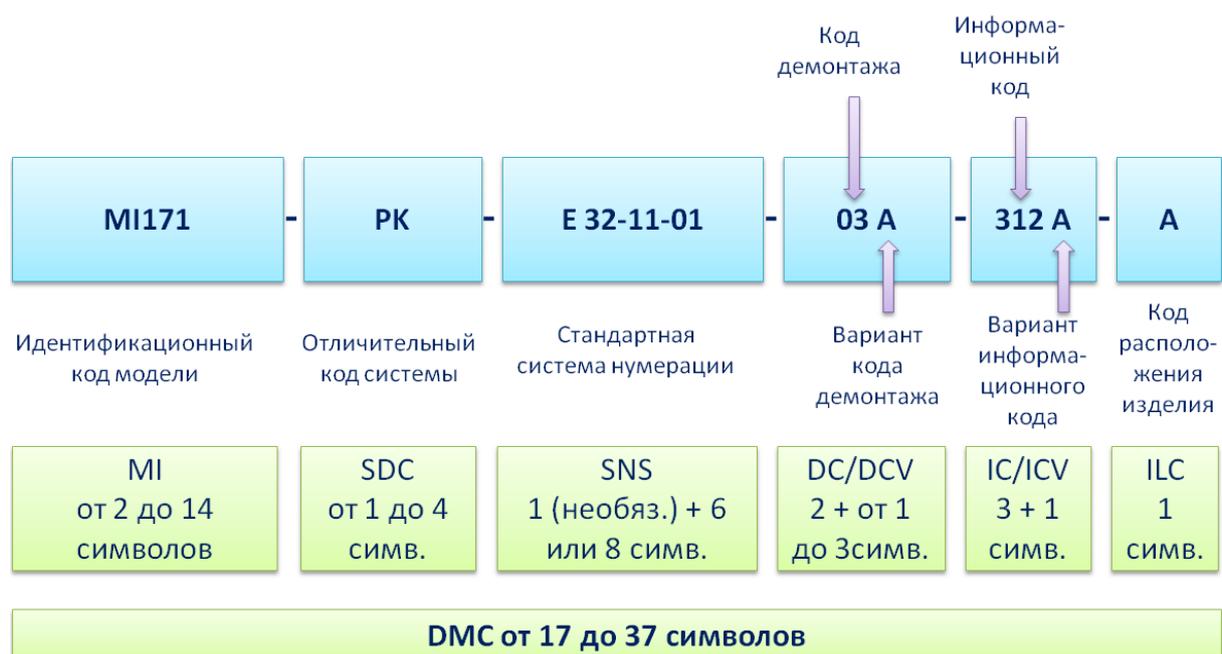


Рис. 4-32. Состав кода модуля данных

При разработке ЭЭД используется следующая информация, полученная в результате АЛП и хранящаяся в БД АЛП:

- Описания функций изделия и его составных частей, создаваемые в результате функционального анализа. Эта информация используется при подготовке технических описаний изделия и его составных частей.
- Описания регламентов, задач и технологий обслуживания. Эта информация используется при разработке технологических карт и регламентов ТОиР.
- Данные для подготовки иллюстрированных каталогов и перечней. Исходные данные формируются в результате анализа конструкторской структуры изделия. Компоненты, которые необходимо включить в каталоги и перечни, вносятся в перечень ЭК, на основании которого создается ЛСИ (подробнее см. раздел 4.4.5).
- Данные для описания процедур поиска и устранения отказов. В описание процедуры отказа включается описание отказа, состоящее из кода и текста, и

предварительные требования. Часть данных, необходимых для описания процедуры, может быть получена из результатов АВПКО.

Информация, необходимая для наполнения модулей данных, содержащих описания регламентов и технологий ТОиР, а также модулей данных иллюстрированного каталога, формируется при выполнении АЛП и фиксируется в БД АЛП (рис. 4-33).

Например, при разработке регламентов и технологий ТОиР по результатам АЛП создаются задачи и процедуры обслуживания. Каждая процедура обслуживания, хранящаяся в БД АЛП, может быть представлена как отдельный модуль данных, которому присваивается уникальный код. На базе технологии выполнения задачи обслуживания формируется процедурно-технологический МД (техкарта), которому присваивается уникальный код. В техническую документацию, как правило, включаются только базовые задачи обслуживания (см. раздел 4.8.4).

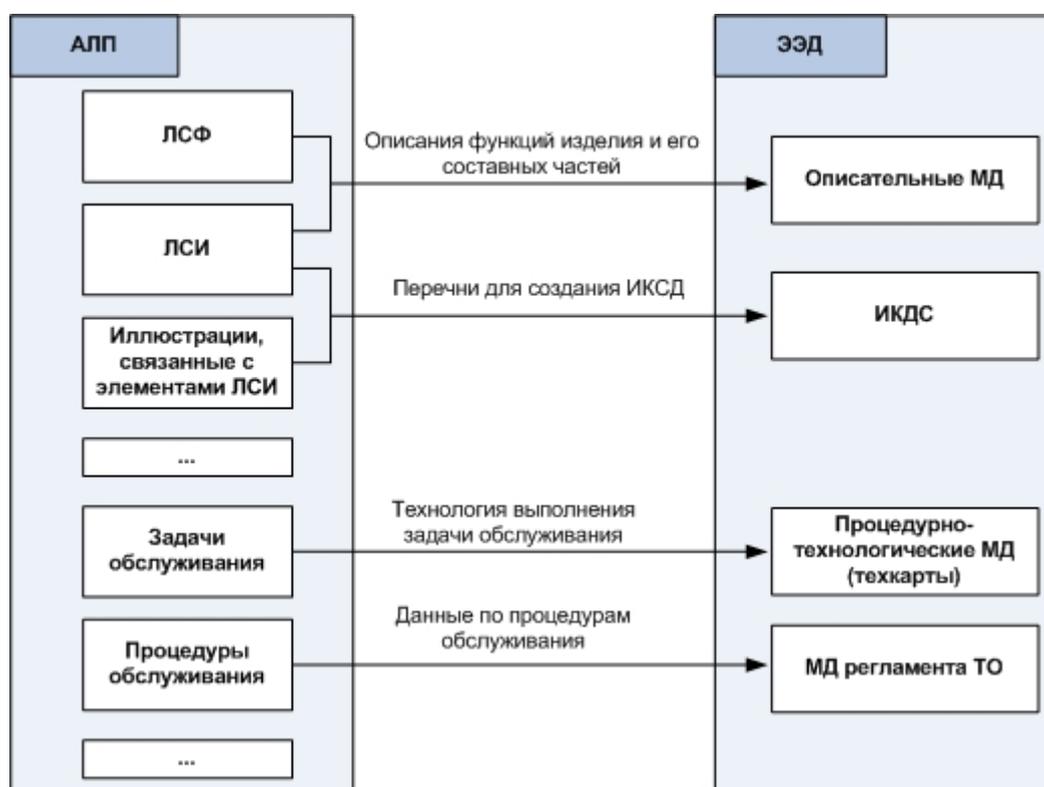


Рис. 4-33. Связь АЛП и процесса подготовки ЭЭД

Одной из функциональных возможностей программного продукта LSS является подготовка данных для эксплуатационной документации, позволяющая выгрузить из БД АЛП в виде обменных файлов формата xml структуру проекта ЭЭД («предварительный» DMRL).

На рис. 4-34 представлена экранная форма программного модуля «Редактор DMRL», входящего в состав LSS. В правой части экранной формы показана структура СН анализируемой системы кондиционирования воздуха. В левой части окна – модули дан-

ных, созданные для элемента «21-10-00::наддув»: техкарта и регламент. Эти модули данных были созданы на основании информации, полученной в результате АЛП системы кондиционирования воздуха и зафиксированной в БД АЛП, а именно:

- Для анализируемой системы СКВ в программном модуле «Редактор DMRL» была разработана структура ССН.
- Разработанная структура стандартной нумерации была связана с ЛСИ. В результате элементам ЛСИ были присвоены коды ССН. В примере, представленном на рис. 4-34, после наименования элемента «21-10-00::наддув» в скобках указано количество связанных с ним элементов ЛСИ.
- При разработке процессов технологического обслуживания системы СКВ были созданы задачи и процедуры обслуживания для логистических элементов.

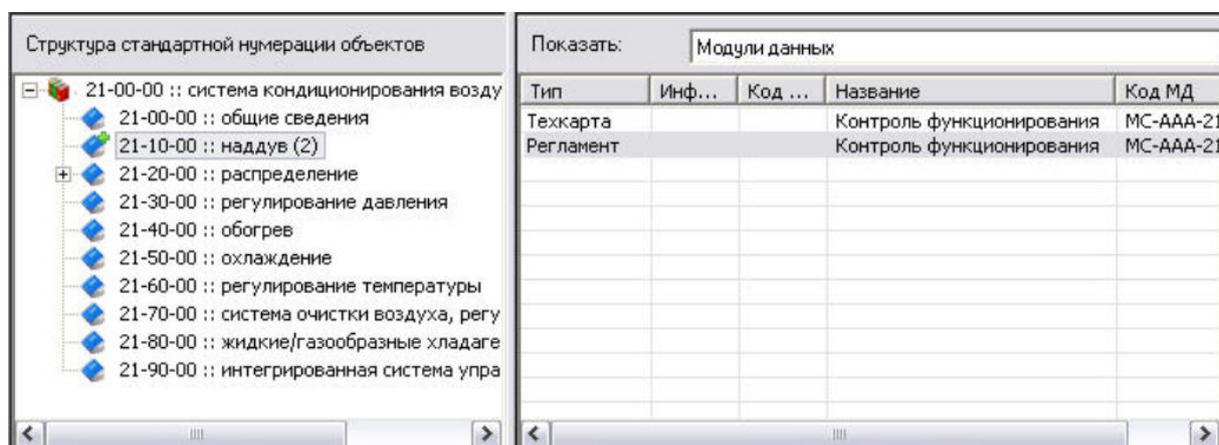


Рис. 4-34. Экранная форма программного модуля «Редактор DMRL» программы LSS

При создании модулей данных в «Редакторе DMRL» описанная в БД АЛП процедура обслуживания элемента ЛСИ, связанного с элементом структуры ССН «21-10-00::наддув», была оформлена в виде отдельного модуля данных типа «Регламент», которому был присвоен код модуля данных. Модуль данных типа «Техкарта» был сформирован на основании описанной в БД АЛП задачи обслуживания элемента ЛСИ, связанного с элементом структуры ССН «21-10-00::наддув».

Сформированный DMRL может быть выгружен в виде обменного файла формата xml, пример которого приведен на рис. 4-35, для последующей загрузки с систему подготовки ЭЭД.

```

DMC-SU35-A-24-10-00-02A-941A-A_001_ru.xml - Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка

<?xml version="1.0" encoding="windows-1251"?>
<!DOCTYPE dmodule [
<ENTITY ICN-SU35-A-241000-0-00000-00029-A-01-1 SYSTEM "ICN-SU35-A-241000-0-00000-00029-A-01-1.rh"
NDATA rh>□]>

<?xml-stylesheet type='text/xsl' href='ie/s1000d_2_2.xslt'?>
<dmodule xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:dc="http://www.purl.org/dc/elements/1.1/" xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://www.s1000d.org/S1000D_2-2/xml_schema/dm/tpdSchema.xsd">
  <idstatus>
    <dmaddres>
      <dmc>
        <avee>
          <modelic>SU35</modelic>
          <sdc>A</sdc>
          <chapnum>24</chapnum>
          <section>1</section>
          <subsect>0</subsect>
          <subject>00</subject>
          <discode>02</discode>
          <discodev>A</discodev>
          <incode>941</incode>
          <incodev>A</incodev>
          <itemloc>A</itemloc>
        </avee>
      </dmc>
      <dmtitle>
        <techname>Схема крепления аккумулятора</techname>
      </dmtitle>
      <issno issno="001" />
      <issdate day="29" month="05" year="2008" />
    </dmaddres>
  </idstatus>

```

Рис. 4-35. Пример обменного файла в формате xml

4.10. Расчет стоимости жизненного цикла изделия

4.10.1. Общие сведения

СЖЦ изделия является важнейшим показателем, характеризующим конкурентоспособность и поддерживаемость изделия. Все процессы и процедуры ИЛП направлены на минимизацию этой стоимости.

СЖЦ изделия включает в себя полные затраты на владение изделием. При рассмотрении вопроса о приобретении нового изделия или о совершенствовании ИЛП изделия, находящегося в эксплуатации, расчет СЖЦ помогает принять решение, которое принесет наибольшую экономическую выгоду.

Любое изменение или усовершенствование изделия или существующего процесса ИЛП также должно быть оценено с точки зрения СЖЦ для определения экономической целесообразности и обоснования необходимости этого изменения или усовершенствования. Сравнение СЖЦ при существующих и при измененных условиях позволяет оце-

нить срок окупаемости затрат за счет общего снижения стоимости и отклонить те изменения, которые не дают существенных преимуществ по СЖЦ.

Результат расчета зависит от принятых допущений или используемого критерия оценки СЖЦ.

СЖЦ изделия фактически представляет собой калькуляцию затрат на приобретение и техническую эксплуатацию изделия. В контексте настоящего учебного курса рассматриваются только затраты на техническую эксплуатацию.

4.10.2. Методика расчета затрат на техническую эксплуатацию

Расчет затрат на техническую эксплуатацию выполняется по следующим статьям расхода:

1. Затраты на персонал.
2. Затраты на расходные материалы.
3. Затраты на запасные части.
4. Затраты на наземное оборудование, в том числе:
 - 4.1. Затраты на специальное наземное оборудование.
 - 4.2. Затраты на стандартное наземное оборудование.
5. Затраты на инфраструктуру.

Расчет затрат на техническую эксплуатацию (ТЭ) удобно выполнять для отдельных систем самолета с последующим суммированием результатов по всем системам. При расчете вычисляются показатели, позволяющие оценить:

- затраты на техническую эксплуатацию системы одного самолета за один год;
- затраты на техническую эксплуатацию системы одного самолета за расчетный период;
- затраты на техническую эксплуатацию системы за расчетный период по парку самолетов;
- удельные затраты на техническую эксплуатацию системы на единицу наработки системы.

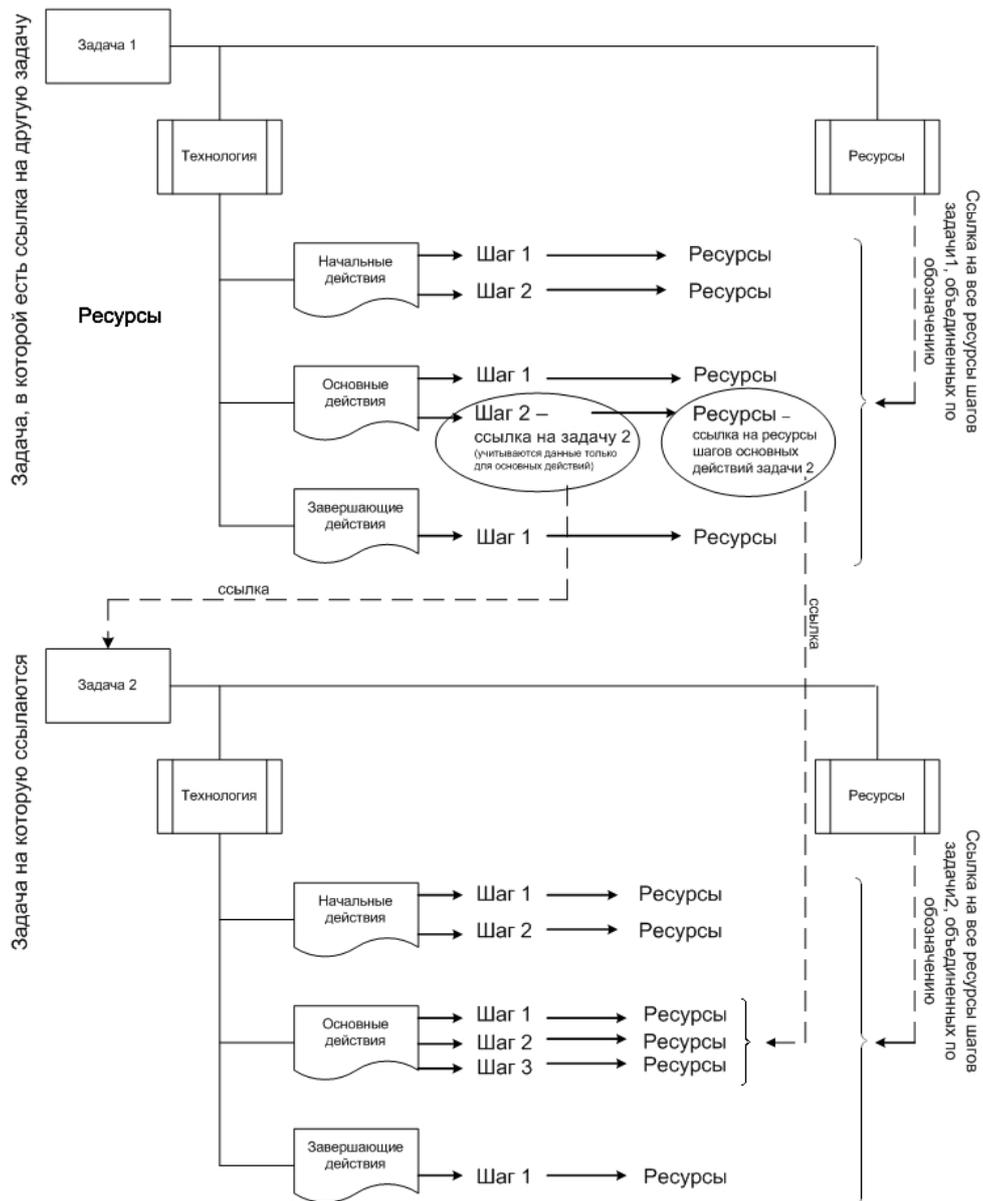
Предполагается, что ТЭ системы учитывает регламентные работы, замены агрегатов (плановые, по выработке ресурса), устранение неисправностей, которые описываются как задачи и процедуры обслуживания. Исходными данными для расчета являются сведения обо всех видах ресурсов, необходимых для выполнения задач обслуживания.

При расчете приняты следующие допущения:

- Цены на материальные ресурсы и ставки заработной платы персонала на расчетный период предполагаются неизменными.

- Если шаг одной из задач обслуживания (задача 1) является ссылкой на другую задачу обслуживания (задача 2), при расчете ресурсов, необходимых для выполнения задачи 1, учитываются ресурсы для выполнения основных действий задачи 2.

Взаимодействие задачи-ссылки и задачи, в которой шаг является ссылкой на задачу при подсчете ресурсов по задачам



1. Если шаг является ссылкой на задачу, то для этого шага при подсчете ресурсов время выполнения и ресурсы являются ссылкой на время выполнения и ресурсы основных действий задачи, на которую ссылается шаг.
2. В вычислениях ресурсы основных действий задачи-ссылки участвуют точно также как собственные ресурсы. Данное правило распространяется на всю глубину вложенности задач.

Рис. 4-36. Взаимодействие задач обслуживания

Расчет затрат на персонал

В рамках этой статьи рассчитываются следующие показатели:

- Затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы одного самолета в год, $S_n^{\text{год}}$.
- Суммарные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы одного самолета за расчетный период, S_{nI} .
- Суммарные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы для парка самолетов за расчетный период, S_{nn} .
- Удельные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы, на единицу наработки системы, $S_n^{\text{уд}}$.

Для последующих расчетов нужно вычислить трудозатраты $T_i^{\text{год}}$ (ч-час) по каждой специальности, необходимые для обслуживания системы одного самолета в год:

$$T_i^{\text{год}} = \frac{\sum_{k=1}^K (T_{ik} \cdot G_k)}{60}, \quad (36)$$

где:

K – количество задач обслуживания системы;

G_k – количество выполнений k -й задачи в год (шт);

T_{ik} – занятость i -ой специальности в k -ой задаче (ч-мин), которая рассчитывается как сумма занятостей исполнителей i -ой специальности, требуемых для выполнения k -ой задачи, по следующей формуле:

$$T_{ik} = \sum_{r=1}^{R_k^i} (t_{ik})_r, \quad (37)$$

где:

$(t_{ik})_r$ – занятость r -ого исполнителя i -ой специальности при выполнении k -ой задачи обслуживания;

R_k^i – количество исполнителей i -ой специальности, требуемых для выполнения k -й задачи ($r = 1 \dots R_k^i$);

i – номер специальности ($i = 1 \dots I$), для которой рассчитываются трудозатраты.

При расчете трудозатрат каждой специальности нужно учитывать также исполнителей, требуемых для выполнения подзадач, на которые ссылаются шаги задачи обслуживания. Все подобные ссылки должны рассматриваться на всю глубину вложенности.

Затраты на персонал, требуемый для обслуживания системы одного самолета в год, определяются по формуле:

$$S_n^{\text{год}} = \sum_{i=1}^I T_i^{\text{год}} \cdot s_i, \quad (38)$$

где:

$T_i^{\text{год}}$ – трудозатраты i -й специальности, необходимые для обслуживания системы самолета в год, рассчитываемые по формуле (36);

I – количество специальностей персонала, необходимого для выполнения задач обслуживания системы самолета;

s_i – стоимость нормо-часа специалиста i -й специальности (руб/ч-час).

Суммарные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы одного самолета за расчетный период:

$$S_{n1} = S_n^{\text{год}} \cdot L, \quad (39)$$

где:

L – длительность расчетного периода (лет).

Суммарные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы для парка самолетов за расчетный период:

$$S_{m1} = S_{n1} \cdot N, \quad (40)$$

где:

N – количество самолетов в парке.

Удельные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы, на единицу ее наработки:

$$S_n^{\text{уд}} = \frac{S_n^{\text{год}}}{t_{\text{год}}}, \quad (41)$$

где:

$t_{\text{год}}$ – средняя наработка системы в год (е.и. наработки).

Примечание:

При расчете затрат на персонал, необходимый для технической эксплуатации самолета, нужно сложить затраты на персонал, необходимый для обслуживания всех систем самолета, и добавить к ним затраты на обслуживание самолета в целом.

Расчет затрат на расходные материалы

В рамках данной статьи расходов рассчитываются следующие показатели:

- Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для обслуживания системы одного самолета за один год, $S_M^{\text{год}}$.
- Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для ТЭ системы одного самолета за расчетный период, S_{M1} .
- Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для обслуживания системы за расчетный период, по парку самолетов, S_{Mn} .
- Удельные затраты на расходные материалы, необходимые для обслуживания системы, на единицу наработки системы, $S_M^{\text{уд}}$.

Для расчета вышеперечисленных показателей нужно вычислить количество j -го вида расходного материала, необходимого для выполнения всех работ в год на одной системе одного самолета, которое определяется по формуле:

$$R_{mj}^{\text{год}} = \sum_{k=1}^K R_{mj}^k \cdot G_k, \quad (42)$$

где:

R_{mj}^k – количество j -го расходного материала, необходимое для одного выполнения k -той задачи. При подсчете расходных материалов также нужно учитывать расходные материалы из подзадач, на которые ссылаются задачи обслуживания;

G_k – среднее количество выполнений k -ой задачи в год;

j – вид расходного материала ($j = 1 \dots J$).

Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для обслуживания системы одного самолета за один год, вычисляются по формуле:

$$S_M^{\text{год}} = \sum_{j=1}^J R_{mj}^{\text{год}} \cdot s_j, \quad (43)$$

где:

$R_{mj}^{\text{год}}$ – количество j -го вида расходного материала, необходимого для выполнения всех задач в год на системе одного самолета, определяемое по формуле (42);

s_j – стоимость одной единицы j -го вида расходного материала;

J – количество видов расходных материалов.

Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для ТЭ системы одного самолета за расчетный период:

$$S_{M1} = S_M^{\text{год}} \cdot L \quad (44)$$

Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для обслуживания системы за расчетный период, по парку самолетов:

$$S_{ми} = S_{м1} \cdot N \quad (45)$$

Удельные затраты на расходные материалы, необходимые для обслуживания системы, на единицу наработки системы:

$$S_{м}^{уд} = \frac{S_{м}^{год}}{t_{год}} \quad (46)$$

Примечание:

При расчете затрат на расходные материалы, необходимые для технической эксплуатации самолета, нужно сложить затраты на расходные материалы по всем системам самолета и добавить к ним затраты на расходные материалы, необходимые для технической эксплуатации самолета в целом.

Затраты на наземное оборудование и инструмент

Затраты на наземное оборудование и инструмент складываются из затрат на специальное наземное оборудование и инструмент и затрат на стандартное наземное оборудование и инструмент. Алгоритмы расчета этих затрат довольно сильно различаются. Специальное оборудование рассматривается как оборудование, разработанное специально для самолета анализируемого типа и поставляемое вместе с ним. Стандартное оборудование (или оборудование общего применения) не поставляется вместе с самолетом, может закупаться у разных поставщиков и использоваться для разных типов самолетов, имеющих у эксплуатанта. Таким образом, затраты на специальное оборудование полностью входят в затраты на эксплуатацию поставляемого парка самолетов, а затраты на стандартное оборудование – только частично (пропорционально времени использования оборудования). Такая же логика применяется для инструмента.

Затраты на специальное наземное оборудование и инструмент

Затраты на специальное наземное оборудование и инструмент самолета складываются из затрат на специальное оборудование и инструмент, требующихся для выполнения задач обслуживания систем самолета.

Рассмотрим расчет затрат на специальное наземное оборудование и инструмент (далее, для краткости - спецоборудование) по одной системе самолета. В рамках этой статьи рассчитываются следующие показатели:

- Затраты на спецоборудование для обслуживания системы одного самолета в течение года, $S_{sp}^{год}$.
- Затраты на спецоборудование для обслуживания системы, приходящиеся на один год по парку самолетов, S_{sp1} .

- Суммарные затраты на оборудование f -го типа, необходимого для обслуживания системы S_{sp_f} (на весь оцениваемый период и парк самолетов).
- Суммарные затраты на все типы спецоборудования для обслуживания системы, S_{sp_0} (на весь оцениваемый период и парк самолетов).
- Удельные затраты на специальное оборудование, необходимое для обслуживания системы, на единицу наработки системы, $S_{sp}^{уд}$.

Суммарные затраты на спецоборудование f -го типа, применяемого для обслуживания системы:

$$S_{sp_f} = C_f \cdot K_{рек.f}, \quad (47)$$

где:

$K_{рек.f}$ – полное рекомендуемое количество единиц спецоборудования f -го типа, необходимого для обслуживания системы по парку самолетов;
 C_f – цена f -го изделия.

Примечание:

Поскольку спецоборудование f -го типа может использоваться при обслуживании нескольких систем, величина $K_{рек.f}$ может оказаться не целым числом и даже иметь значение, меньшее единицы.

Суммарные затраты на спецоборудование для обслуживания системы по парку самолетов вычисляются по формуле:

$$S_{sp_0} = K_{обсл} \sum_{f=1}^F S_{sp_f}, \quad (48)$$

где:

F – количество типов используемого спецоборудования;
 $K_{обсл} > 1$ – коэффициент, отражающий затраты на обслуживание спецоборудования.

Затраты на спецоборудование для обслуживания системы, приходящиеся на один год по парку самолетов:

$$S_{sp1} = \frac{S_{sp_0}}{L_{sp}}, \quad (49)$$

где:

L_{sp} – средний срок службы комплекта спецоборудования, лет.

Затраты на спецоборудование на систему одного самолета в течение года:

$$S_{sp}^{год} = \frac{S_{sp1}}{N} \quad (50)$$

Затраты на расчетный период по парку самолетов:

$$S_{sp} = S_{sp1} \cdot L, \quad (51)$$

где, как и выше, L – продолжительность расчетного периода, лет.

Удельные затраты на специальное оборудование на единицу наработки системы:

$$S_{sp}^{уд} = \frac{S_{sp}^{год}}{t_{год}} \quad (52)$$

Затраты на стандартное наземное оборудование и инструмент

В рамках данной статьи для каждой системы самолета рассчитываются следующие показатели (далее, для краткости – оборудование):

- Затраты на оборудование f -го типа, приходящиеся на один самолет в течение одного года, S_{stf} .
- Суммарные затраты на оборудование, приходящиеся на один самолет в течение одного года, $S_{st}^{год}$.
- Суммарные затраты на оборудование для обслуживания системы на весь расчетный период и парк самолетов, Sst .
- Удельные затраты на оборудование на единицу наработки системы, $S_{st}^{уд}$.

Затраты определяются как амортизационные отчисления, пропорциональные времени использования каждого типа оборудования.

Время использования оборудования f -го типа при выполнении задач обслуживания одной системы одного самолета за один год рассчитывается по формуле:

$$T_{обф}^{год} = \sum_{k=1}^{K_f} T_{fk} \cdot G_k \cdot n_{fk}, \quad (53)$$

где:

T_{fk} – полное время выполнения k -ой задачи, в которой используется оборудование f -го типа ($f=1 \dots F$), час;

n_{fk} – количество единиц оборудования f -го типа на k -ю задачу;

G_k – среднее количество выполнений k -ой задачи в год;

K_f – количество задач, в которых используется оборудование f -го типа;

f – порядковый номер типа стандартного оборудования/инструмента, используемого в задаче.

Затраты на оборудование f -го типа, приходящиеся на один самолет в течение одного года, рассчитываются как амортизационные отчисления по формуле:

$$S_{stf} = T_{обf}^{год} \cdot a_f, \quad (54)$$

где:

$T_{обf}^{год}$ – суммарное время использования оборудования f -го типа в год, час – рассчитывается по формуле (53);

a_f – величина амортизационных отчислений для оборудования f -го типа, вал. ед/час (также учитывает затраты на обслуживание оборудования).

Суммарные затраты на оборудование, приходящиеся на один самолет в течение одного года:

$$S_{st}^{год} = \sum_{f=1}^{F_{st}} S_{stf}, \quad (55)$$

где:

F_{st} - количество типов стандартного используемого оборудования/инструмента.

Затраты на оборудование f -го типа на весь расчетный период и парк самолетов:

$$Sst_f = S_{stf} \cdot N \cdot L \quad (56)$$

Суммарные затраты на оборудование для обслуживания системы на весь расчетный период и парк самолетов:

$$Sst = \sum_{f=1}^{F_{st}} Sst_f \quad (57)$$

Суммарные затраты на оборудование для обслуживания системы на весь расчетный период и парк самолетов:

$$S_{st}^{уд} = \frac{S_{st}^{год}}{t_{год}} \quad (58)$$

Затраты на запасные части

Затраты на запасные части складываются из затрат на приобретение и хранение начального запаса запчастей и затрат на поддержание текущего запаса запчастей.

Суммарные затраты на запчасти для системы самолета:

$$S_3 = \sum_{m=1}^M S_{3m}, \quad (59)$$

где:

M – количество типов запчастей;

S_{3m} – суммарные затраты на запчасти m -го типа за расчетный период по всему парку самолетов, которые рассчитываются по формуле:

$$S_{3m} = (S_{\text{пр}}^{\text{нач}})_m + (S_{\text{пр}}^{\text{тек}})_m + (S_{\text{хр}}^{\text{нач}})_m + (S_{\text{хр}}^{\text{тек}})_m + (S_{\text{дст}}^{\text{тек}})_m, \quad (60)$$

где:

$(S_{\text{пр}}^{\text{нач}})_m$ – затраты на приобретение начального запаса запчастей m -го типа по всему парку эксплуатируемых самолетов (формула (61));

$(S_{\text{пр}}^{\text{тек}})_m$ – затраты на приобретение текущего запаса изделий m -го типа по парку самолетов (формула (64));

$(S_{\text{хр}}^{\text{нач}})_m$ – затраты на хранение начального запаса запчастей m -го типа (формула (62));

$(S_{\text{хр}}^{\text{тек}})_m$ – затраты на хранение текущего запаса запчастей m -го типа в течение периода текущего МТО (формула (67));

$(S_{\text{дст}}^{\text{тек}})_m$ – затраты на доставку текущего запаса для изделия m -го типа по парку техники (формула (66)).

Затраты на приобретение и хранение начального запаса запчастей

Затраты на приобретение начального запаса m -го вида запчастей для всего парка эксплуатируемых самолетов:

$$(S_{\text{пр}}^{\text{нач}})_m = C_m \cdot (A_{\text{max}})_m, \quad (61)$$

где:

C_m – цена единицы m -го изделия, руб;

$(A_{\text{max}})_m$ – рекомендуемый объем начального запаса m -х изделий, шт.

Затраты на хранение начального запаса запчастей m -го типа (предполагается, что запас расходуется равномерно на протяжении всего периода начального МТО):

$$(S_{\text{хр}}^{\text{нач}})_m = \frac{T_{\text{нач}}}{2 \cdot 12} \cdot y \cdot V_m \cdot (A_{\text{max}})_m, \quad (62)$$

где:

$T_{\text{нач}}$ – период начального МТО, мес.;

y – стоимость 1м^3 помещений для хранения запаса, руб;

V_m – объем, занимаемый на складе m -м изделием, м³.

Затраты на поддержание текущего запаса запчастей

Количество месяцев текущего МТО (без учета периода начального МТО):

$$T_{\text{тек}} = 12L - T_{\text{нач}}, \quad (63)$$

где, как и выше, L – длительность расчетного периода, лет.

Затраты на приобретение текущего запаса m -го изделия на весь расчетный период и на весь парк самолетов:

$$(S_{\text{пр}}^{\text{тек}})_m = C_m \cdot (A_q)_m \cdot Q_m, \quad (64)$$

где:

$(A_q)_m$ – рекомендуемый объем партии поставки m -х изделий;

Q_m – количество заказов m -го изделия за время текущего МТО, рассчитываемое по формуле:

$$Q_m = \frac{T_{\text{тек}}}{(T_{\text{зак}})_m}, \quad (65)$$

где:

$(T_{\text{зак}})_m$ – время между заказами m -го изделия.

Затраты на доставку текущего запаса для m -го изделия на весь расчетный период и парк самолетов:

$$(S_{\text{дст}}^{\text{тек}})_m = (C_{\text{дст}})_m \cdot Q_m, \quad (66)$$

где:

$(C_{\text{дст}})_m$ – стоимость доставки партии m -ых изделий на склад.

Затраты на хранение текущего запаса запчастей m в течение периода текущего МТО (предполагается, что запас расходуется равномерно):

$$(S_{\text{хр}}^{\text{тек}})_m = \frac{(T_{\text{зак}})_m}{2 \cdot 12} \cdot y \cdot V_m \cdot (A_q)_m \cdot Q_m \quad (67)$$

Суммарные затраты на запчасти

Суммарные затраты на приобретение запчастей на весь расчетный период и парк:

$$S_{\text{зпр}} = \sum_{m=1}^M \left[(S_{\text{пр}}^{\text{нач}})_m + (S_{\text{пр}}^{\text{тек}})_m \right] \quad (68)$$

Затраты на приобретение запчастей в год на 1 самолет:

$$(S_{3\text{пр}})_I^{\text{год}} = \frac{S_{3\text{пр}}}{N \cdot L} \quad (69)$$

Суммарные затраты на хранение запчастей:

$$S_{3\text{хр}} = \sum_{m=1}^M [(S_{\text{хр}}^{\text{нач}})_m + (S_{\text{хр}}^{\text{тек}})_m] \quad (70)$$

Затраты на хранение в год на 1 самолет:

$$(S_{3\text{хр}})_I^{\text{год}} = \frac{S_{3\text{хр}}}{N \cdot L} \quad (71)$$

Суммарные затраты на доставку запчастей:

$$S_{3\text{дст}} = \sum_{m=1}^M (S_{\text{дст}}^{\text{тек}})_m \quad (72)$$

Затраты на хранение в год на 1 самолет:

$$(S_{3\text{дст}})_I^{\text{год}} = \frac{S_{3\text{дст}}}{N \cdot L} \quad (73)$$

Суммарные затраты на запчасти для 1 самолета (на весь период):

$$S_{31} = \frac{S_3}{N} \quad (74)$$

Суммарные затраты на запчасти для 1 самолета в год:

$$S_{31}^{\text{год}} = \frac{S_{31}}{L} \quad (75)$$

Удельные затраты на запчасти за единицу наработки системы:

$$S_{3\text{уд}} = \frac{S_{31}^{\text{год}}}{t_{\text{год}}} \quad (76)$$

Затраты на инфраструктуру

Затраты на инфраструктуру включают в себя затраты на приобретение и обслуживание объектов инфраструктуры (зданий, сооружений и т.д.), а также расходы на все виды используемых при технической эксплуатации энергоресурсов: электроэнергию, тепло, водоснабжение всех видов, услуги связи и т.д. Эти затраты могут быть определены на весь самолет в целом – затраты по системам определить невозможно. При этом основным параметром должно служить среднее время пребывания самолета на объекте инфраструктуры в процессах технического обслуживания и ремонта. Тогда затраты, связанные с использованием этих объектов, можно определить через коэффициенты амортизации, подобно тому, как это сделано для стандартного оборудования и инструмента. Затраты на энергоресурсы также определяются по времени с учетом действующих тарифов на различные виды энергоносителей.

4.11. Методика расчета коэффициента готовности конечного изделия

Настоящая методика является предварительной и основана на статистических данных, полученных для конечного изделия, являющегося объектом АЛП, либо для изделия-аналога.

Согласно [5], **операционная готовность** A_0 есть вероятность того, что при использовании в установленных условиях объект (конечное изделие) окажется работоспособным в произвольно выбранный момент времени в установившемся процессе эксплуатации. При определении операционной готовности учитывается время нахождения в резерве и время простоя по административным и логистическим причинам.

Величина A_0 рассчитывается по формуле:

$$A_0 = \frac{OT + ST}{OT + ST + TPM + ALDT}, \quad (77)$$

где:

OT – время функционирования за календарный год (час);

ST – время нахождения в резерве за год;

TPM – полная продолжительность планового обслуживания за год;

TSM – полная продолжительность непланового обслуживания за год;

ALDT – продолжительность административных простоев.

Недостатком формулы является отсутствие ясности в отношении единиц измерения входящих в нее параметров. Согласно отечественной практике продолжительность обслуживания, простоев по различным причинам и нахождения в резерве учитывается в днях (сутках). По этой же причине время нахождения изделия в исправном состоянии (т.е. в состоянии готовности к использованию) имеет смысл оценивать в тех же единицах.

С учетом этого замечания введем следующие обозначения:

AD (*Annual Days*) – число дней в году, в течение которых изделие могло бы быть использовано по назначению (по умолчанию 365 дней в году).

AWT (*Annual Work Order Time*) – среднее время (число дней) пребывания изделия в исправном состоянии в течение года (в работе и в резерве).

ADT (*Annual Downtime*) – среднее время простоев изделия по различным причинам в течение года.

В этих обозначениях из (77) можно получить:

$$AD = OT + ST + TPM + TCM + ALDT \quad (78)$$

$$AWT = OT + ST \quad (79)$$

$$ADT = TPM + TCM + ALDT \quad (80)$$

Из (78), (79) и (80) следует:

$$AWT = AD - ADT \quad (81)$$

Подставляя (78) и (81) в (77), получим:

$$A_0 = \frac{AD - ADT}{AD} = 1 - \frac{ADT}{AD} \quad (82)$$

Эта формула позволяет определить коэффициент операционной готовности по статистическим данным.

Пример:

Для одного из бортов самолета ТУ214 в течении трех лет эксплуатации зафиксированы статистические данные, приведенные в таблице 5.

Таблица 5. Статистические данные для самолета ТУ214

| Наименование работ | Количество работ за 3 года | Всего дней за 3 года | Средняя продолжительность одной работы, дней | Среднее количество работ в год | Средняя продолжительность работы, дней |
|--------------------------|----------------------------|----------------------|--|--------------------------------|--|
| Оперативное обслуживание | 33 | 122 | 3,7 | 11 | 40,7 |

| Наименование работ | Количество работ за 3 года | Всего дней за 3 года | Средняя продолжительность одной работы, дней | Среднее количество работ в год | Средняя продолжительность работы, дней |
|--|----------------------------|----------------------|--|--------------------------------|--|
| по форме Б (100ч.) | | | | | |
| Периодическое обслуживание 600ч. | 5 | 68 | 13,6 | 1,66 | 22,6 |
| Периодическое обслуживание 3000ч. | 1 | 60 | 60 | 0,33 | 20 |
| TPM | | | | | 83,3 |
| Внеплановое обслуживание (стоянка по отказу) | 9 | 36 | 4 | 3 | 12 |
| TCM | | | | | 12 |
| Прочие работы (простои) | 1 | 3 | 3 | 0,33 | 1 |
| ALDT | | | | | 1 |
| Итого ADT | | | | | 96,3 |

Полагая $AD = 365$, по формуле (82) получим:

$$A_0 = (365 - 96,3) / 365 = 0,736$$

Для получения более достоверных оценок следует брать выборку по парку самолетов, эксплуатируемых в сходных условиях, например, по авиакомпании в целом, и за большее число лет, чтобы в выборку попадали «тяжелые» формы обслуживания. Усреднение при этом надо проводить и по годам, и по бортам (на 1 самолет за 1 год). Если при этом число бортов, эксплуатируемых в наблюдаемый период, меняется, следует брать в расчет среднее число эксплуатируемых бортов.

В методике, разработанной 13 НИИ МО, предложено считать коэффициент технической готовности. По данному в методике определению *коэффициент технической готовности* ($k_{\text{ТГ}}$) – вероятность того, что в произвольный момент времени самолет (вертолет) не будет находится на плановом ТО и его вылет не будет задержан сверх допустимого времени или отменен из-за его неисправности. Это определение близко по смыслу приведенному выше определению A_0 .

В указанной методике этот коэффициент зависит от двух величин:

- **коэффициента планируемого применения ($k_{\text{ПП}}$)** – вероятности того, что в произвольный момент времени самолет (вертолет) не будет находиться на плановом ТО (определяется суммарной продолжительностью планового технического обслуживания);
- **коэффициента готовности к вылету ($k_{\text{ГВ}}$)** – вероятности того, что запланированный на определенное время вылет самолета (вертолета) не будет задержан или отменен из-за его неисправности (определяется суммарной продолжительностью устранения случайных отказов).

Тогда

$$k_{\text{ГТ}} = k_{\text{ПП}} + k_{\text{ГВ}} \quad (83)$$

В соответствии с приведенными определениями, эти коэффициенты можно определить через введенные выше параметры:

$$k_{\text{ПП}} = 1 - \frac{TPM + ALDT_p}{AD}; \quad k_{\text{ГВ}} = 1 - \frac{TCM + ALDT_c}{AD} \quad (84)$$

Здесь величины $ALDT_p$ и $ALDT_c$ обозначают время простоев по логистическим и административным причинам при плановом и внеплановом обслуживании соответственно.

Подставляя формулы (84) в (83), получим:

$$k_{\text{ГТ}} = \left(1 - \frac{TPM + ALDT_p}{AD}\right) \left(1 - \frac{TCM + ALDT_c}{AD}\right)$$

Раскрывая скобки и приводя подобные члены, получим окончательно:

$$k_{\text{ГТ}} = 1 - \frac{TPM + TCM + ALDT}{AD} + \frac{(TPM + ALDT_p)(TCM + ALDT_c)}{AD^2} \quad (85)$$

Здесь $ALDT = ALDT_p + ALDT_c$.

Если принять во внимание, что третий член (дробь) в (85) много меньше единицы и второго члена, а также учесть, что отбрасывание этой дроби приведет к некоторому уменьшению коэффициента $k_{\text{ГТ}}$, то

$$k_{\text{ТТ}} \cong 1 - \frac{AD\bar{t}}{AD} = A_0 \quad (86)$$

Т.е. для оценки величины $k_{\text{ТТ}}$ можно пользоваться приведенными выше формулами (77) - (82).

(По данным нашего примера величина отбрасываемого члена составляет 0,008, т.е. около 1% от величины A_0).

В заключение несколько слов по поводу величины AD . В упомянутой методике для оценки величины $k_{\text{ПП}}$ используется формула:

$$k_{\text{ПП}} = 1 - k_{\text{пто}} \bar{t},$$

где $k_{\text{пто}}$ - удельная продолжительность ТО (по-видимому, продолжительность ТО на 1 летный час), а величина \bar{t} вычисляется по формуле:

$$\bar{t} = \frac{t_{\text{год}}}{k_0 \Phi_{\text{год}}},$$

где:

$t_{\text{год}}$ - годовой налет (задается в ТТЗ),

$\Phi_{\text{год}}$ - годовой фонд времени (в часах),

k_0 - коэффициент доли оперативного времени в $\Phi_{\text{год}}$ (обычно 0,75).

Тогда:

$$k_{\text{пто}} \bar{t} = \frac{t_{\text{пто}}}{t_{\text{год}}} \cdot \frac{t_{\text{год}}}{k_0 \Phi_{\text{год}}} = \frac{t_{\text{пто}}}{k_0 \Phi_{\text{год}}} = \frac{TPM}{AD}, \quad (87)$$

($t_{\text{пто}}$ - годовая продолжительность планового ТО),

что справедливо, если годовой фонд задавать не в часах, а в днях, и учитывать, что k_0 не равно 1, если есть дни, когда самолет не должен (не может) летать (отсутствие экипажа, отсутствие керосина, метеоусловия и т.д.).

В заключение еще раз подчеркнем, что описанная выше методика является предварительной, нуждается в развитии и уточнении и программным обеспечением в настоящее время не поддерживается.

4.12. Технический и экономический анализ уровней ремонта

Название этого вида анализа является сокращенным, поскольку на самом деле предполагает учет работ как по ремонту, так и по техническому обслуживанию изделия. По определению, содержащемуся в [10], **анализ уровней ремонта, АУР** (*level of repair*

analysis – LORA): анализ задач обслуживания и ремонта, необходимых ресурсов и возможностей обслуживающих организаций с целью такого распределения указанных задач между этими организациями, которое обеспечивает снижение суммарных затрат. Нетрудно заметить, что в этом определении говорится и о ремонте, и о техническом обслуживании, т.е. о ТОиР.

В этом же [10] **уровень ТОиР** (*maintenance/repair level*) определен следующим образом: предприятие (организация, подразделение и т.п.), обладающее совокупностью оборудования, инструментов, инфраструктуры и персонала с необходимыми квалификационными навыками, позволяющими выполнять определенные типы работ по техническому обслуживанию/ремонту изделия.

В настоящее время наиболее распространена трехуровневая система ТОиР:

- первый уровень (1-я линия или эксплуатационный уровень) – технический персонал в составе экипажа изделия и/или техническая служба места базирования (аэропорта или, например, для военной авиации – технико-эксплуатационная часть авиационного полка);
- второй уровень (2-я линия или средний уровень) – специализированная ремонтная организация (подразделение, цех, мастерская);
- третий уровень (3-я линия или уровень ремонтного завода) – ремонтный завод или ремонтная служба производителя.

В [26] приведены термины, схожие по смыслу с понятиями уровней ТОиР, но называемые **методами технического обслуживания/ремонта**.

В дальнейшем, для краткости, говорится об уровнях ремонта, но при этом подразумеваются уровни ТОиР.

Процесс АУР состоит из двух этапов:

- На первом этапе определяется, где должно ремонтироваться или обслуживаться изделие. При этом работы распределяются по организационным уровням, например, работы, выполняемые силами эксплуатирующего персонала, силами ремонтной бригады, силами ремонтных предприятий или завода-изготовителя.
- На втором этапе определяется, до какого момента изделие должно ремонтироваться или обслуживаться на том или ином уровне.

В рамках АУР рассматриваются задачи обслуживания, определенные при проведении функционального анализа, АВПКО и АООН (анализа MSG-3).

Согласно стандарту [27], анализ уровней ремонта начинается с технической части (технического АУР). На этом этапе разрабатывается алгоритм анализа, состоящий из некоторого количества вопросов. Примерный алгоритм приведен на рис. 4-37.

В результате выполнения алгоритма АУР для всех элементов, требующих анализа, разрабатывается стратегия ТОиР и определяется наиболее подходящий уровень для каждой задачи внепланового обслуживания.

При выборе того или иного уровня ремонта для компонента должны приниматься во внимание все аспекты выполняемой задачи: процедуры диагностирования, доступность компонентов (удобство размещения), воздействие на окружающую среду и т.д. В рамках этого анализа также составляется список кандидатов для проведения экономического АУР. Изделия-кандидаты выбираются в соответствии с концепцией обслуживания, описывающей уровни ТОиР и типы обслуживания, выполняющиеся на каждом уровне.

Следующим этапом АУР является проведение экономического анализа уровней ремонта. Этот анализ позволяет определить наиболее экономически выгодную стратегию ремонта компонента, учитывая характеристики ремонтпригодности и физические характеристики компонента. На Западе используется множество моделей для экономического АУР простых и сложных систем. Стандарт [27] содержит несколько моделей, например, модель для авиационного электрооборудования. Все эти модели акцентируют внимание на шести основных видах затрат:

- стоимость товарно-материальных запасов, включая затраты на администрирование, износ, транспортирование;
- затраты на оборудование поддержки (под оборудованием поддержки понимается нестандартное оборудование, необходимое для выполнения конкретной задачи внепланового обслуживания на данном уровне ремонта);
- затраты на помещения для складирования товарно-материальных запасов;
- затраты на рабочую силу;
- затраты на обучение;
- затраты на создание ремонтной документации.

При проведении АУР необходима информация, связанная с поддерживаемостью финального изделия, использованием его по назначению (продолжительность эксплуатации, среда эксплуатации и т.д.) и организацией системы эксплуатации (расстояния до центров обслуживания, количество центров обслуживания и т.д.). Кроме этого, требуется информация, касающаяся отдельных компонентов, такая как средняя наработка на отказ, стоимость, время ремонта, время поставки и т.д.

После проведения анализа уровней ремонта формируется окончательный список задач планового и непланового обслуживания, всем задачам присваиваются кодовые обозначения.

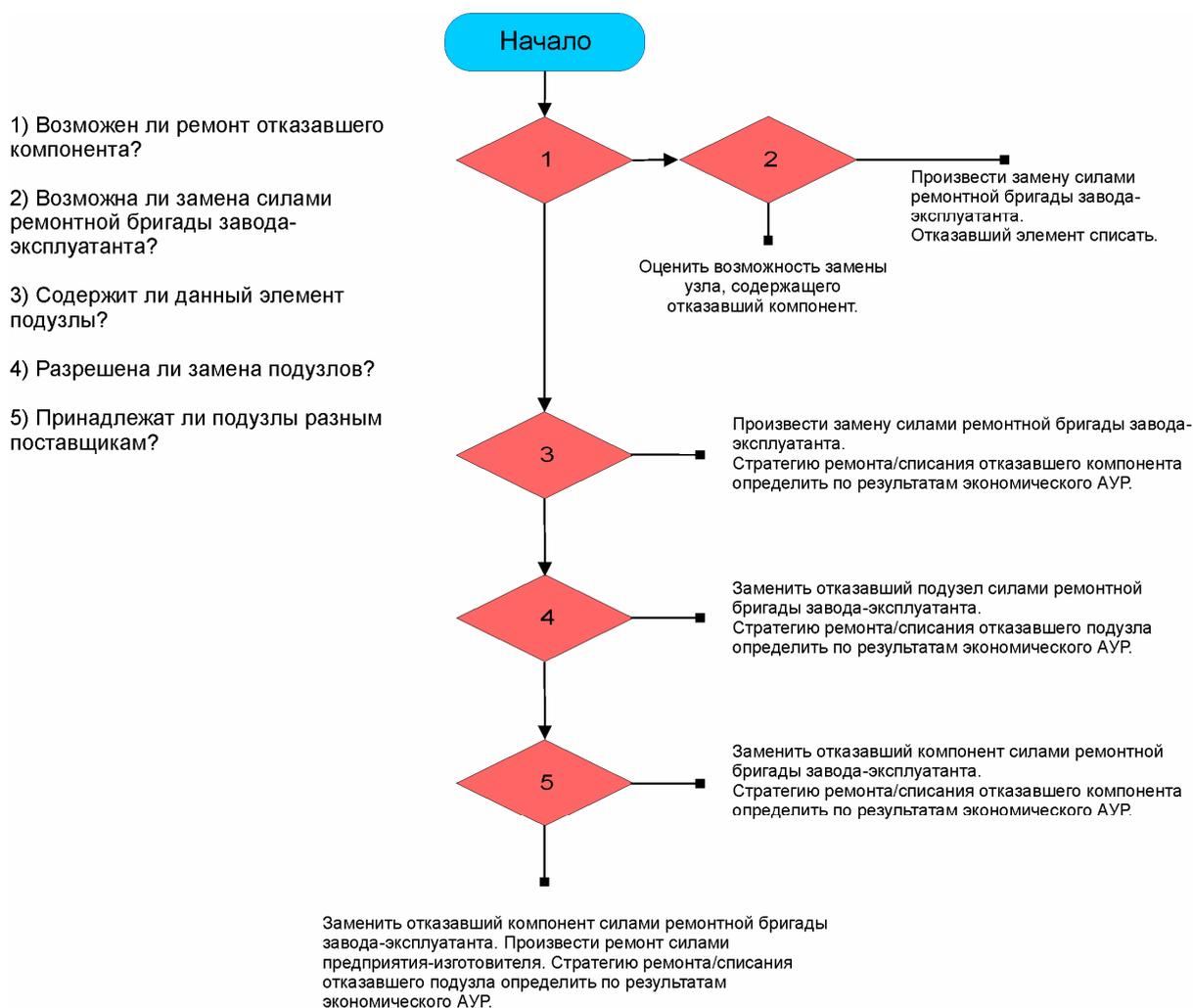


Рис. 4-37. Примерный алгоритм АУР

4.13. Отчеты из базы данных АЛП

Основной формой представления результатов АЛП являются отчеты, которые должны автоматически формироваться из БД АЛП специальными программными средствами. В [5] приведен перечень стандартных отчетов АЛП и их типовые формы (таблица 6).

Таблица 6. Фрагмент списка отчетов

| Номер отчета | Английское название отчета | Русское название отчета |
|--------------|--|---|
| LSA-001 | Man-Hours by Skill Speciality Code and Level of Maintenance. | Занятость для специальностей, удовлетворяющих определенным квалификационным требованиям и уровням обслуживания. |

| Номер отчета | Английское название отчета | Русское название отчета |
|--------------|--|---|
| LSA-010 | Spare and Repair Parts Summary. | Сводная ведомость запасных и ремонтных частей. |
| LSA-018 | Task Inventory Summary. | Сводный перечень задач. |
| LSA-027 | Failure/Maintenance Rate Summary. | Ведомость интенсивности отказов/обслуживания. |
| LSA-030 | Indentured Parts List. | Согласованный перечень запасных частей. |
| LSA-036 | Provisioning Requirements. | Требования к МТО. |
| LSA-050 | Reliability-Centred Maintenance (RCM) Summary. | Сводный отчет об обслуживании, обеспечивающем надежность. |
| LSA-056 | Failure Modes Effects and Criticality Analysis (FMECA) Report. | Отчет об анализе видов, последствий и критичности отказов (АВП-КО). |
| LSA-058 | Reliability Availability and Maintainability Summary. | Сводный отчет по надежности, готовности и пригодности к обслуживанию. |
| LSA-071 | Support Equipment Candidate List. | Перечень рекомендуемого вспомогательного оборудования. |
| LSA-074 | Support Equipment Tool List. | Перечень инструментов и вспомогательного оборудования. |
| LSA-126 | Hardware Generation Breakdown Tree. | Дерево структуры изделия (аналог ЛСИ). |
| LSA-606 | Reliability-Centred Maintenance (RCM). | Обслуживание, обеспечивающее надежность. |
| LSA-648 | Provisioning (S2000M Related Data) Report. | МТО (информация, относящаяся к S2000M). |

| Номер отчета | Английское название отчета | Русское название отчета |
|--------------|---|--|
| LSA-652 | Illustrated Parts Catalogue (S2000M Related Data) Report. | Иллюстрированный каталог запчастей (информация, относящаяся к S2000M). |
| LSA-674 | Electronic Documentation Requirements Report (S1000D). | Требования к электронной документации (S1000D). |

Стандарт отмечает, что ни один отчет не является обязательным. Конкретный состав данных, включаемых в отчеты, и их формы определяются совместно заказчиком и разработчиком и могут отличаться от рекомендаций стандарта.

Перед началом работ по АЛП заказчик и разработчик рассматривают и выбирают стандартные формы отчетов, которые они хотят получить в результате. Затем определяется перечень элементов данных, входящих в выбранные отчеты, после чего выбираются задачи АЛП, выполнение которых позволит получить все необходимые данные.

Полученный отчет может быть просмотрен в электронном виде и при необходимости распечатан на бумаге.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие сведения должен содержать документ «Стратегия АЛП»? Какая информация используется в качестве исходной при подготовке данного документа? Что может служить основанием для внесения изменений в документ «Стратегия АЛП»?
2. В чем состоит назначение документа «План АЛП»? Какие сведения может содержать данный документ? Что может служить основанием для внесения изменений в документ «План АЛП»?
3. Какие данные вводятся в БД АЛП при создании нового проекта АЛП и описании сценария использования изделия по назначению?
4. Что означают понятия «ЛСИ» и «ЛСФ»?
5. Что означают понятия «Элемент ЛСИ» и «Элемент ЛСФ»?
6. Какими критериями необходимо руководствоваться при выборе компонентов конструкции в качестве ЭК на АЛП?
7. В чем заключаются общие принципы формирования ЛСИ?
8. По каким уровням разукрупнения производится формирование ЛСИ? Обязательно ли использование всех уровней разукрупнения?
9. На какие типы элементов можно разделить ЭК?
10. По каким правилам ЭК включаются в ЛСИ?
11. В соответствии с требованиями какого нормативного документа логистическим элементам присваивается ЛКН?
12. По какому принципу назначается ЛКН дочерним логистическим элементам?

13. С какой целью разрабатывается ЛСФ?
14. Что означает понятие «функциональный блок»?
15. Опишите общую структуру дерева ЛСФ.
16. Из каких этапов состоит процесс формирования ЛСФ?
17. Какие типы связей возможны между элементами ЛСФ и ЛСИ? Что позволяет выявить процедура установления связей между этими элементами?
18. На основании какой информации определяется доля времени работы элементов?
19. Как связаны ЛСИ и конструкторская структура изделия?
20. Что означают понятия «АВПКО» и «АВПО»?
21. Каким нормативным документом нужно руководствоваться при выполнении АВПКО?
22. Кто входит в состав рабочей группы для выполнения АВПКО?
23. Какие справочники рекомендуется использовать при выполнении АВПКО для соблюдения единого стиля описания отказов и их последствий?
24. Что является предметом АВПКО?
25. Должно ли обозначение вида отказа, присвоенное при кодировании видов отказов логистических элементов, быть уникальным в пределах проекта АЛП?
26. Для каких целей разрабатывается классификация тяжести последствий отказов? Какие факторы учитывают при классификации тяжести последствий отказов? Какая классификация тяжести последствий отказов предложена стандартом DEF STAN 00-60?
27. На какие этапы, выполняемые последовательно на каждой стадии разработки изделия, можно разбить АВПКО?
28. Опишите последовательность действий при АВПО.
29. На какой стадии разработки изделия выполняется качественный анализ критичности? В чем заключается процедура качественного анализа критичности?
30. На какой стадии разработки изделия выполняется количественный анализ критичности? В чем заключается процедура количественного анализа критичности?
31. Что означает понятие «Анализ обслуживания, обеспечивающего надежность»?
32. В каком нормативном документе описана методика проведения АООН для изделий авиационной техники?
33. В чем заключается цель эффективной программы обслуживания?
34. Кто должен входить в состав рабочей группы АООН?
35. Какие данные, полученные в результате АЛП, используются в качестве исходных при выполнении АООН? Что является предметом АООН?
36. По каким критериям выбираются компоненты для АООН?
37. Опишите алгоритм АООН систем самолета и силовой установки. Какие категории могут быть присвоены функциональному отказу в результате АООН?
38. В чем заключается цель расчета периодичности компонентов конструкции на основании данных об их надежности и критичности?
39. Как определить интервал обслуживания компонентов конструкции $t_{пр}$ при отсутствии отказов и при наличии отказов между профилактическими работами?
40. При помощи какого условия определяется номенклатура элементов, подлежащих планово-профилактическому обслуживанию в установленные периоды?
41. Какие основные параметры определяются при расчете параметров МТО?
42. Что означает понятие «Уровень риска»?

43. Какие основные параметры необходимо определить при расчете оптимального количества запасных частей для устранения случайно возникающих отказов? Какие данные используются в качестве исходных при расчете?
44. Как определить количество запасных частей, необходимых для выполнения планово-профилактических работ на протяжении периода начального МТО и в процессе текущего МТО на протяжении горизонта планирования заказов?
45. Как определить полное количество запчастей для выполнения плановых и внеплановых работ? От каких факторов зависит принятие окончательного решения о количестве запчастей, которое должно храниться на складе?
46. Что представляет собой задача обслуживания?
47. На основании каких данных, полученных в результате АЛП, формируется перечень плановых задач обслуживания?
48. Исходя из каких принципов формируется перечень задач внепланового обслуживания?
49. Что представляет собой процедура обслуживания? По каким правилам формируются процедуры обслуживания?
50. Можно ли при описании технологии выполнения задачи обслуживания ссылаться на другие задачи обслуживания?
51. Какие данные вводят в БД АЛП при описании технологии выполнения задачи обслуживания?
52. Какие данные, полученные в результате АЛП, используются в качестве исходных при разработке эксплуатационной документации на изделие?
53. Что означает понятие «Стоимость жизненного цикла»? Какие затраты включаются в СЖЦ?
54. По каким статьям расхода выполняется расчет затрат на техническую эксплуатацию? Какие показатели вычисляются при расчете?
55. Как определить затраты на персонал, необходимый для технической эксплуатации?
56. Как определить затраты на расходные материалы при технической эксплуатации?
57. Как определить затраты на наземное оборудование и инструмент, используемые при технической эксплуатации?
58. Как определить затраты на запасные части, требуемые при технической эксплуатации?
59. Что включают в себя затраты на инфраструктуру при технической эксплуатации?
60. Как определить коэффициент готовности конечного изделия?
61. Что означает понятие «Анализ уровней ремонта»?
62. Что означает понятие «Уровень ТОиР»?
63. Из каких уровней состоит наиболее распространенная в настоящее время система ТОиР?
64. Опишите этапы АУР.
65. Для каких целей используются отчеты, которые могут быть сформированы из БД АЛП?
66. В каком нормативном документе приведен перечень стандартных отчетов АЛП и их типовые формы? Является ли обязательным приведенный перечень отчетов?

5. Последовательность действий при выполнении АЛП

АЛП может выполняться как для новых изделий, находящихся в процессе разработки, так и для ранее разработанного изделия, если этого требует контракт на его поставку. Перечень и способы выполнения задач АЛП для разных типов проектов будут несколько различаться.

Задачи АЛП выполняются различными подразделениями организации в соответствии со своими рабочими обязанностями. Примерное распределение ролей по подразделениям представлено в следующей таблице.

Таблица 7. Примерное распределение задач АЛП по подразделениям организации

| Подразделение | Решаемые задачи АЛП |
|---|---|
| Конструкторские подразделения | <ul style="list-style-type: none"> • разработка логистических структур изделия (для различных анализируемых конфигураций); • выполнение функционального анализа; • ввод некоторых параметров изделия; • подготовка перечней мест доступа (люков, панелей); • и др. |
| Отдел надежности и эксплуатационной технологичности | <ul style="list-style-type: none"> • определение параметров надежности, контролепригодности и эксплуатационной технологичности изделия; • выполнение анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО); • выполнение анализа обслуживания, обеспечивающего надежность (АООН); • определение рекомендуемых периодов планово-профилактического обслуживания изделия. |
| Отдел технической эксплуатации | <ul style="list-style-type: none"> • разработка зональной структуры Изделия; • разработка процессов и процедур технического обслуживания Изделия; • разработка регламента обслуживания. |
| Отдел материально- | <ul style="list-style-type: none"> • сбор данных и подготовка документации для |

| Подразделение | Решаемые задачи АЛП |
|--------------------------------------|---|
| технического обеспечения | <p>обеспечения эксплуатанта запчастями и расходными материалами (отчетов, перечней, каталогов);</p> <ul style="list-style-type: none"> • оценка потребностей в запчастях и расходных материалах на заданный период эксплуатации. |
| Отдел средств наземного обслуживания | <ul style="list-style-type: none"> • подготовка перечней применимых средств наземного обслуживания и инструмента и оценка потребного количества. |

Для обеспечения целостности и согласованности исходных данных и получаемых результатов АЛП должен выполняться подразделениями организации-проектанта в единой интегрированной информационной среде. Частью такой интегрированной информационной среды могут являться используемые в организации системы CAD, PDM и ERP, что позволит использовать имеющиеся конструкторские и организационные данные в процессе АЛП.

Организации-соисполнители должны выполнять АЛП для своих изделий в согласованном объеме и передавать данные АЛП главному разработчику в согласованном формате для включения в единую БД АЛП. Объем, в котором организации-соисполнители должны выполнить АЛП для своих изделий, определяется перечнем выполняемых задач АЛП. Формат передачи данных должен регламентировать состав данных и форму их представления, позволяющую, по возможности, автоматически импортировать полученные от соисполнителя данные в БД АЛП.

Для поддержания процесса АЛП, а также актуальности и непротиворечивости БД АЛП в организации-проектанте должен существовать специальный отдел (далее: отдел ИЛП), отвечающий за выполнение АЛП в целом и поддержание БД АЛП. Основными функциями такого отдела являются:

- доведение до сведения подразделений методик выполнения задач АЛП и правил работы с БД АЛП;
- ввод в БД АЛП общей информации по анализируемому ФИ и распределение обязанностей по наполнению БД АЛП между подразделениями организации;
- контроль наполнения БД АЛП и данных, вводимых в БД АЛП подразделениями, решение возникающих вопросов;
- ввод в БД АЛП данных из документов или специальных форм, предоставленных подразделениями;
- запрос в определенном формате данных АЛП от соисполнителей и импорт в БД АЛП полученных данных;
- администрирование БД АЛП;

- формирование Проектов АЛП для разных Заказчиков и конфигураций изделия;
- выполнение расчетов и оценок в рамках Проекта АЛП;
- подготовка данных АЛП для экспорта в систему разработки технической документации на изделие и в систему поддержки эксплуатации и послепродажного сопровождения;
- подготовка сводных отчетов из БД АЛП.

В зависимости от степени автоматизации процесса АЛП в организации возможны следующие подходы (перечислены в порядке убывания предпочтительности):

- выполнение подразделениями своих задач АЛП с помощью специализированных программных средств, работающих непосредственно с БД АЛП;
- выполнение подразделениями своих задач АЛП с помощью внешних для БД АЛП программных средств. Организация автоматических процедур обмена данными между внешними программными средствами и БД АЛП (импорт/экспорт);
- выполнение подразделениями своих задач АЛП с помощью внешних для БД АЛП программных средств или без использования таковых. Предоставление результатов работы в отдел ИЛП в виде заполненных форм определенного формата;
- выполнение подразделениями своих задач АЛП с помощью внешних для БД АЛП программных средств или без использования таковых. Предоставление в отдел ИЛП рабочих документов, из которых специалистами отдела ИЛП могут быть извлечены необходимые данные.

Ведение БД АЛП для изделий, предназначенных для экспорта (или потенциально планируемых к экспортным поставкам), в зависимости от требований проекта может осуществляться на иностранном языке (как правило, английском). При необходимости в БД АЛП могут быть добавлены элементы данных, для которых язык оговорен особо (например, «Наименование на русском языке»).

Перечень и последовательность выполнения задач АЛП в рамках каждого проекта регламентируется документами «Стратегия АЛП» и «План АЛП». Примерный сценарий выполнения АЛП самолета представлен на рис. 5-1.

Далее рассмотрим рекомендуемую последовательность выполнения задач АЛП.

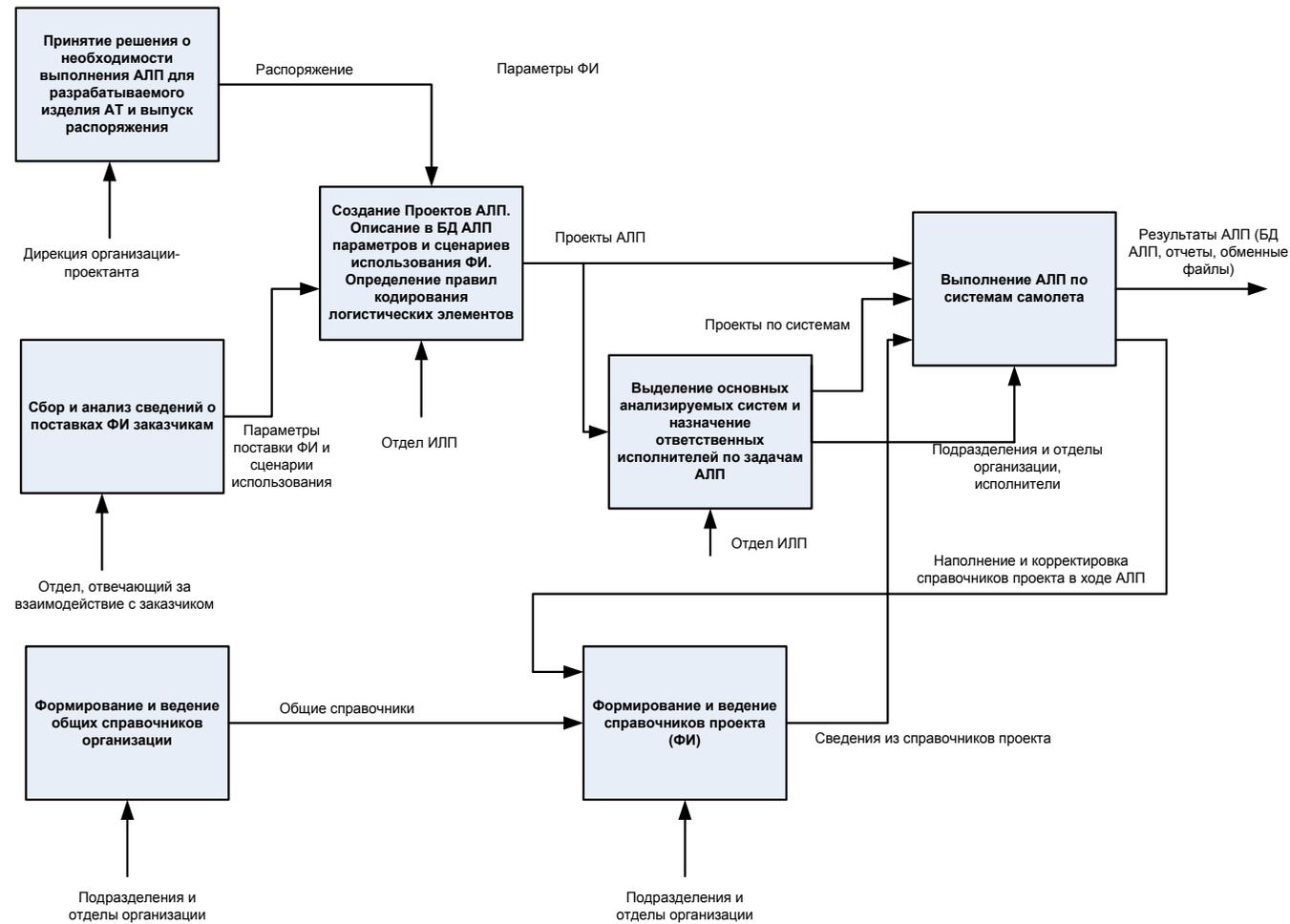


Рис. 5-1. Выполнение АЛП самолета

5.1. Последовательность выполнения задач АЛП

В этом разделе представлена рекомендуемая последовательность выполнения задач АЛП, входящих в минимальный перечень задач АЛП (см. таблицу 2 раздела 2.1). Поскольку процесс АЛП носит итеративный характер, то на каждом шаге выполнения АЛП возможен возврат к любому из предыдущих шагов и повторное выполнение всех следующих за ним шагов.

1. **Создание документа «Стратегия АЛП».** На этом этапе определяется перечень задач АЛП, выполняемых в рамках проекта АЛП, а также распределение задач АЛП между исполнителями (заказчик, подрядчик, совместная рабочая группа).
2. **Создание документа «План АЛП».** Документ «План АЛП» регламентирует последовательность и сценарий выполнения задач АЛП, выполняемых на каждой стадии ЖЦ изделия.
3. **Предварительное** заполнение классификаторов, содержащих условно постоянную информацию, и справочников организации-проектанта. Классификаторы и справочники, используемые при выполнении АЛП, подробно рассматриваются в разделе 5.2.
4. **Создание проекта АЛП. Описание сценария использования изделия по назначению.**

Специалисты отдела ИЛП по распоряжению дирекции организации-проектанта создают в БД АЛП новый проект АЛП, вводят основные параметры и описывают сценарий использования изделия.

На этом этапе выполнения АЛП специалистами отдела ИЛП вырабатываются правила идентификации элементов логистических структур. Типовые правила формирования ЛКН рассмотрены в разделе 4. Принятая структура ЛКН доводится до сведения конструкторских подразделений, участвующих в формировании логистических структур изделия, и фиксируется в соответствующем элементе данных.

Исходные данные для выполнения задачи:

- Параметры ФИ: код-акроним, наименование, анализируемые конфигурации.
- Параметры поставки ФИ.
- Сценарий использования. Выполняемая миссия.

Результат выполнения задачи:

- Новый проект АЛП.
- Правила присвоения ЛКН.

5. Выбор элементов-кандидатов на АЛП и создание логистической структуры изделия.

Методика создания ЛСИ рассмотрена в разделе 4.4.2. В программных системах, предназначенных для выполнения АЛП, рекомендуется отслеживать правильность формирования ЛКН, присваиваемого элементам ЛСИ, по уровням разукрупнения, как это регламентировано в [5].

На рис. 5-2 представлен примерный сценарий выполнения данной задачи АЛП.

Исходные данные для выполнения задачи:

- Информация о конструкции анализируемого изделия, в том числе данные из PDM-системы.
- Информация об изменении конструкции.
- Данные о зонировании изделия.

Результат выполнения задачи:

- Перечень ЭК для анализа.
- Сформированная ЛСИ.
- Справочник комплектующих для анализируемого ФИ.
- Справочник зон изделия.

Последовательность действий при выполнении АЛП

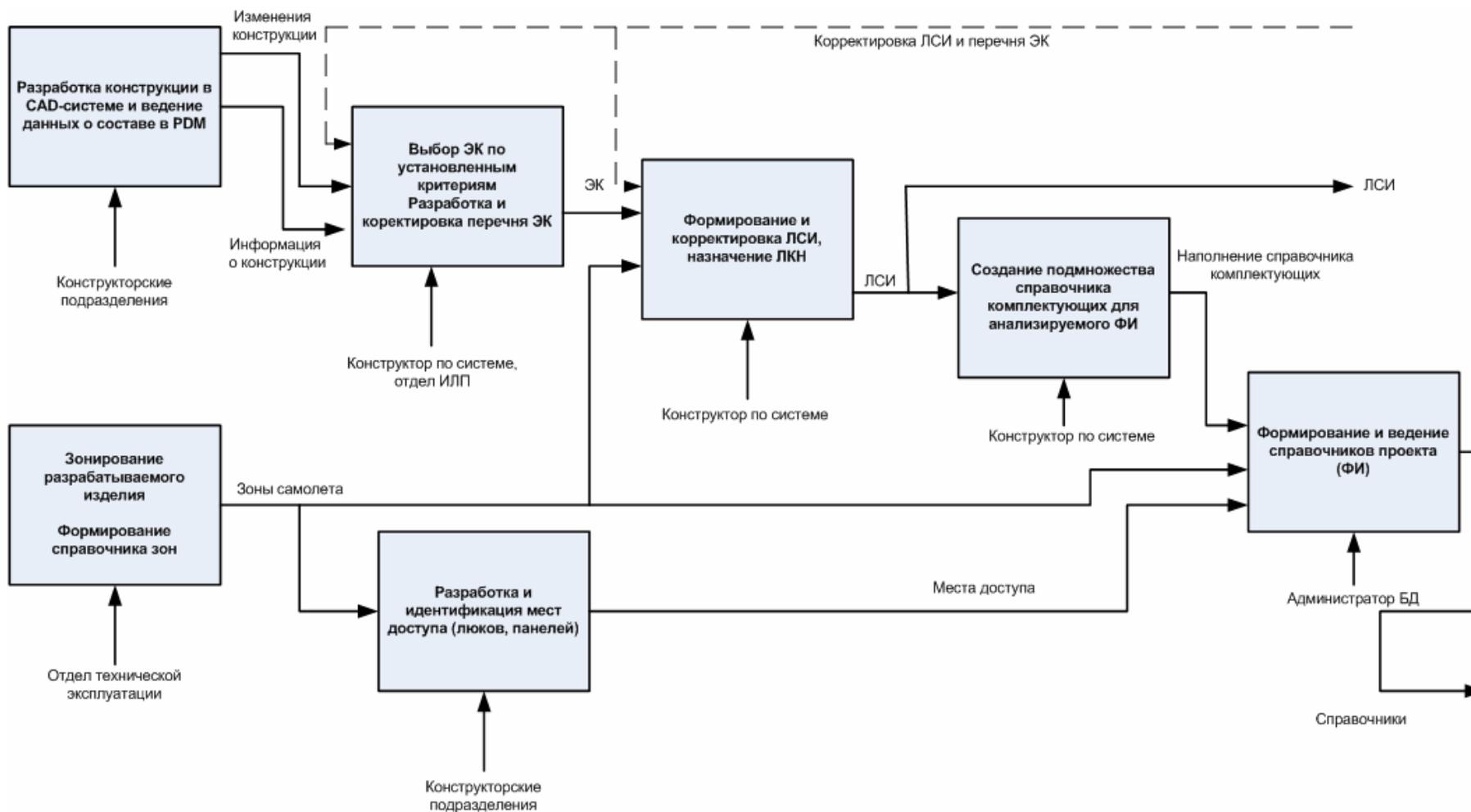


Рис. 5-2. Выбор ЭК и создание ЛСИ

6. Функциональный анализ изделия: построение ЛСФ, установление связи между элементами ЛСФ и ЛСИ.

Функциональный анализ изделия проводится в соответствии с методикой, изложенной в разделе 4.4. По результатам функционального анализа проводится корректировка ЛСФ, ЛСИ и перечня ЭК.

Примерный сценарий выполнения функционального анализа самолета представлен на рис. 5-3.

Исходные данные для выполнения задачи:

- Информация о конструкции и параметрах ФИ.
- ЛСИ (результат выполнения задачи 5).

Результат выполнения задачи:

- ЛСФ и ЛСИ, отредактированная по результатам функционального анализа.
- Доля времени работы ЭК от времени работы всего изделия в течении миссии.
- Исходные данные для формирования ЭЭД.

7. Определение и ввод в БД АЛП параметров надежности и ремонтпригодности изделия.

Анализ надежности и ремонтпригодности выполняется специализированным подразделением организации (например, отделом надежности) в соответствии с требованиями общероссийских стандартов, а также стандартов организации.

В качестве исходных данных для анализа могут использоваться результаты функционального анализа, а также свойства компонентов ФИ, хранящиеся в БД АЛП.

Исходные данные для выполнения задачи:

- Значения показателей надежности и ремонтпригодности, полученные в результате анализа надежности:
 - интенсивность отказов,
 - средняя наработка на отказ,
 - средняя наработка на внеплановый съем,
 - назначенный ресурс,
 - назначенный срок службы,
 - среднее время восстановления,
 - пригодность к ремонту.

Последовательность действий при выполнении АЛП

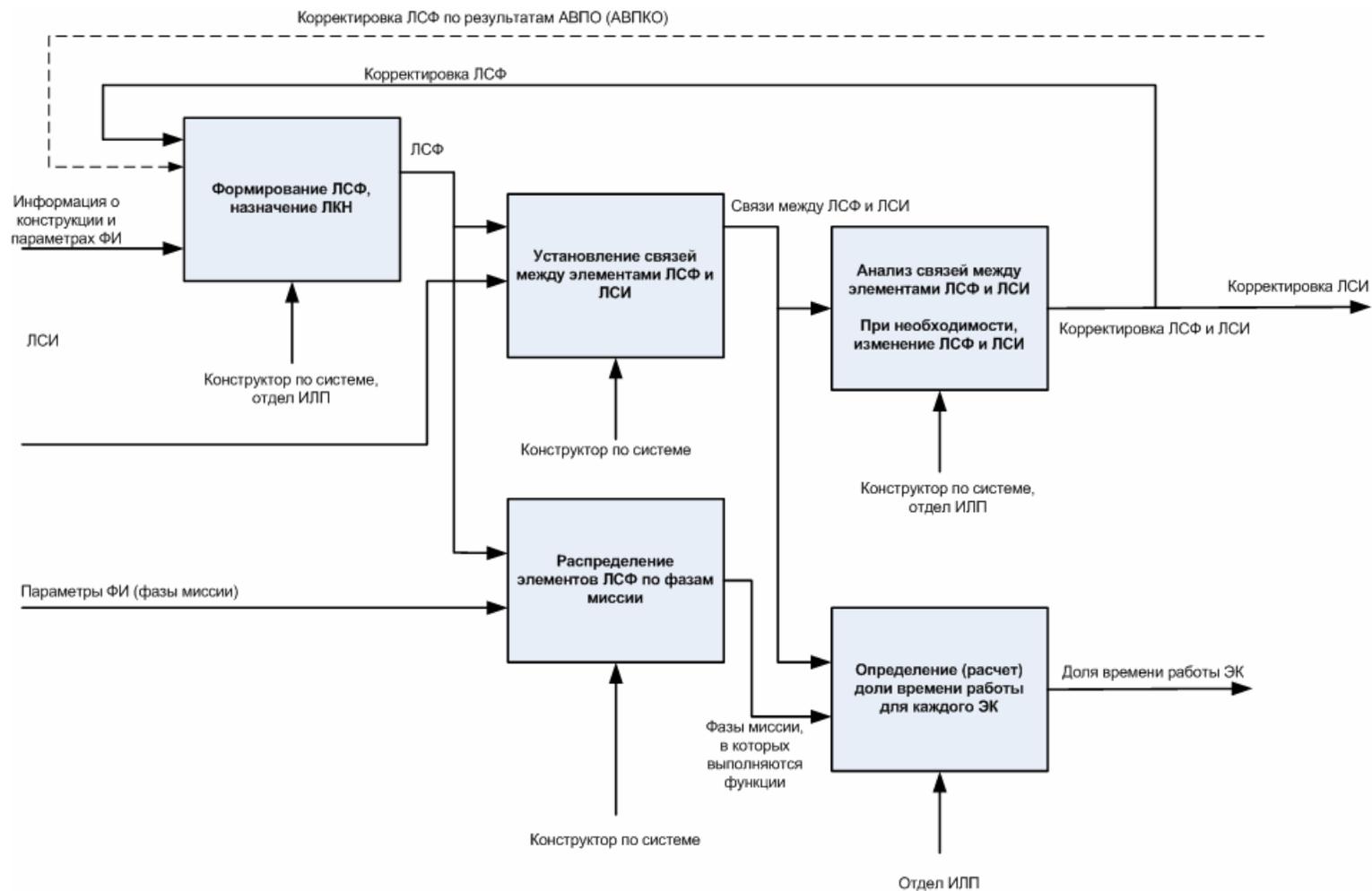


Рис. 5-3. Выполнение функционального анализа

- Результаты функционального анализа.

Результат выполнения задачи:

- Введенные в БД АЛП значения показателей надежности для элементов логистических структур.

8. **Выполнение АВПО и АВПКО.**

Анализ проводится в соответствии с методикой, изложенной в разделе 4.5. По результатам анализа выполняется корректировка ЛСИ и ЛСФ, после этого необходимо повторить выполнение задач 5-8.

Примерный сценарий выполнения АВПКО системы самолета представлен на рис. 5-4.

Исходные данные для выполнения задачи:

- Результаты функционального анализа (ЛСИ, ЛСФ).
- Параметры надежности ЭК: интенсивность отказов элемента, доля вида отказа, вероятность возникновения последствия отказа, продолжительность миссии.
- Доля времени работы ЭК.

Результат выполнения задачи:

- Функциональные отказы, их причины и последствия.
- Перечень критических ЭК, КТПО, числа критичности. Распределение ЭК по приоритетам корректирующих и компенсирующих действий.

9. **Выполнение АООН. Определение рекомендуемой периодичности планового обслуживания изделия.**

АООН выполняется в соответствии с методикой, изложенной в разделе 4.6. По результатам АООН формируется перечень необходимых плановых задач обслуживания. При расчете рекомендуемой периодичности планового обслуживания изделия используются данные справочника стандартных периодов обслуживания.

Примерный сценарий выполнения данной задачи АЛП для самолета представлен на рис. 5-5.

Исходные данные для выполнения задачи:

- Результаты функционального анализа (ЛСИ, ЛСФ).
- Результаты АВПКО: перечень критических ЭК, функциональные отказы и их причины.

Результат выполнения задачи:

- Перечень рекомендуемых плановых работ для каждого ЭК.
- Рекомендуемая периодичность выполнения плановых работ.

Последовательность действий при выполнении АЛП

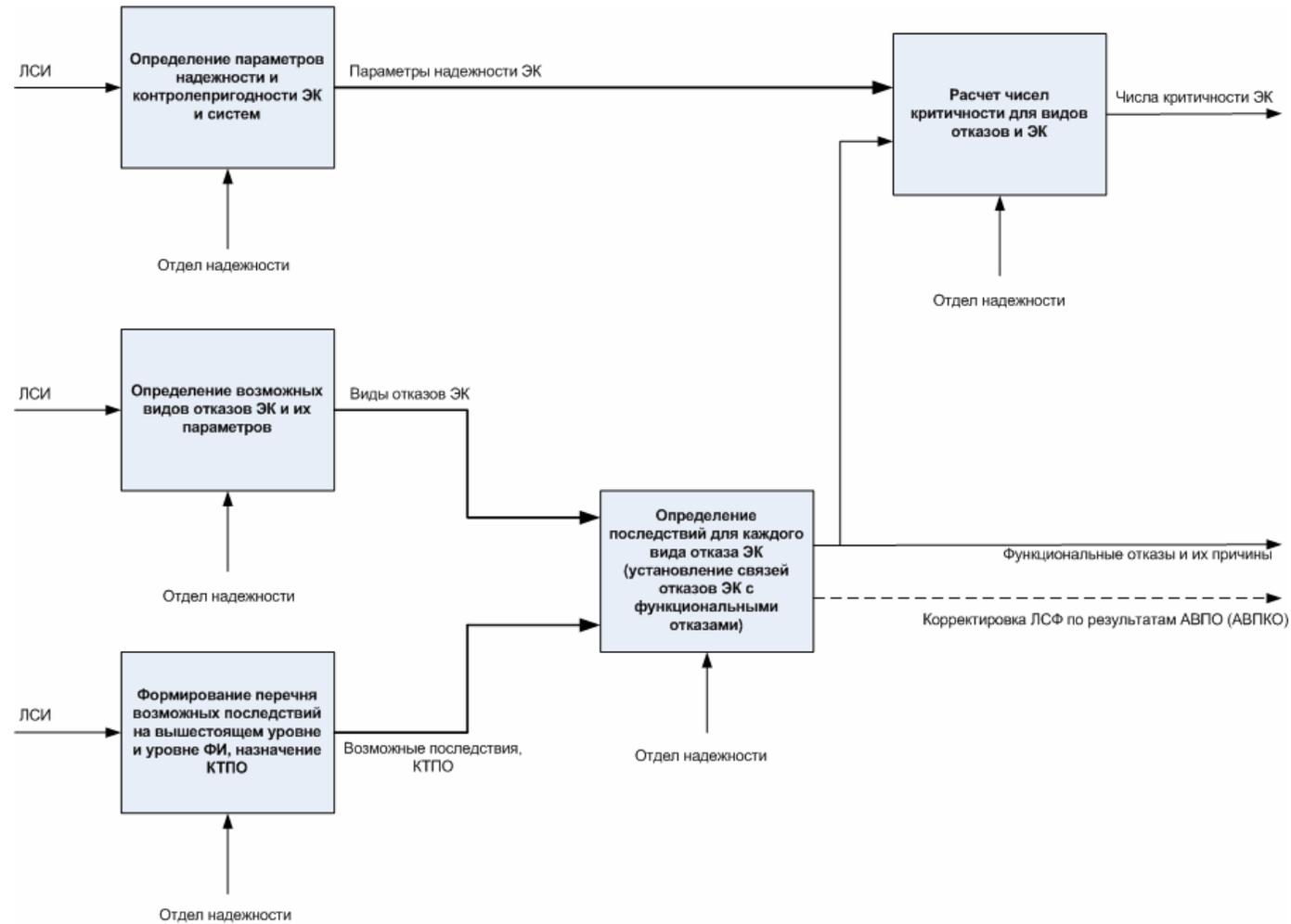


Рис. 5-4. Ввод параметров надежности и выполнение АВПКО

10. Разработка задач и процедур технического обслуживания изделия.

Требования к разработке задач и процедур обслуживания изделия изложены в разделе 4.8.

Примерный сценарий разработки задач и процедур технического обслуживания системы самолета представлен на рис. 5-6.

Исходные данные для выполнения задачи:

- ЛСИ.
- Перечень рекомендуемых плановых работ и периодичность их выполнения.
- Виды отказов ЭК.

Результат выполнения задачи:

- Перечень задач и процедур обслуживания изделия.
- Описание технологии выполнения задач обслуживания.
- Справочник ресурсов, необходимых для выполнения задач технического обслуживания анализируемого изделия.
- Исходные данные для формирования ЭЭД.

11. Оценка потребностей в запчастях и расходных материалах на заданный период эксплуатации. Подготовка перечней, каталогов запчастей и расходных материалов.

Оценка потребностей в запчастях и расходных материалах выполняется в соответствии с методикой, изложенной в разделе 4.7.

Примерный сценарий выполнения работ при выборе элементов, рекомендуемых к поставке в качестве запчастей, и оценке их необходимого количества представлен на рис. 5-7.

Исходные данные для выполнения задачи:

- ЛСИ.
- Параметры надежности ЭК.
- КТПО ЭК.
- Информация о ресурсах, необходимых для выполнения задач технического обслуживания анализируемого изделия.

Результат выполнения задачи:

- Перечень компонентов, рекомендуемых к поставке в качестве запчастей.
- Параметры текущего МТО.

- Исходные данные для формирования ЭЭД (каталогов деталей и сборочных единиц, перечней).

12. Оценка потребностей в средствах обслуживания и контроля, инструментах и принадлежностях.

Исходные данные для выполнения задачи:

- Информация о располагаемых средствах обслуживания и контроля, инструментах и принадлежностях.
- Описание технологий выполнения задач обслуживания.

Результат выполнения задачи:

Перечни средств обслуживания и контроля, инструмента и принадлежностей, необходимых для выполнения задач технического обслуживания изделия.

13. Подготовка исходных материалов для разработки эксплуатационной документации на изделие.

В качестве исходных материалов для разработки эксплуатационной документации на изделие используются результаты функционального анализа (ЛСИ, ЛСФ, описания функций, выполняемых изделием); разработанные задачи и процедуры обслуживания изделия и т.д.

14. Оценка затрат на техническое обслуживание по результатам эксплуатации.

Расчет затрат на техническое обслуживание выполняется по методике и на основе исходных данных, описанных в разделе 4.10.2.

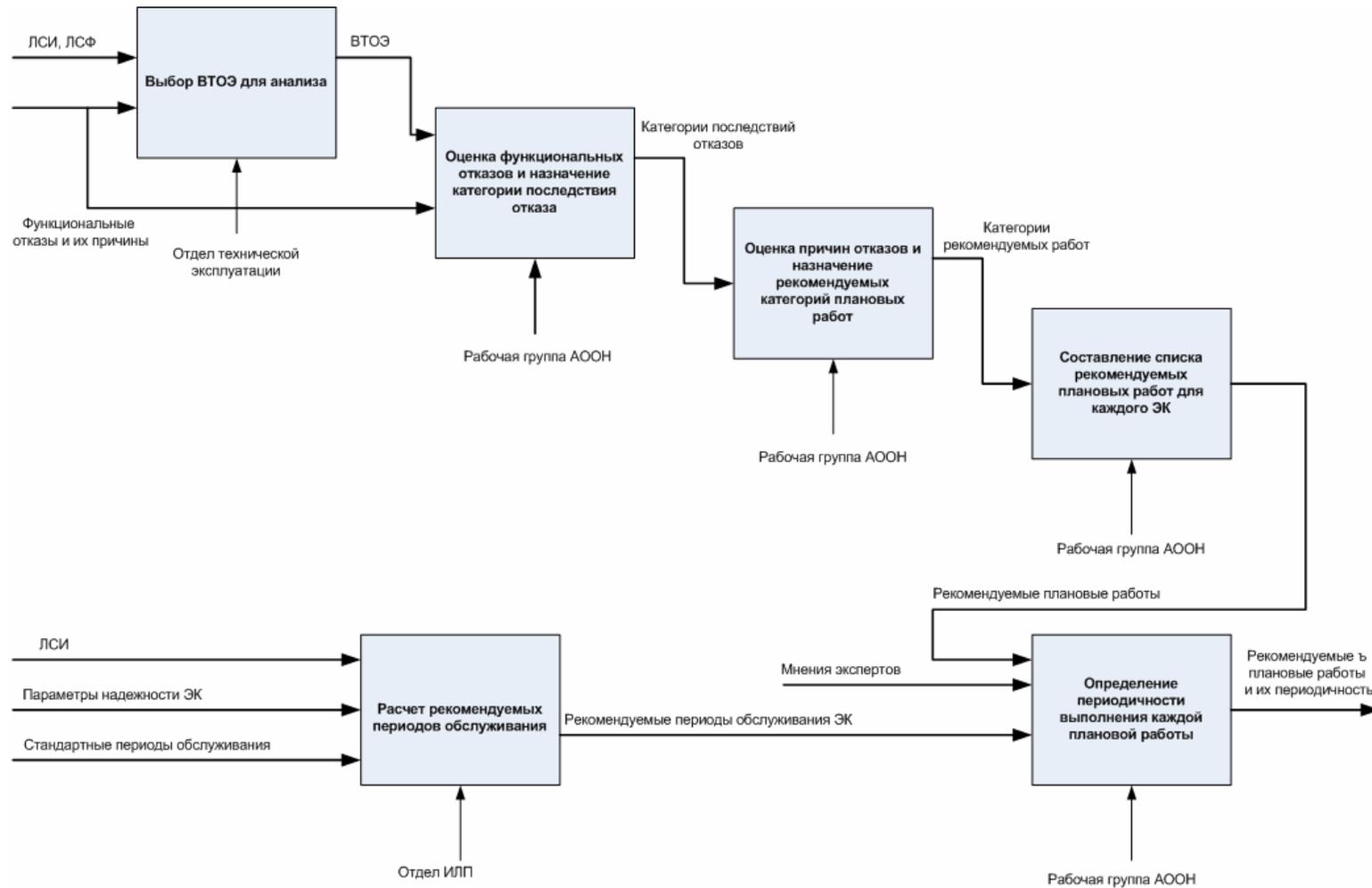


Рис. 5-5. Выполнение АООН

Последовательность действий при выполнении АЛП

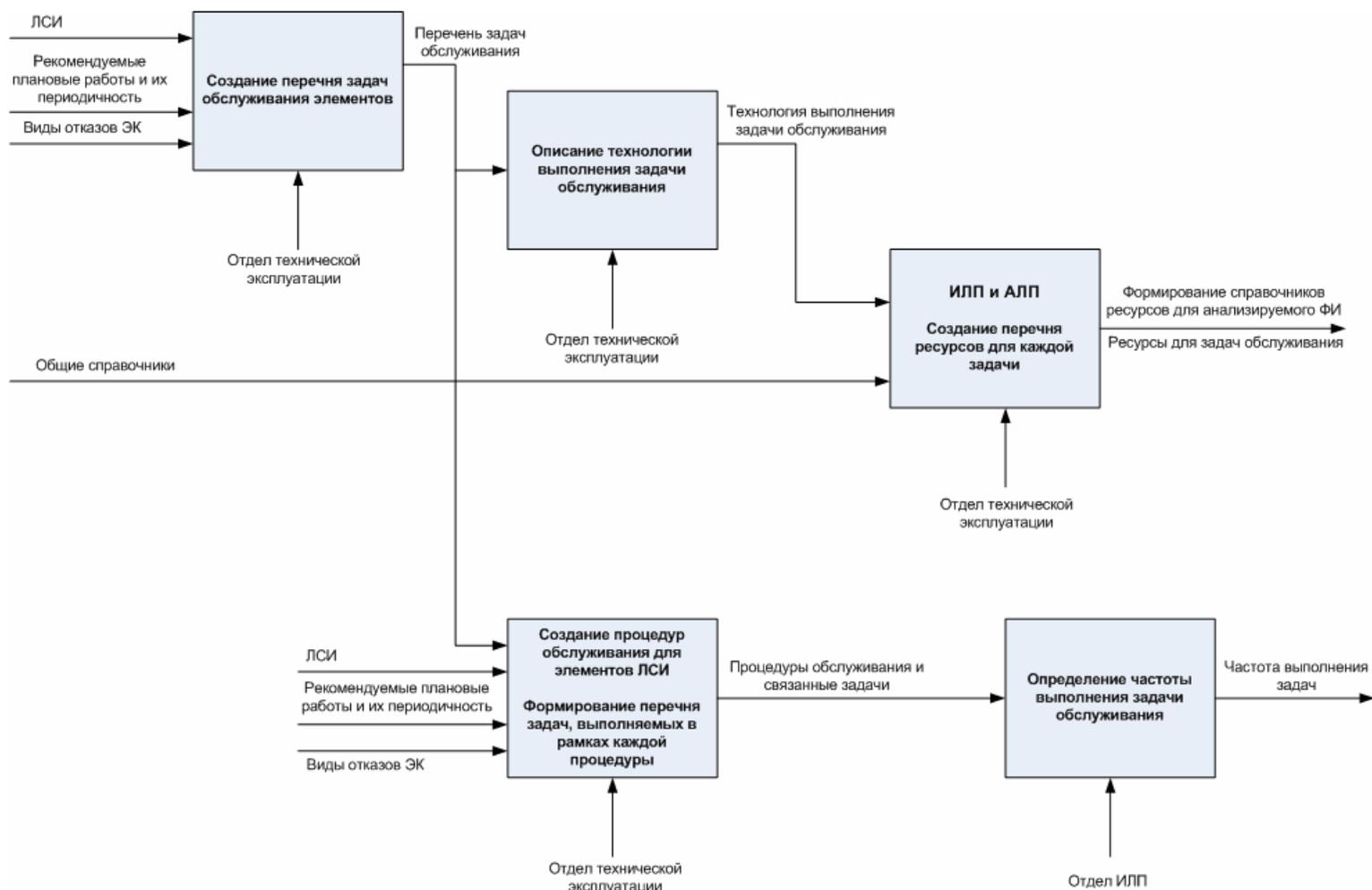


Рис. 5-6. Разработка задач и процедур обслуживания

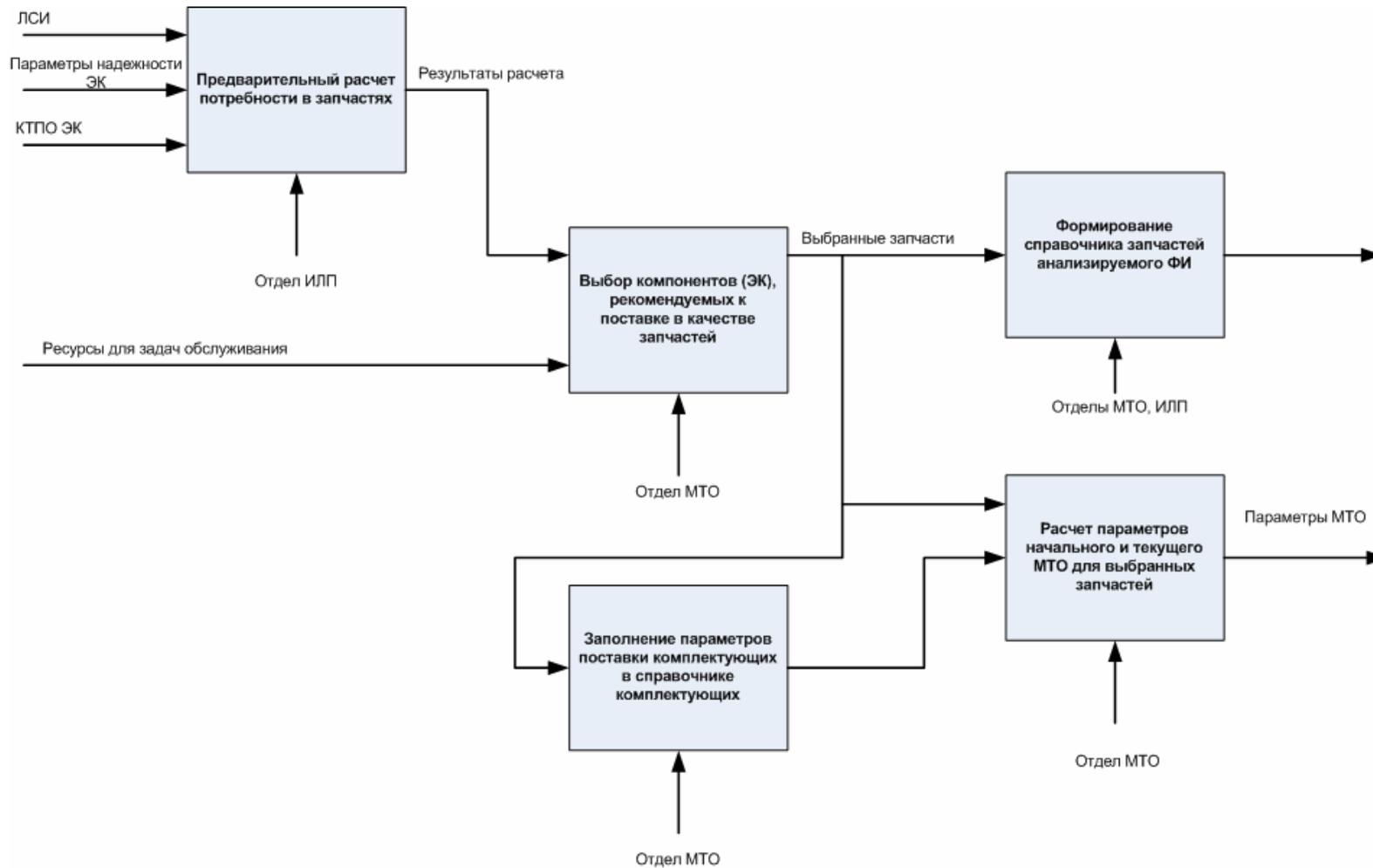


Рис. 5-7. Выбор элементов, рекомендуемых к поставке в качестве запчастей, и оценка их необходимого количества

5.2. Справочники и классификаторы

В процессе выполнения АЛП и формирования БД АЛП используются справочники и классификаторы, содержащие условно постоянную информацию. Это помогает поддерживать целостность и согласованность данных, вводимых большим количеством пользователей, а также обеспечивает многократное использование информации, введенной в БД АЛП один раз.

Все справочники можно разделить на три группы:

1 группа Классификаторы, созданные на основании требований стандартов DEF STAN 00-60, S1000D, S2000M или скорректированные для нужд конкретного проекта (заказчика).

2 группа Справочники (библиотеки) объектов, используемых для проведения АЛП (могут использоваться для разных ФИ):

- Справочник организаций (производителей, поставщиков, заказчиков и др.);
- Справочник компонентов / запчастей;
- Справочник стандартных изделий (нормалей);
- Справочник средств наземного обслуживания и инструмента;
- Справочник расходных материалов;
- Справочник специальностей и квалификаций;
- Справочник инфраструктуры.

3 группа Справочники (библиотеки), специфичные для конкретного ФИ:

- Справочник зон и мест доступа;
- Справочник стандартных периодов обслуживания;
- Справочник наименований функциональных отказов;
- Справочник наименований конструктивных отказов;
- Справочник компенсирующих конструктивных мер;
- Справочник компенсирующих действий персонала.

Классификаторы используются для заполнения полей БД АЛП, допускающих выбор из ограниченного перечня значений. Номенклатура и содержание классификаторов должны быть сформированы и согласованы один раз в рамках внедрения процесса АЛП в организации. После этого утвержденные классификаторы должны использоваться для всех проектов АЛП в организации. Перечень классификаторов включает в себя все ЭЛД со списком возможных значений. Изменение содержания утвержденных класси-

фикаторов допускается только после соответствующего распоряжения руководства отдела ИЛП.

Справочники (библиотеки) объектов организации-проектанта могут дополняться и уточняться в процессе выполнения АЛП. Ведение справочников (заполнение и корректировка атрибутов объектов) осуществляется специалистами ответственных отделов.

5.2.1. Справочник организаций

Справочник организаций представляет собой перечень всех организаций, с которыми сотрудничает проектирующая организация. При этом одна и та же организация в БД АЛП может выступать в роли Заказчика (Эксплуатанта), Поставщика, Производителя, Автора рисунка и т.д.

Для каждой организации в справочнике заполняются следующие атрибуты:

- код организации;
- наименование организации;
- адрес организации.

При заполнении кода организации должен использоваться единый международный или Российский кодификатор организаций в соответствии с требованиями конкретного Проекта АЛП. Например, международный кодификатор: NCAGE Code – NATO Commercial and Government Entity Code, который предлагает 5-тизначный код для кодирования государственных и коммерческих организация стран-членов НАТО.

5.2.2. Справочник компонентов и запчастей

Справочник компонентов включает в себя компоненты собственного изготовления и покупные (ПКИ). В этом справочнике содержатся основные атрибуты каждого компонента, не зависящие от того, в конструкции какого ФИ он используется. Справочник компонентов дополняется и ведется специалистами конструкторских подразделений в процессе формирования конструкторской структуры изделия. В процессе выполнения АЛП в БД АЛП формируется подмножество справочника компонентов, используемых в конструкции конкретного ФИ.

Основные атрибуты компонента в справочнике:

- обозначение изделия;
- производитель, присвоивший обозначение (выбор из справочника организаций);
- наименование изделия;
- описание изделия;
- единица измерения;
- масса изделия;

- габаритные размеры;
- материал;
- признак изделия, чувствительного к электромагнитному полю или радиации;
- признак опасного изделия;
- аналог.

Справочник запчастей формируется из подмножества справочника компонентов для конкретного ФИ. Этот справочник включает в себя только те компоненты ФИ, которые в процессе анализа были рекомендованы к поставке в качестве запчастей. Справочник запчастей дополняется и ведется специалистами отдела запчастей.

Основные атрибуты запчасти следующие:

- поставщик (выбор из справочника организаций);
- единица поставки;
- количество единиц измерения в единице поставки;
- цена единицы поставки;
- тип цены;
- объем партии (для которой действительна указанная цена единицы поставки);
- количество в упаковке;
- категория упаковки (контейнера);
- масса изделия в упаковке;
- размер изделия в упаковке;
- горизонт планирования заказов;
- продолжительность доставки;
- стоимость доставки;
- срок хранения;
- обслуживание по истечении срока хранения;
- специальные условия хранения и т.д.

Для удобства использования справочника компонентов/запчастей все изделия, включенные в него, должны группироваться по признакам классификации. Такими признаками могут быть:

- производители/поставщики;
- конструктивные группы (например «Датчики», «Клапаны» и т.п.);

- и др.

5.2.3. Справочник стандартных изделий и расходных материалов

Этот справочник может включать в себя крепеж, используемый для установки компонентов в конструкции ФИ, лампы, детали фильтра и другие стандартные изделия, а также расходные материалы, используемые в конструкции и необходимые для технического обслуживания ФИ. Так же, как и в справочнике компонентов, в справочнике стандартных изделий и расходных материалов в процессе АЛП выделяется подмножество объектов, используемых для анализируемого ФИ, среди которых выделяются объекты, рекомендованные к поставке в качестве запчастей. Заполнение справочника выполняется специалистами конструкторских подразделений в процессе создания логистической структуры изделия, а также специалистами, разрабатывающими технологию обслуживания. Заполнение атрибутов для стандартных изделий, рекомендуемых в качестве запчастей, выполняет отдел материально-технического обеспечения.

Для каждого изделия, включаемого в справочник стандартных изделий и расходных материалов, задаются следующие параметры:

- обозначение изделия/материала;
- производитель;
- наименование изделия/материала;
- описание изделия/материала;
- единица измерения;
- масса;
- материал.

Для стандартных изделий, рекомендуемых в качестве запчастей, заполняются следующие параметры поставки:

- поставщик;
- единица поставки;
- количество единиц измерения в единице поставки;
- цена единицы поставки;
- тип цены;
- объем партии (для которой действительна указанная цена единицы поставки);
- количество в упаковке;
- горизонт планирования заказов;

- продолжительность доставки;
- стоимость доставки;
- масса в упаковке;
- размеры изделия в упаковке;
- категория упаковки;
- срок хранения;
- специальные условия хранения.

5.2.4. Справочник средств наземного обслуживания и инструмента

Данный справочник включает в себя средства наземного обслуживания и инструмент, используемый при выполнении технического обслуживания изделий АТ, разрабатываемых в организации. В общем справочнике в процессе АЛП выделяется подмножество, включающее средства наземного обслуживания и инструмент для обслуживания анализируемого ФИ, среди которых выделяются изделия, которые могут выступать в качестве самостоятельных объектов поставки (для них задаются параметры поставки).

Параметры объектов справочника:

- обозначение (обозначение изделия, шифр или маркировка чемодана или инструментального ящика);
- производитель;
- наименование;
- описание;
- цена;
- габаритные размеры;
- и т.д.

Для удобства использования справочника рекомендуется группировать оборудование и инструмент по некоторым признакам классификации. Такими признаками могут быть, например:

- средства наземного обслуживания общего применения («Средства заправки жидкостями», «Тягачи-буксировщики» и т.п.);
- наборы инструментов для технического обслуживания самолета («Набор техника», «Набор для авиационной электрики» и т.п.).

5.2.5. Справочник специальностей и квалификаций

Справочник специальностей и квалификаций используется при описании задач технического обслуживания ФИ для указания необходимой специальности и квалификации

обслуживающего персонала. В организации-разработчике должен вестись типовой для российской авиации справочник специальностей и квалификаций. Параметры справочника должны позволять настройку типового справочника под конкретный Проект АЛП при необходимости. Например, при экспорте изделия АТ за рубеж, оценки потребностей в персонале и затрат на трудовые ресурсы.

Для каждой специальности указываются:

- код специальности;
- наименование специальности;
- перечень возможных уровней квалификации.

5.2.6. Справочник инфраструктуры, необходимой для обслуживания

Под инфраструктурой понимаются здания, сооружения, средства энергоснабжения и другие средства и объекты, необходимые для выполнения технического обслуживания изделий АТ. Справочник инфраструктуры используется при описании задач технического обслуживания ФИ. В процессе АЛП в общем справочнике инфраструктуры организации выделяется подмножество объектов, необходимое для обслуживания анализируемого ФИ. Особенно подробно должны описываться объекты инфраструктуры, которые придется создавать в эксплуатирующей организации специально для эксплуатации данного ФИ (строить, устанавливать, приобретать и т.д.).

Для каждого объекта инфраструктуры в справочнике указываются:

- обозначение инфраструктуры;
- наименование инфраструктуры;
- тип инфраструктуры;
- требования к инфраструктуре;
- занимаемое инфраструктурой пространство (для зданий и сооружений, требующих постройки).

5.2.7. Справочник зон и мест доступа

Справочник зон заполняется специалистами по технической эксплуатации на основании зональной разбивки анализируемого ФИ. Для каждой зоны указывается:

- код зоны;
- наименование зоны;
- описание зоны;
- номера шпангоутов;
- перечень мест доступа (люков, панелей), расположенных в зоне.

Перечень мест доступа в каждой зоне определяется специалистами конструкторского отдела. Место доступа описывается следующими ЭЛД:

- идентификатор места доступа;
- расположение места доступа;
- описание места доступа.

В процессе АЛП справочник используется:

- при создании ЛСИ для указания физического местоположения элемента ЛСИ в самолете;
- при описании технологии обслуживания для указания задействованных при выполнении задачи зон и мест доступа.

5.2.8. Справочник стандартных периодов обслуживания

Справочник стандартных периодов обслуживания содержит описание типовых периодов выполнения регламентных работ на ФИ. Справочник заполняется специалистами по техническому обслуживанию изделия на основании соответствующей нормативной документации организации на данный тип изделий.

Справочник стандартных периодов обслуживания используется при определении рекомендуемой периодичности планового обслуживания компонентов ФИ, а также при описании регламентных работ на изделии.

Для каждого стандартного периода задается:

- обозначение стандартного периода;
- наименование стандартного периода;
- длительность стандартного периода;
- допустимое отклонение в "+";
- допустимое отклонение в "-".

Вопросы для самопроверки:

1. Как примерно можно распределить задачи АЛП между подразделениями организации?
2. В чем состоят функции отдела, отвечающего за выполнение АЛП на предприятии?
3. Какие подходы к выполнению АЛП возможны в организации?
4. Опишите примерную последовательность выполнения задач АЛП.
5. Какие справочники и классификаторы рекомендуется использовать при выполнении АЛП?

6. Пример выполнения АЛП с использованием программного продукта LSA Suite

Этот раздел носит справочный характер. Подробное ознакомление с программным продуктом LSA Suite (LSS), разработанным НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», должно быть организовано в виде практических занятий.

Рассмотрим пример выполнения АЛП с использованием программного продукта LSS. В качестве объекта анализа выбрана система «28::Топливная система».

В рассматриваемом примере технология выполнения АЛП включает:

1. Создание нового проекта АЛП. Описание сценария использования.
2. Построение логистических структур. Проведение функционального анализа.
3. Ввод параметров надежности логистических элементов.
4. Выполнение АВПКО.
5. Формирование перечня плановых работ по алгоритму MSG-3.
6. Расчет рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ.
7. Разработку структуры работ по ТОиР.
8. Формирование перечня поставляемых запчастей и расчет параметров МТО.
9. Расчет затрат на техническую эксплуатацию.

Для выполнения АЛП системы «28::Топливная система» в базе данных АЛП создан новый проект по системе. В начале работы в проект по системе загружены классификаторы, поставляемые с программой LSS, и заполнены справочники. Сделаем небольшое отступление и рассмотрим справочники и классификаторы, используемые в программе LSS.

Для ввода повторяющейся условно постоянной информации в программе LSS предусмотрены классификаторы и справочники, содержащие специфическую для организации-проектанта и анализируемого проекта информацию.

С программой LSS поставляются такие классификаторы, как:

- «SNS-коды систем согласно АЕСМА 1000D», используемый при формировании структуры стандартной нумерации объектов проекта по системе;
- «Валюты», используемый при выборе валюты проекта;
- «Виды задач», используемый при создании задач обслуживания;
- и т.д.

Все классификаторы должны быть загружены в проект по системе в начале работы над проектом.

Кроме классификаторов, при выполнении АЛП используются справочники, содержащие специфические для организации и анализируемого проекта данные:

- «Справочник организаций»,
- «Справочник изделий»,
- «Зоны и места доступа»,
- «Уровни ТООР»,
- и т.д.

Эти справочники рекомендуется заполнять на самом раннем этапе работы над проектом. При необходимости их можно будет отредактировать и дополнить в процессе выполнения АЛП.

Вернемся к процессу выполнения АЛП системы 28. После создания нового проекта по системе открывается главное окно программы LSS, представленное на рис. 6-1. В левой части главного окна представлены разделы, содержащие набор вкладок. При выборе одной из вкладок ее содержимое отображается в правой части окна.

6.1. Создание проекта АЛП. Описание сценария использования

Ввод основных параметров проекта

Для ввода основных параметров проекта перейдем на вкладку «**Данные о проекте**». На рис. 6-1 представлена экранная форма с заданными основными параметрами проекта по системе 28:

- Группа полей «**Конечное изделие**» предназначена для ввода параметров конечного изделия. В рассматриваемом примере конечным изделием является «Самолет».
- Группа полей «**Параметры проекта**» предназначена для ввода параметров создаваемого проекта.
- Группа полей «**Кодирование элементов**» предназначена для описания системы кодирования логистической структуры функций и логистической структуры изделия и задания ЛКН корневых элементов ЛСФ и ЛСИ. Числовые значения в полях «**Структура ЛКН**» показывают количество знаков для обозначения элементов на каждом уровне структуры.

Описание сценария использования

Для ввода параметров сценария использования изделия и перечня фаз миссии, содержащего все значимые для анализа систем фазы миссии, перейдем на вкладку «**Сценарий использования**».

В рассматриваемом примере заданы следующие основные параметры сценария использования (рис. 6-3):

- Наименование – «Основной сценарий».
- Количество КИ, используемых по сценарию – «10».
- Географический район эксплуатации – «Е::Европа».
- Коэффициент условий эксплуатации – «1».
- Средняя наработка в год – «4400».
- и т.д.

Параметры миссии, выполняемой изделием (рис. 6-3):

- наименование – «Полет по маршруту»;
- количество в год – «2200»;
- значение параметра «средняя продолжительность» определяется автоматически по значениям параметров «средняя наработка в год» и «количество в год»;
- перечень фаз миссии. Для каждой фазы миссии задается доля (в %) в пределах миссии.

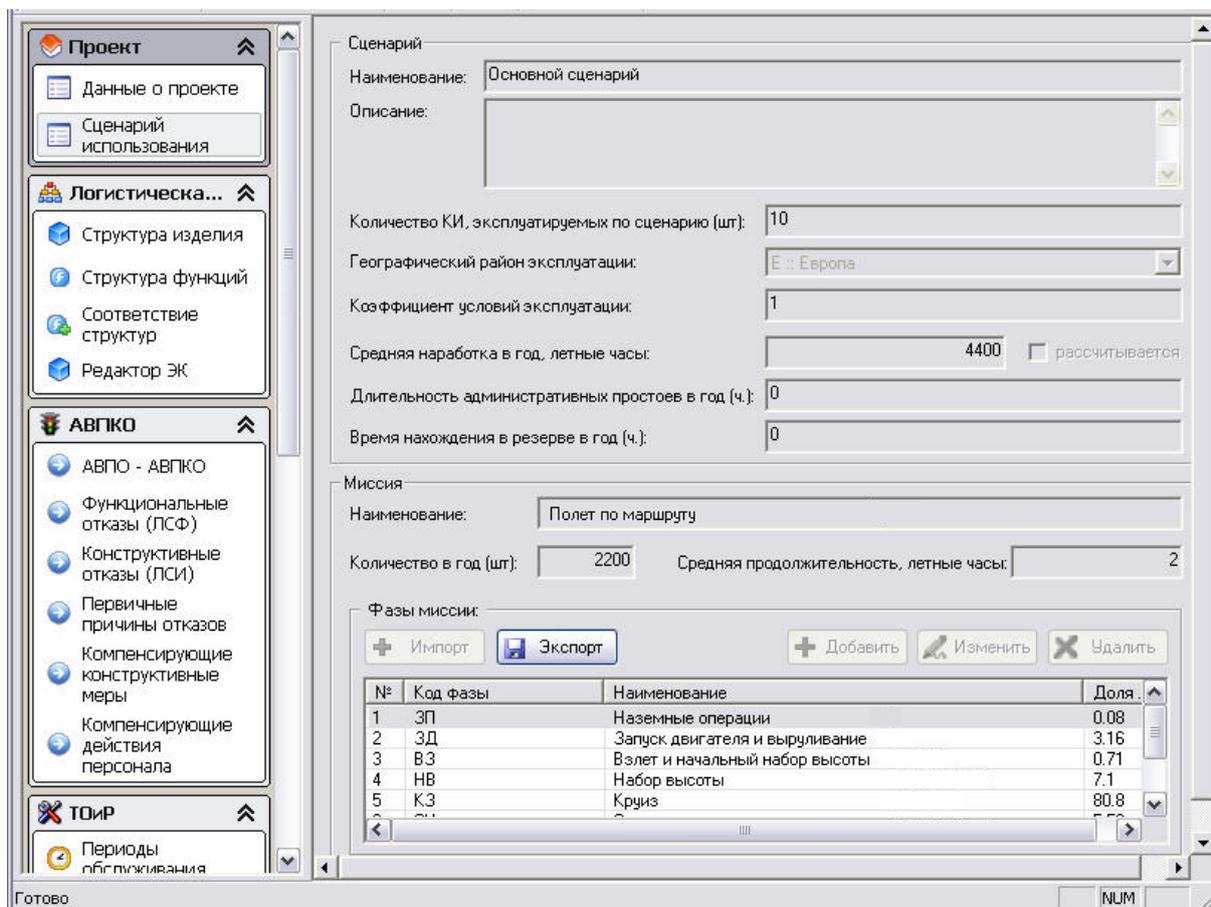


Рис. 6-3. Описание сценария использования и фаз миссии, выполняемой изделием в рамках сценария использования

6.2. Построение логистических структур. Функциональный анализ

Перейдем к следующему этапу выполнения АЛП, заключающемуся в построении логистических структур и проведении функционального анализа. Этот этап состоит из следующих шагов:

- Ввод сведений об элементах-кандидатах в БД АЛП.
- Построение ЛСИ.
- Построение ЛСФ.
- Установление связей между элементами ЛСИ и ЛСФ. При необходимости выполняется корректировка логистических структур.
- Присвоение SNS элементам ЛСИ.

6.2.1. Ввод сведений об элементах-кандидатах в БД АЛП

Все сведения об элементах-кандидатах для анализа рассматриваемой системы вносятся в справочник изделий в начале работы над проектом. При необходимости справочник изделий может быть дополнен или изменен в процессе выполнения АЛП.

Справочник изделий включает в себя запасные части, стандартные изделия и расходные материалы, используемые в конструкции и при техническом обслуживании самолета, а также средства наземного обслуживания и инструмент, необходимые при выполнении технического обслуживания.

Для удобства использования все изделия, включенные в него группируются по категориям. Изделиям, включенным в перечень элементов-кандидатов для анализа, присваивается категория «LR::Компонент, заменяемый на КИ» или «BD::Компонент структуры». На рис. 6-4 представлена выборка элементов-кандидатов в справочнике изделий.

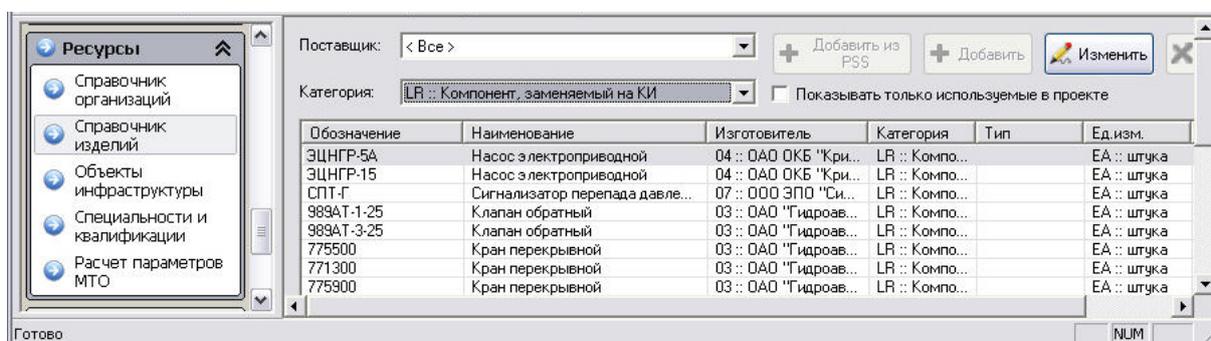


Рис. 6-4. Справочник изделий

6.2.2. Построение ЛСИ

ЛСИ в программе LSS строится в виде иерархического графа в соответствии со стандартной системой нумерации объектов самолета по ASD S1000D. ЛКН элементам ЛСИ присваивается автоматически в соответствии с правилами кодирования, заданными на вкладке «Данные о проекте».

Для построения ЛСИ перейдем на вкладку «Структура изделия» в главном окне программы LSS (рис. 6-5).

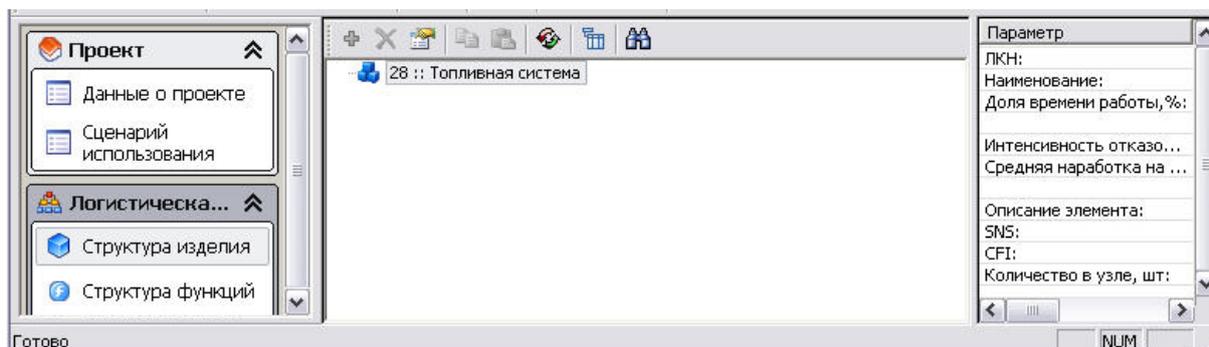


Рис. 6-5. Вкладка «Структура изделия»

При построении ЛСИ выполняются следующие операции:

1. Вводятся данные корневого элемента ЛСИ, созданного автоматически. На рис. 6-6 представлена экранная форма ввода данных корневого элемента ЛСИ рассматриваемой системы 28. ЛКН элементу ЛСИ присваивается автоматически в соответствии с правилами, заданными при создании проекта по системе.

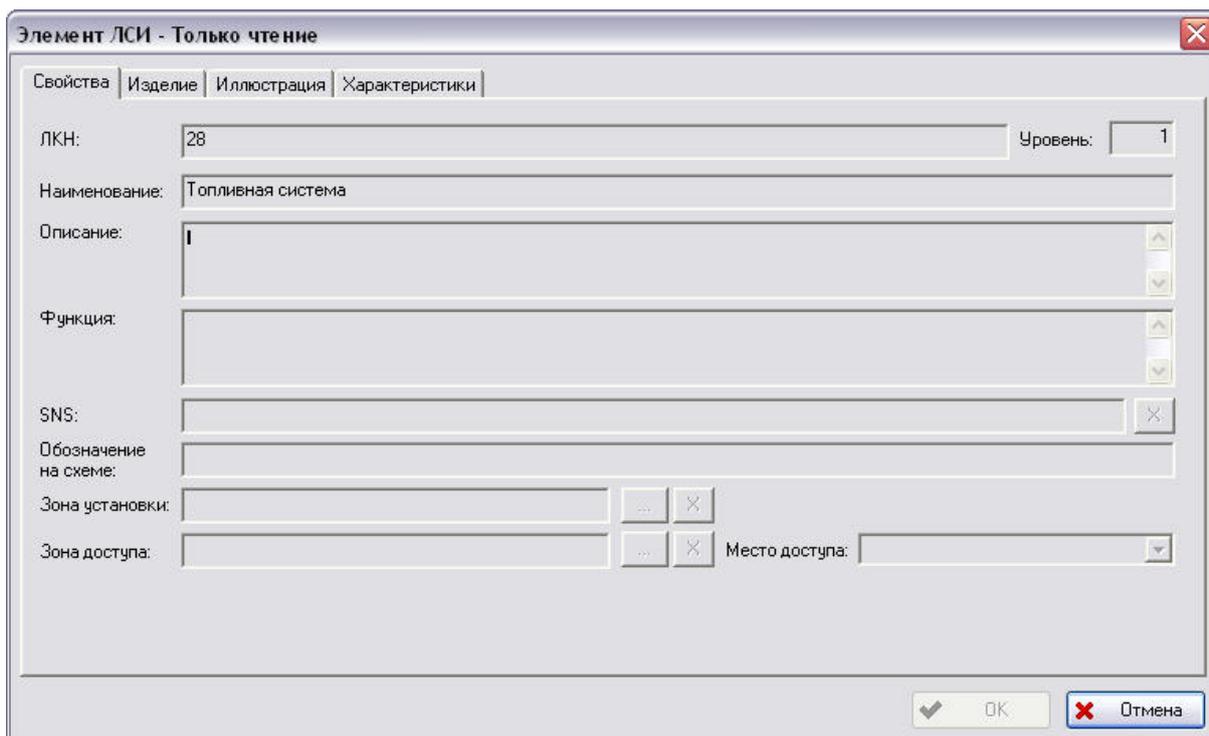


Рис. 6-6. Окно свойств корневого элемента ЛСИ

2. Создаются дочерние элементы ЛСИ уровней «подсистема», «под-подсистема», «агрегат/изделие». На рис. 6-7 представлена созданная ЛСИ анализируемой системы «28::Топливная система». Для корневого элемента ЛСИ созданы дочерние элементы (подсистемы), которым присвоен ЛКН 28-1, 28-2, 28-3, 28-4 и т.д. Для каждой подсистемы созданы входящие в нее

под-подсистемы, например, для подсистемы 28-2 созданы под-подсистемы 28-2-1, 28-2-2, 28-2-3 и 28-2-4.

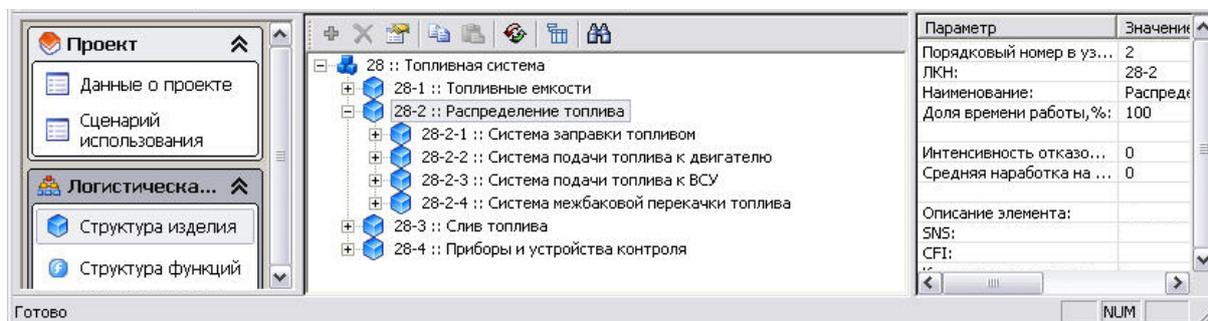


Рис. 6-7. ЛСИ

3. Элементы ЛСИ нижнего уровня разукрупнения сопоставляются с изделиями, которыми они реализуются. При этом для каждого элемента ЛСИ указывается количество соответствующих изделий. В примере, представленном на рис. 6-8, элемент ЛСИ реализуется одним изделием «ЭЦНГР-15::Насос электроприводной».

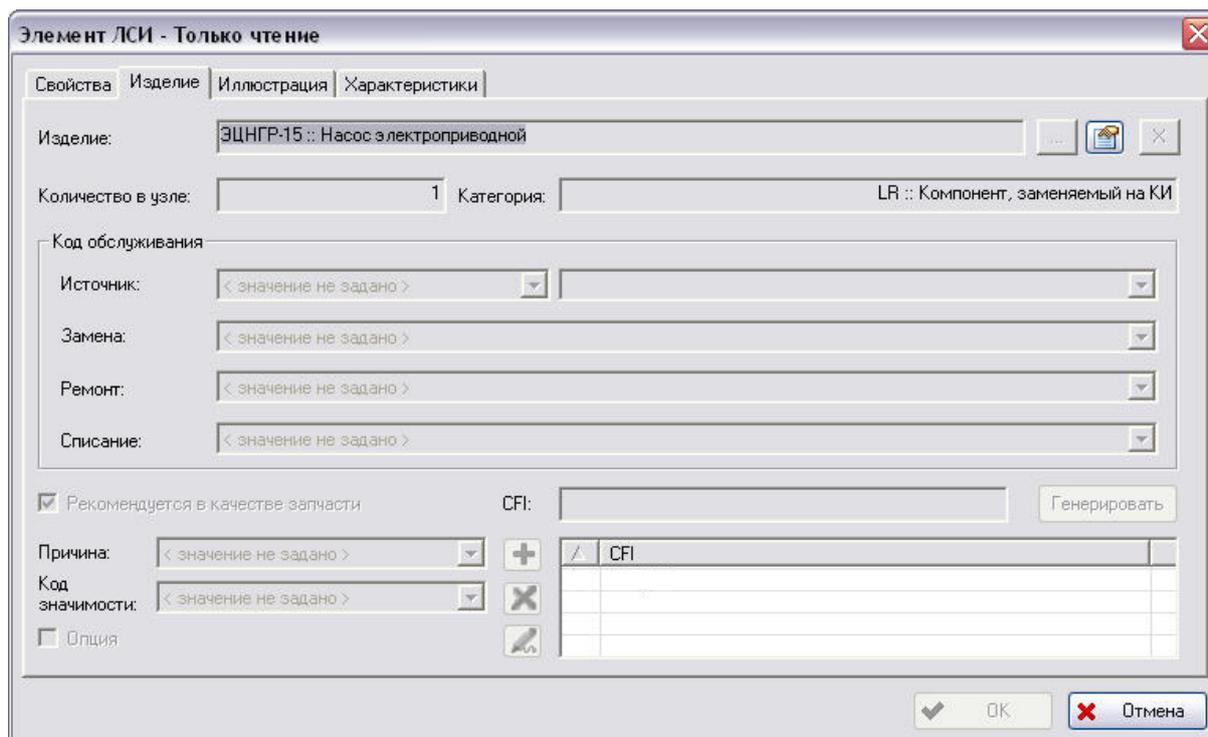


Рис. 6-8. Определение количества изделий в узле

4. ЛСИ уточняется с учетом зон расположения элементов в конструкции. Для элементов ЛСИ указывается зона и место доступа, выбираемые из справочника «Зоны и места доступа». В примере, представленном на рис. 6-9, для элемента ЛСИ 28-2-2-03 заданы зона установки и зона доступа «155::Центроплан (справа от ПСС)».

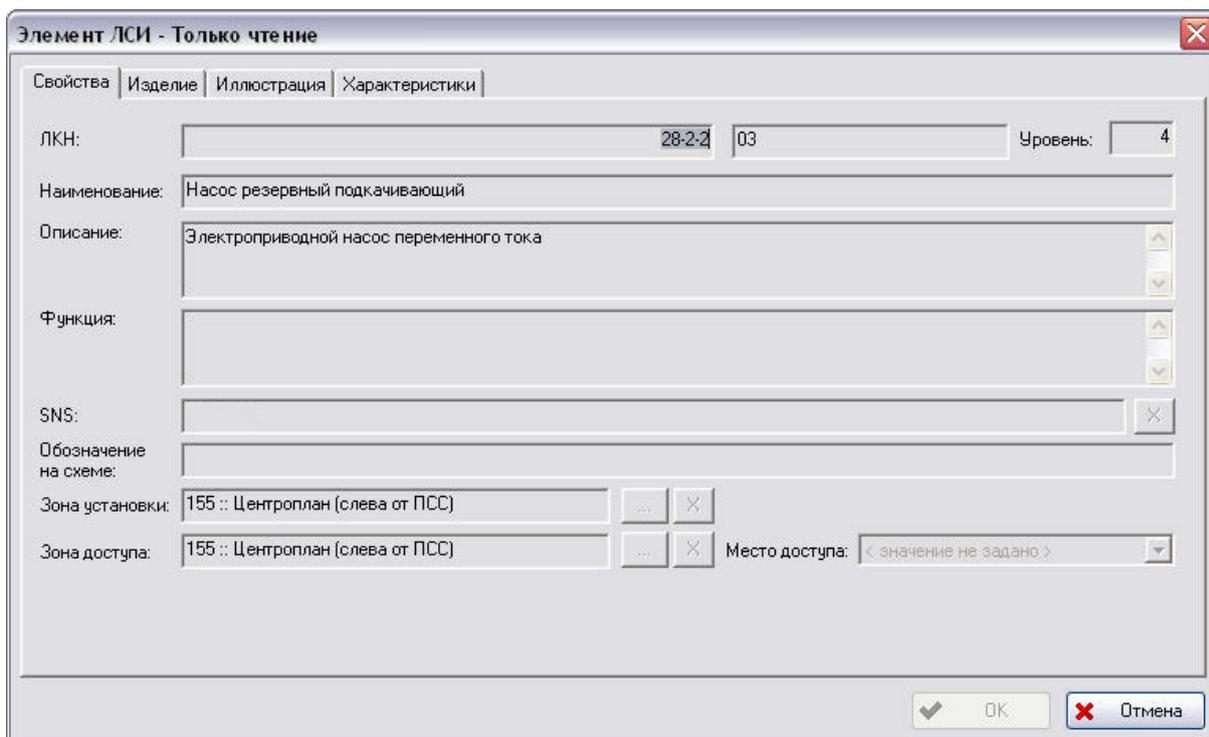


Рис. 6-9. Задание зоны и места доступа для элемента ЛСИ

На рис. 6-10 представлена часть ЛСИ системы 28, сформированная в программе LSS. Созданная ЛСИ имеет четырехуровневую структуру вида «система – подсистема – под-подсистема – изделие/агрегат».

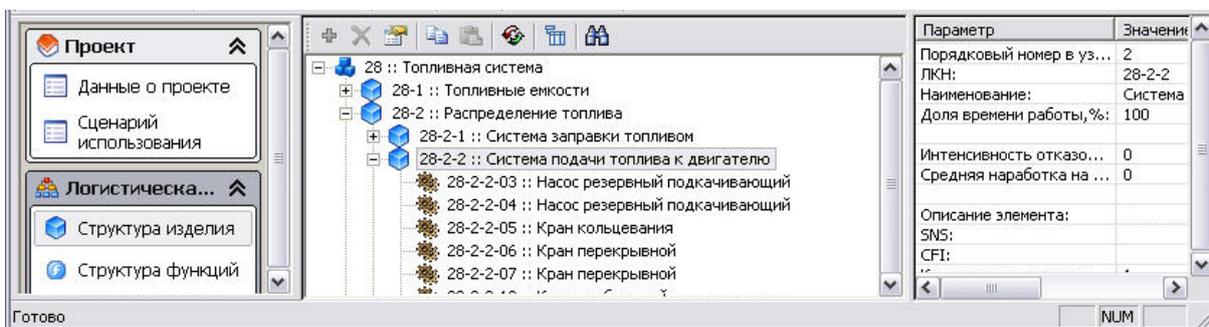


Рис. 6-10. ЛСИ

На рис. 6-11 представлен фрагмент отчета «Логистическая структура изделия», содержащего результаты построения ЛСИ.

БД АЛП Время: 14:19 Дата: 02/09/2008

Логистическая структура изделия

| КАФИ | Наименование элемента | Начальный ЛКН | АЛКН | Тип структуры | Конечный ЛКН | Код конфигурации | Вид ВС | ЕИ наработки |
|------|-----------------------|---------------|------|---------------|--------------|------------------|--------|-----------------|
| *** | Топливная система | 28 | 00 | P | | AAA | | Н.: летные часы |

| ЛКН | Наименование элемента | Описание элемента | Наименование изделия | Изготовитель (поставщик) | Количество в узле (шт) | Зона | Место доступа | Рекомендуется в качестве запчасти |
|-----------|---------------------------------------|-------------------|--|--------------------------|------------------------|------|---------------|-----------------------------------|
| 28 | Топливная система | | | | 1 | | | 0 |
| 28-1 | Топливные емкости | | | | 1 | | | 0 |
| 28-1-1 | Топливные баки - | | | | 1 | | | 0 |
| 28-1-1-01 | Люки доступа к топливным бакам | | | | 1 | | | 0 |
| 28-1-2 | Дренаж топливных баков | | | | 1 | | | 0 |
| 28-1-2-01 | Вакуумно-предохранительное устройство | | NA-50 : Вакум-предохранительное устройство | | 1 | 560 | 560 | 1 |
| 28-1-2-02 | Вакуумно-предохранительное устройство | | NA-50 : Вакум-предохранительное устройство | | 1 | 660 | 660 | 1 |

Рис. 6-11. Фрагмент отчета «Логистическая структура изделия»

6.2.3. Построение ЛСФ

Для построения ЛСФ перейдем на вкладку «Структура функций» (рис. 6-12).

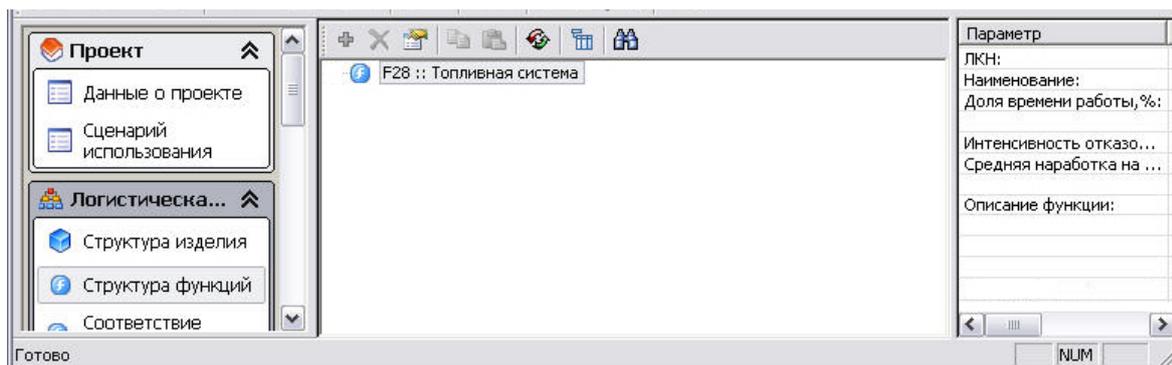


Рис. 6-12. Вкладка «Структура функций»

ЛСФ строится в виде иерархического графа. При построении ЛСФ:

1. Вводятся параметры корневого элемента ЛСФ и определяется перечень фаз миссии, в которых выполняется функция (рис. 6-13).

Элемент ЛСФ - Только чтение

ЛКН: F28 Уровень: 1

Наименование: Топливная система

Описание функции:

Доля времени работы элемента (%): 100

Фазы миссии:

| | Код фазы | Наименование | Доля (%) |
|-------------------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | ЗП | Наземные операции | 0.0 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | ЗД | Запуск двигателя и выруливание | 3.0 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | ВЗ | Взлет и начальный набор высоты | 0.0 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | НВ | Набор высоты | 7.0 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | КЗ | Крейз | 80.0 |

Безотказность

Интенсивность отказов, 1/летные часы: 0 Средняя наработка на отказ, летные часы: 0

Значение:

Тип значения:

Источник данных:

Функция подлежит анализу MSG-3

OK Отмена

Рис. 6-13. Ввод параметров корневого элемента ЛСФ и выбор фаз миссии, в которых выполняется функция

2. Создаются дочерние элементы ЛСФ и определяется перечень фаз миссии, в которых они выполняются.

На рис. 6-14 представлена созданная ЛСФ анализируемой системы 28.

Пример выполнения АЛП с использованием программного продукта LSA Suite

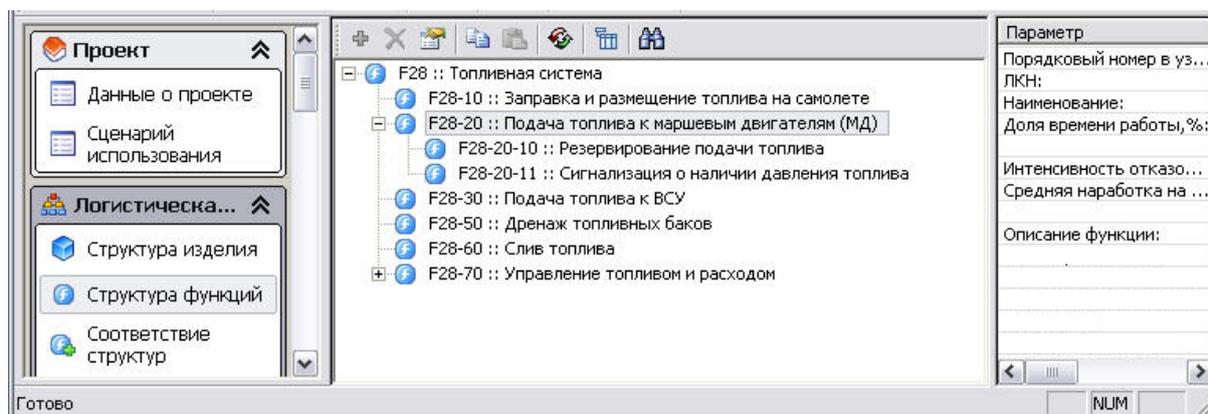


Рис. 6-14. ЛСФ

На следующем рисунке представлен фрагмент отчета «Логистическая структура функций».

| КАФИ | Наименование элемента | Начальный ЛКН | АЛКН | Тип структуры | Конечный ЛКН | Код конфигурации | Вид ВС | ЕИ наработки |
|------|-----------------------|---------------|------|---------------|--------------|------------------|--------|------------------|
| XXX | Топливная система | F28 | 00 | F | | AAA | | Н :: летные часы |

| ЛКН | Наименование элемента | Описание функции | Доля времени работы (%) | Фазы миссии |
|-----------|---|---|-------------------------|----------------------|
| F28 | Топливная система | | 100 | Все фазы |
| F28-20 | Подача топлива к маршевым двигателям (МД) | | 99.92 | ЗД,ВЗ,НВ,КЗ,СН,ПТ,ЗР |
| F28-20-10 | Резервирование подачи топлива | | 15.74 | ВЗ,НВ,СН,ПТ |
| F28-20-11 | Сигнализация о наличии давления топлива | | 89.57 | ЗД,ВЗ,НВ,КЗ,СН,ПТ,ЗР |
| F28-30 | Подача топлива к ВСУ | | 5.39 | ЗП,ЗД,ВЗ,ПТ,ЗР |
| F28-50 | Дренаж топливных баков | | 94.85 | Все фазы |
| F28-60 | Слив топлива | | 0.08 | ЗП |
| F28-70 | Управление топливом и расходом | | 99.92 | ЗД,ВЗ,НВ,КЗ,СН,ПТ,ЗР |
| F28-70-30 | Измерение массы топлива в баке и вычисление суммарной массы | - измерение массы топлива в каждом баке, - вычисление суммарной массы топлива в баках самолета, | 94.77 | ЗД,ВЗ,НВ,КЗ,СН,ПТ,ЗР |

Рис. 6-15. Фрагмент отчета «Логистическая структура функций»

6.2.4. Установление связей между элементами ЛСФ и ЛСИ

Для установления связей между элементами ЛСФ и ЛСИ предназначена вкладка «Соответствие структур». Внешний вид вкладки представлен на рис. 6-16. В левой части окна представлена ЛСФ, в правой части – ЛСИ.

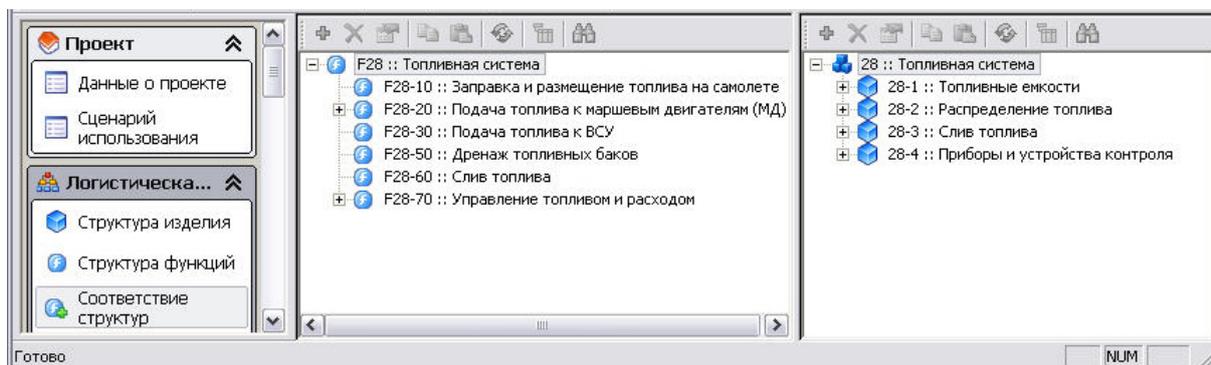


Рис. 6-16. Вкладка «Соответствие структур»

При установлении связей в системе LSS формируется «смешанное» дерево логистических элементов конечного изделия. На верхних уровнях такого смешанного дерева обычно находятся иерархически структурированные функции, а на нижних уровнях физические элементы ЛСИ, выполняющие эти функции.

В программе LSS связь между элементами устанавливается при помощи функции «drag&drop», т.е. простым «перетаскиванием» элемента ЛСФ или ЛСИ из одной половины окна в другую и «отпусканием» на нужном элементе.

Пример:

Рассмотрим установление связи между элементом ЛСФ «28-20:: Подача топлива к маршевым двигателям (МД)» и элементами ЛСИ, которыми реализуется этот элемент ЛСФ.

Для установления связи между этими элементами нужно перетащить из правого окна элементы ЛСИ, которыми реализуется элемент ЛСФ, например, 28-2-2-05, 28-2-2-06, 28-2-2-07, в левое окно к элементу ЛСФ «F28-20:: Подача топлива к маршевым двигателям (МД)». Результат этой операции представлен на рис. 6-17: в левой части окна под функцией F28-20 появились элементы ЛСИ, реализующие её.

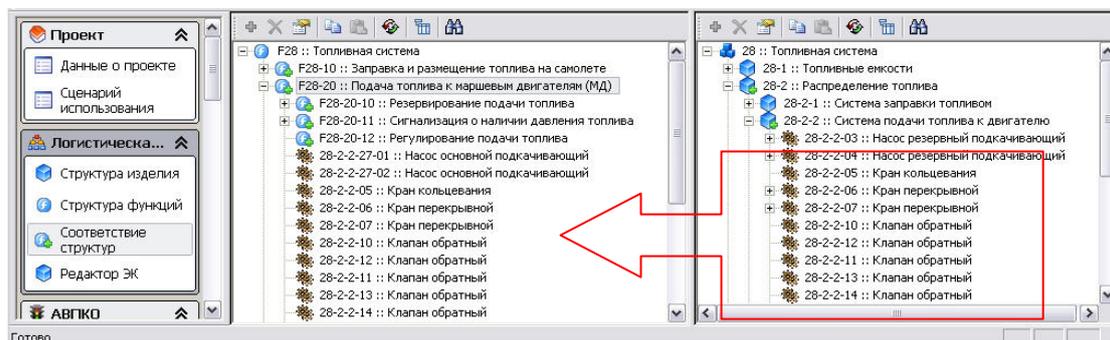


Рис. 6-17. Результат установления связей между элементами ЛСФ и ЛСИ

Результаты установления связи между элементами ЛСФ и ЛСИ могут быть получены из БД АЛП в виде соответствующего отчета (рис. 6-18).

| КАФИ | | Наименование элемента | Начальный ЛКН | АЛКН | Тип структуры | Конечный ЛКН | Код конфигурации | Вид ВС | ЕИ | наработки |
|------|--|---|---------------|------|---------------|--------------|------------------|--------|----|-------------|
| XXX | | Подача топлива к маршевым двигателям (МД) | F 28-20 | 00 | F | | AAA | | Н | летные часы |

| ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФУНКЦИЙ | | | | ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ИЗДЕЛИЯ | | |
|---------------------------------|---|------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------|--|
| ЛКН | Наименование элемента | Описание функции | Доля времени работы (%) | ЛКН | Наименование элемента | Описание элемента |
| F28-20 | Подача топлива к маршевым двигателям (МД) | | 99.92 | 28-2-2-27-01 | Насос основной подкачивающий | Электроприводной насос переменного тока |
| | | | | 28-2-2-27-02 | Насос основной подкачивающий | Электроприводной насос переменного тока |
| | | | | 28-2-2-05 | Кран кольцевания | Кран электроуправляемый постоянного тока |

Рис. 6-18. Фрагмент отчета «Связь между ЛСФ и ЛСИ»

6.2.5. Присвоение SNS элементам ЛСИ

Далее необходимо элементам ЛСИ присвоить коды по стандартной системе нумерации объектов самолета. На этом этапе:

1. Создается структура стандартной нумерации объектов проекта по системе в программном модуле «Редактор DMRL», позволяющем сформировать структуру стандартной нумерации объектов согласно стандарту ASD S1000D.

При создании структуры нумерации объектов проекта для системы 28:

- Выбрана система «28::Топливная система» по стандарту S1000D. В результате создана структура стандартной нумерации, состоящая из системы и входящих в нее подсистем (рис. 6-19).

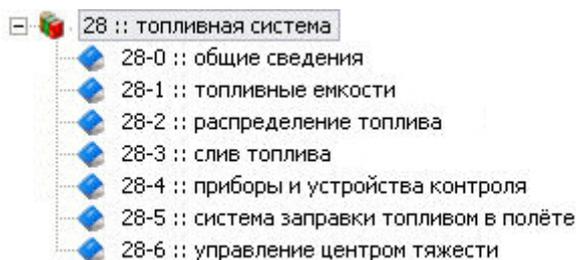


Рис. 6-19. Созданная структура стандартной нумерации объектов системы 28

- Далее в структуре стандартной нумерации созданы уровни «под-подсистема» и «агрегат/изделие». На рис. 6-20 в левой части окна представлена созданная структура стандартной нумерации объектов системы 28 вида «система – подсистема – под-подсистема – агрегат».

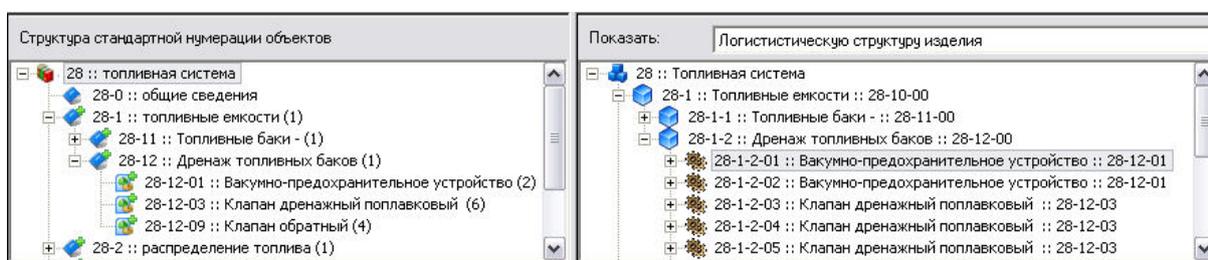


Рис. 6-20. Присвоение кодов SNS элементам ЛСИ

Далее элементам ЛСИ присваиваются коды SNS посредством функции drag&drop. На рис. 6-20 в правой части окна представлена ЛСИ, в которой после наименования логистического элемента отображается присвоенный SNS. Кроме этого SNS отображается в окне свойств элемента ЛСИ (рис. 6-21), в отчетных формах и т.д.

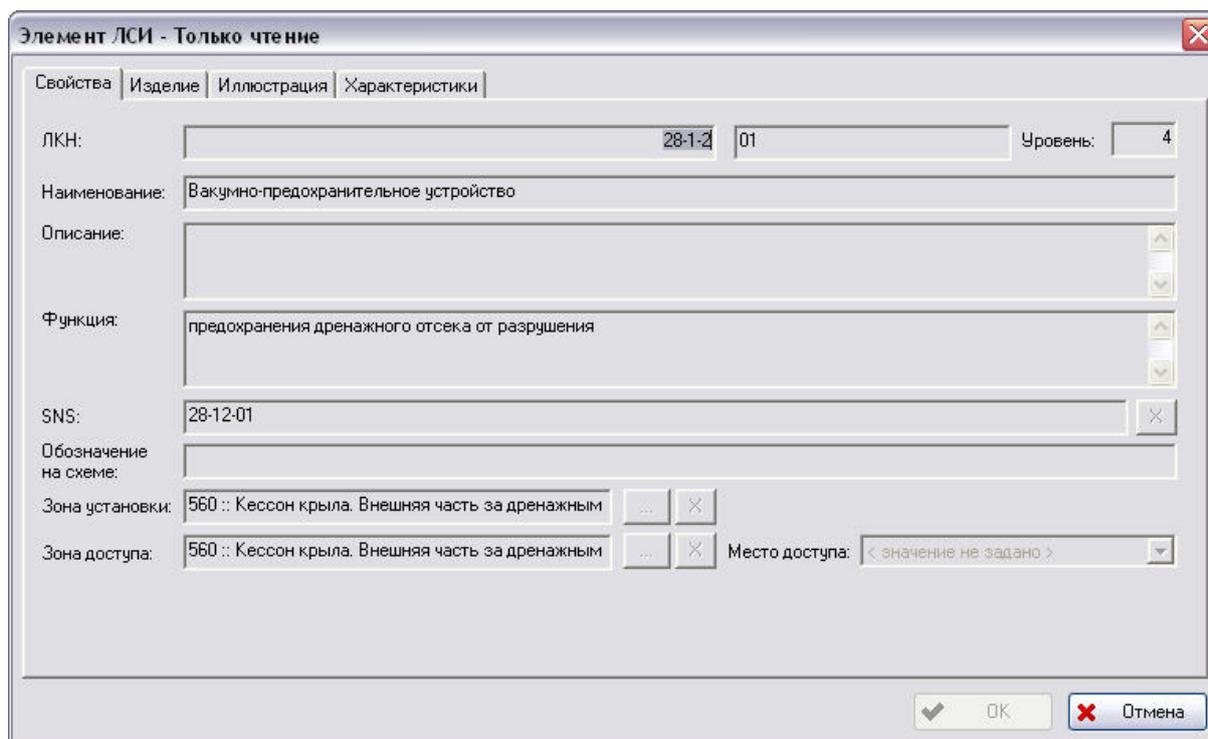


Рис. 6-21. Отображение SNS в окне свойств элемента ЛСИ

6.2.6. Результаты функционального анализа

Как упоминалось выше, результаты функционального анализа можно получить из БД АЛП в виде различных отчетов. На следующем рисунке в качестве примера представлен фрагмент отчета «Перечень LRU и SRU», полученный по результатам функционального анализа системы 28 (рис. 6-22).

БД АЛП Время: 14:31 Дата: 02/09/2008

Перечень LRU и SRU

Конфигурация: 1.0 Система: Топливная система Пользователь: Administrator

| CFI | ЛКН | Код по АТА | Наименование элемента | Код поставщика | Наименование поставщика | Наименование подсистемы | Обозначение изделия | LRU или SRU | Зона | Место доступа | Рекомендуемая запчасть | Задачи обслуживания | Масса, кг |
|---------|-----------|------------|--------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-------------|------|---------------|------------------------|---------------------|-----------|
| 1-QM281 | 28-1-2-01 | 28-12-01 | Вакумно-предохранительное устройство | | | Топливные емкости | NA-50 | LRU | 560 | 560 | Y | | 0.00 |
| 2-QM281 | 28-1-2-02 | 28-12-01 | Вакумно-предохранительное устройство | | | Топливные емкости | NA-50 | LRU | 660 | 660 | Y | | 0.00 |
| 3-QM281 | 28-1-2-03 | 28-12-03 | Клапан дренажный поплавковый | | | Топливные емкости | 742600 | LRU | 571 | 571 | Y | | 0.00 |

Рис. 6-22. Фрагмент отчета «Перечень LRU и SRU»

6.3. Ввод параметров надежности

Для выполнения последующих расчетов необходимо задать параметры надежности элементов ЛСИ. Параметры надежности элемента ЛСИ могут быть наследованы от связанного с ним изделия или назначены непосредственно для логистического элемента. Например, если несколько элементов ЛСИ связаны с одним изделием, то у таких элементов, как правило, будет одинаковая интенсивность отказов. В этом случае удобно задавать интенсивность отказа для изделия, а связанные элементы ЛСИ будут наследовать значение этого параметра. Интенсивность отказов каждого элемента ЛСИ может быть непосредственно задана пользователем или рассчитана на основе данных об отказах элементов ЛСИ, выполняющих данную функцию.

В справочник изделий программы LSS для изделий, связанных с элементами ЛСИ, вводятся значения следующих параметров (рис. 6-23):

- Интенсивность отказов.
- Средняя наработка на отказ.
- Средняя наработка на внеплановый съем.
- Среднее время восстановления.
- Назначенный ресурс.
- Назначенный срок службы.

Рис. 6-23. Параметры надежности изделия

Параметры надежности элементов логистических структур задаются в окне свойств элементов ЛСИ и ЛСФ при работе на вкладках «Структура изделия» и «Структура функций».

На следующей иллюстрации представлена экранная форма ввода параметров надежности элемента ЛСИ (рис. 6-24). В представленном на рисунке примере элемент ЛСИ наследует параметры надежности связанного с ним изделия. Если параметры надежности элемента ЛСИ отличаются от параметров надежности связанного изделия, то они редактируются непосредственно в окне свойств элемента ЛСИ.

Рис. 6-24. Параметры надежности элемента ЛСИ

В примере, представленном на рис. 6-24, доля времени работы элемента ЛСИ определяется на основании функционального анализа (по долям времени работы функции, с которой связан этот элемент ЛСИ).

6.4. АВПКО

В рассматриваемом примере процедура выполнения АВПКО состоит из следующих этапов:

- Заполнение справочников, используемых при АВПКО.
- Создание перечня видов отказов для логистических элементов.
- Установление причинно-следственных связей между видами отказов логистических элементов.
- Выполнение АВПО. Вычисление показателей критичности.

В качестве исходных данных при выполнении АВПКО используются результаты проведенного функционального анализа и параметры надежности логистических элементов, зафиксированные в БД АЛП.

6.4.1. Заполнение справочников

Перед выполнением АВПКО необходимо заполнить справочники, используемые при анализе, а именно:

1. «Функциональные отказы».
2. «Конструктивные отказы».
3. «Первичные причины отказов».
4. «Компенсирющие конструктивные меры».
5. «Компенсирющие действия персонала».

Внешний вид справочников представлен на рис. 6-25 - рис. 6-29.

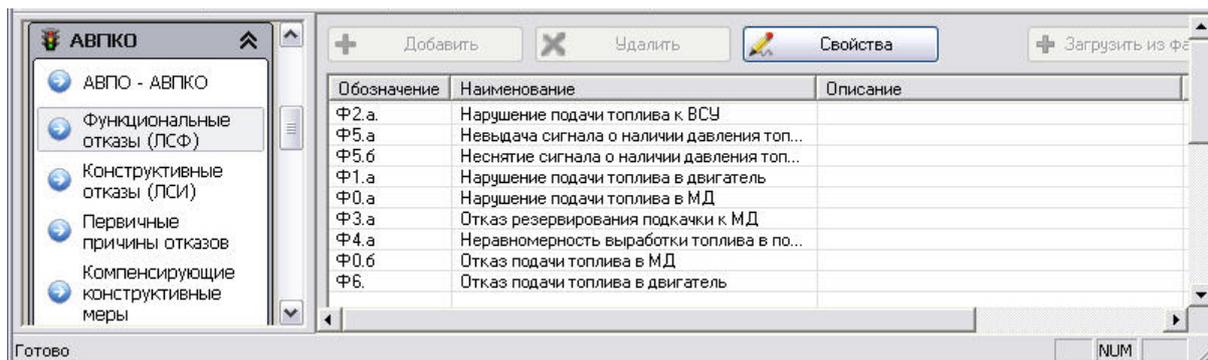


Рис. 6-25. Справочник «Функциональные отказы»

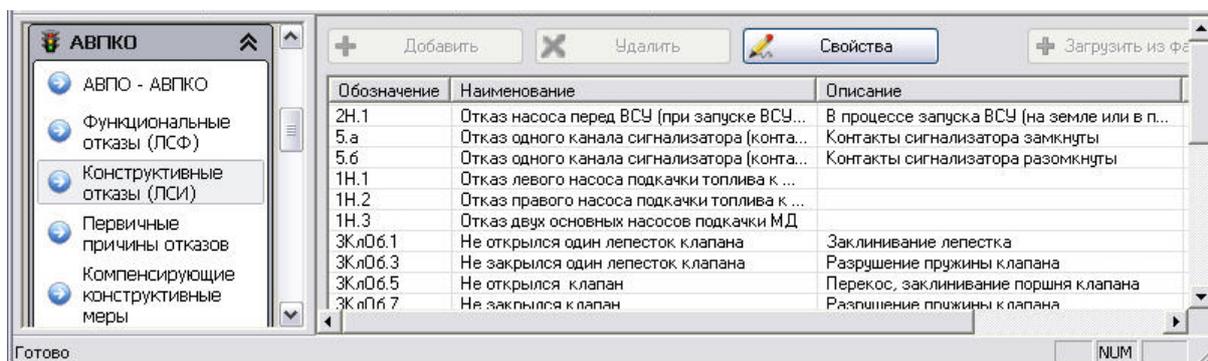


Рис. 6-26. Справочник «Конструктивные отказы»

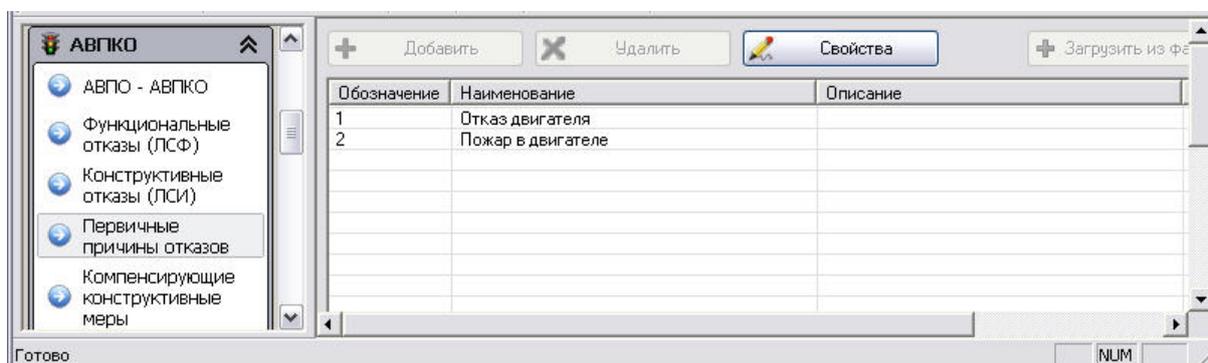


Рис. 6-27. Справочник «Первичные причины отказов»

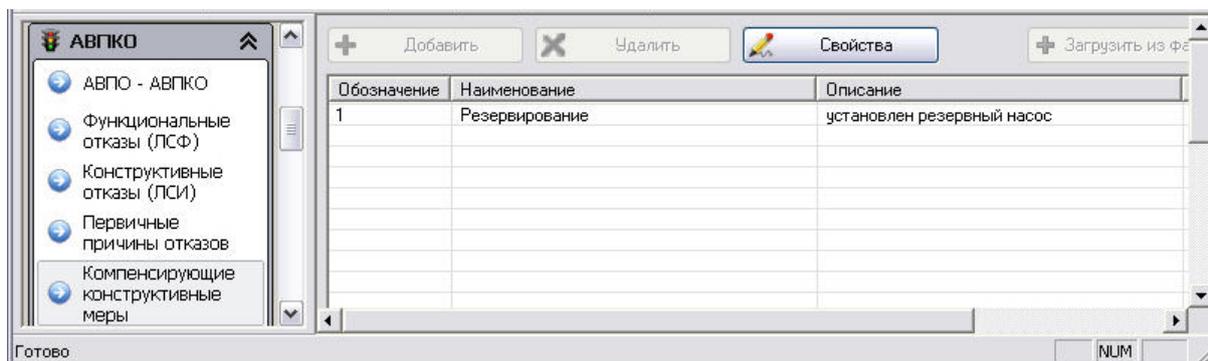


Рис. 6-28. Справочник «Компенсирющие конструктивные меры»

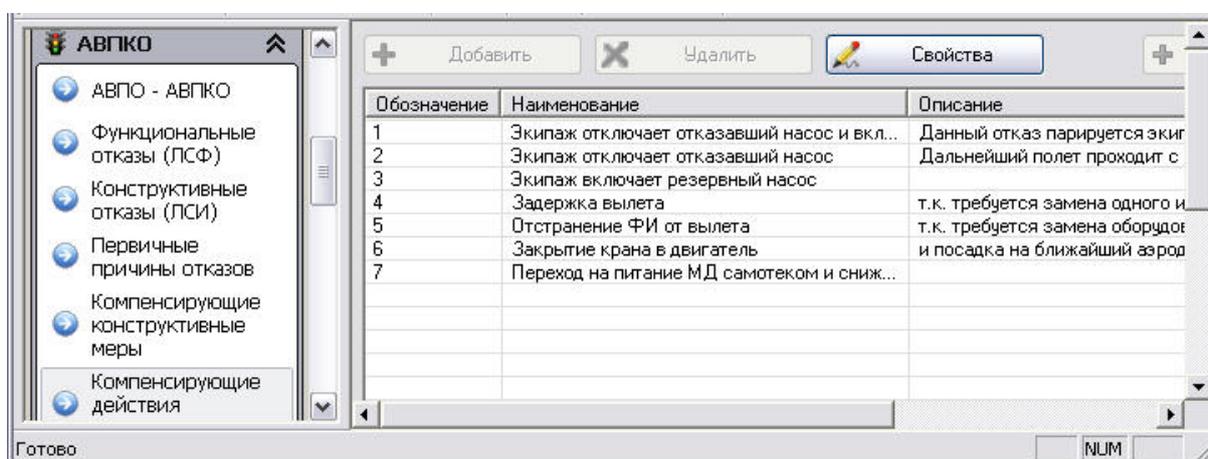


Рис. 6-29. Справочник «Компенсирющие действия персонала»

6.4.2. Создание перечня отказов для логистических элементов

Для создания перечня видов отказов логистических элементов предназначена вкладка **АВПО-АВГКО**. Внешний вид вкладки представлен на рис. 6-30. В верхнем окне вкладки отображается дерево ЛСФ со связанными с ними элементами ЛСИ. В нижнем окне вкладки представлены созданные виды отказов элементов ЛСИ и ЛСФ.

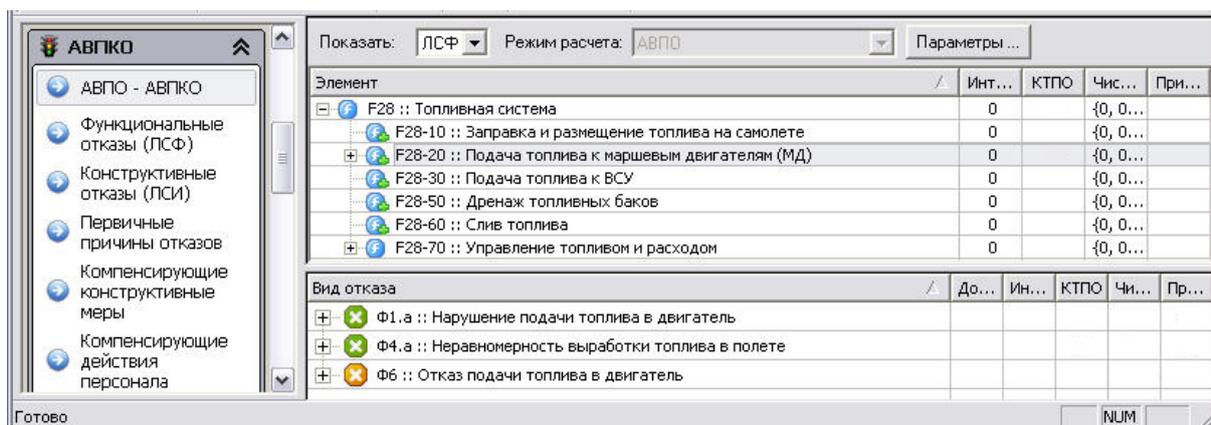


Рис. 6-30. Внешний вид вкладки «АВПО-АВПКО»

Создание перечня видов отказов логистических элементов рассмотрим на примере создания видов отказа для трёх элементов:

1. для элемента ЛСФ F28-20.
2. для элемента ЛСФ F28-20-11, входящего в элемент ЛСФ F28-20.
3. для элемента ЛСИ 28-2-2-17, связанного с элементом ЛСФ F28-20-11.

6.4.2.1 Создание вида отказа элемента ЛСФ F28-20

На рис. 6-31 представлена экранная форма для ввода данных вида отказа элемента ЛСФ F28-20. При создании вида отказа элемента ЛСФ вводятся следующие данные:

1. обозначение и наименование вида отказа, выбираемое из справочника «Функциональные отказы»;
2. значение категории тяжести последствий отказа (КТПО);
3. значения параметров, используемых при выполнении анализа критичности количественного:
 - а. «Средняя наработка на отказ»,
 - б. «Интенсивность вида отказа»,
 - с. «Доля вида отказа».
4. значение параметра «Уровень вероятности отказа», используемого при выполнении анализа критичности качественного;
5. метод обнаружения отказа и сведения о компенсации отказа.

В рассматриваемом примере анализ критичности количественный и качественный не проводился, поэтому значения соответствующих параметров не заданы.

Вид отказа - Только чтение

Обозначение:

Наименование:

Последствие на данном уровне:

КТПО:

Анализ критичности количественный:

- Средняя наработка на отказ:
- Интенсивность вида отказа:
- Доля вида отказа:

Анализ критичности качественный:

Уровень вероятности отказа:

Метод обнаружения отказа:

Компенсация отказа:

Конструктивные меры:

Действия персонала:

Рис. 6-31. Окно свойств элемента ЛСФ F28-20

Созданный вид отказа корневого элемента ЛСФ F28-20 отображается в нижнем окне вкладки «АВПО-АВПКО». На рис. 6-32 представлены созданные виды отказов элемента ЛСФ F28-20, в том числе и вид отказа «Ф1.а».

Показать: ЛСФ Режим расчета: АВПО Параметры ...

| Элемент | Инт... | КТПО | Чис... | При... |
|---|--------|------|----------|--------|
| F28 :: Топливная система | 0 | | {0, 0... | |
| F28-10 :: Заправка и размещение топлива на самолете | 0 | | {0, 0... | |
| F28-20 :: Подача топлива к маршевым двигателям (МД) | 0 | | {0, 0... | |
| F28-30 :: Подача топлива к ВСУ | 0 | | {0, 0... | |
| F28-50 :: Дренаж топливных баков | 0 | | {0, 0... | |
| F28-60 :: Слив топлива | 0 | | {0, 0... | |
| F28-70 :: Управление топливом и расходом | 0 | | {0, 0... | |

| Вид отказа | До... | Ин... | КТПО | Чи... | Пр... |
|--|-------|-------|------|-------|-------|
| Ф1.а :: Нарушение подачи топлива в двигатель | | | | | |
| Ф4.а :: Неравномерность выработки топлива в полете | | | | | |
| Ф6 :: Отказ подачи топлива в двигатель | | | | | |

Готово NUM

Рис. 6-32. Созданные виды отказов элемента ЛСФ F28-20

6.4.2.2 Создание вида отказа дочернего элемента ЛСФ F28-20-11

Вид отказа дочернего элемента ЛСФ F28-20-11 создается подобно виду отказа элемента ЛСФ F28-20. На рис. 6-33 приведена экранная форма для ввода данных вида отказа дочернего элемента ЛСФ F28-20-11. На рис. 6-34 представлены созданные виды отказа «Ф2.а» и «Ф2.б» элемента ЛСФ F28-20-11.

Вид отказа - Только чтение

Обозначение:

Наименование:

Последствие на данном уровне:

КТПО:

Анализ критичности количественный

Средняя наработка на отказ:

Интенсивность вида отказа:

Доля вида отказа:

Анализ критичности качественный

Уровень вероятности отказа:

Метод обнаружения отказа:

Компенсация отказа

Конструктивные меры:

Действия персонала:

Рис. 6-33. Окно свойств элемента ЛСФ F28-20-11

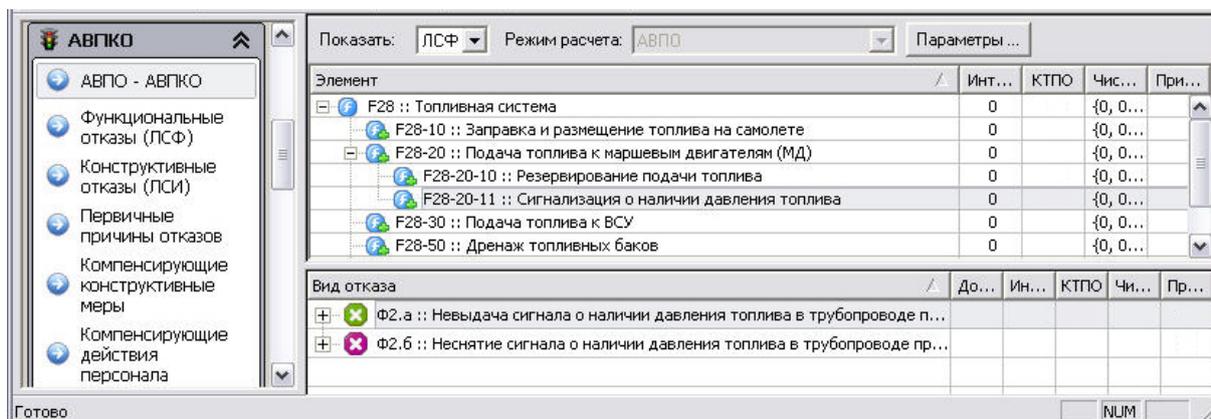


Рис. 6-34. Созданные виды отказа элемента ЛСФ F28-20-11

6.4.2.3 Создание вида отказа элемента ЛСИ

Вид отказа элемента ЛСИ создается подобно виду отказа дочернего элемента ЛСФ, но в этом случае наименование вида отказа выбирается из справочника «Конструктивные виды отказов».

На рис. 6-35 представлены созданные виды отказа «5.а» и «5.б» элемента ЛСИ 28-2-2-17.

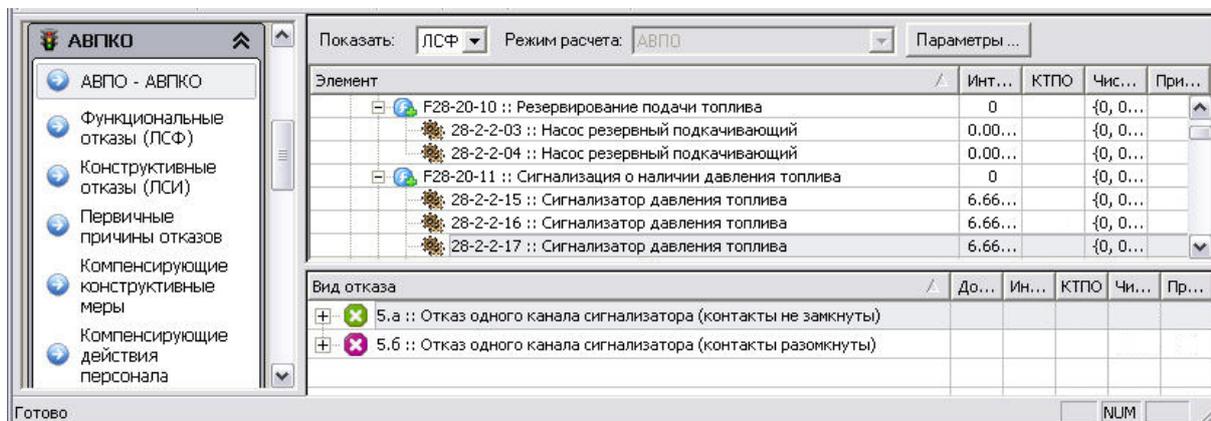


Рис. 6-35. Созданные виды отказа элемента ЛСИ 28-2-2-17

6.4.3. Установление причинно-следственных связей между отказами

После создания видов отказов элементов ЛСФ и ЛСИ необходимо установить связь между ними. При этом:

- Для каждого созданного отказа на уровне подсистемы (под-подсистемы) указывается к какому функциональному отказу на уровне системы (подсистемы) он приводит.

- Для отказов элементов ЛСИ указывается первичная причина отказа и последствие отказа.

Пример

Ранее были созданы виды отказов элементов ЛСФ F28-20 и F28-20-11 и элемента ЛСИ 28-2-2-17. Установим между ними следующие причинно-следственные связи:

- Отказ элемента ЛСФ F28-20-11 приводит к отказу элемента ЛСФ F28-20.
- Отказ элемента ЛСФ F28-20-11 вызывается отказом элемента ЛСИ 28-2-2-17.

На рис. 6-36 представлен результат установления связей между видами отказов элементов ЛСФ и ЛСИ. В нижнем окне вкладки для вида отказа элемента F28-20-11 отображаются причины отказа (в том числе и отказ элемента ЛСИ 28-2-2-17) и последствие отказа (отказ элемента ЛСФ F28-20).

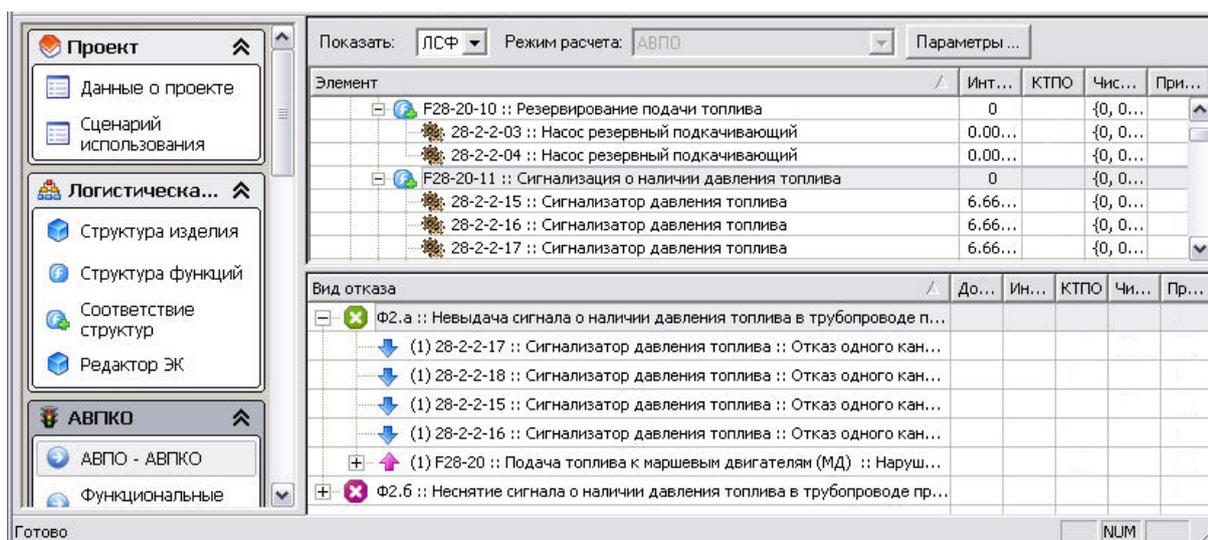


Рис. 6-36. Результат установления связей между видами отказов элементов ЛСФ и ЛСИ

6.4.4. Расчет показателей АВПО

Перед выполнением расчета показателей АВПО выполняется настройка параметров расчета, при которой определяются приоритеты для каждого значения КТПО.

В рассматриваемом примере приняты параметры расчета, установленные по умолчанию в программе LSS (рис. 6-37).

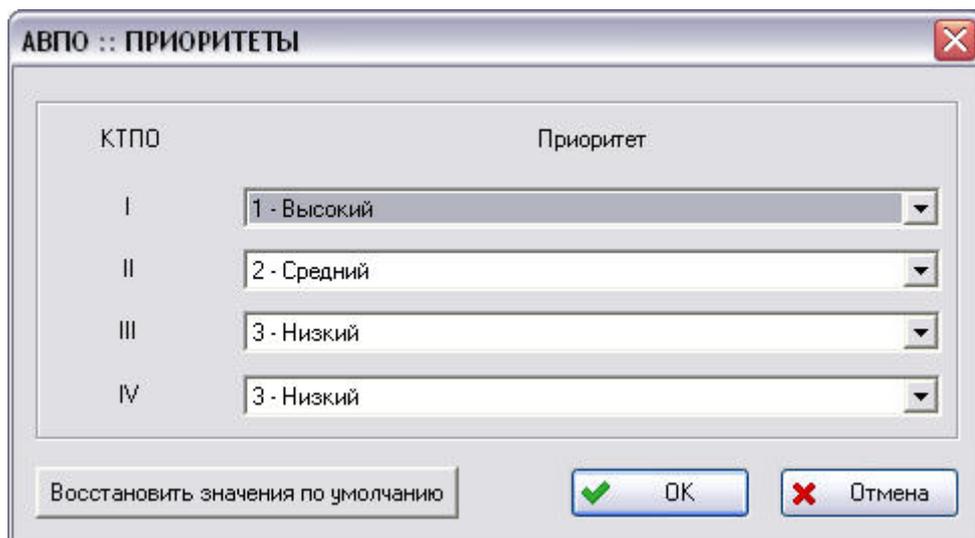


Рис. 6-37. Задание параметров расчета показателей АВПО

На следующем рисунке представлен результат расчета показателей АВПО, в результате которого всем видам отказов были присвоены приоритеты в зависимости от КТПО.

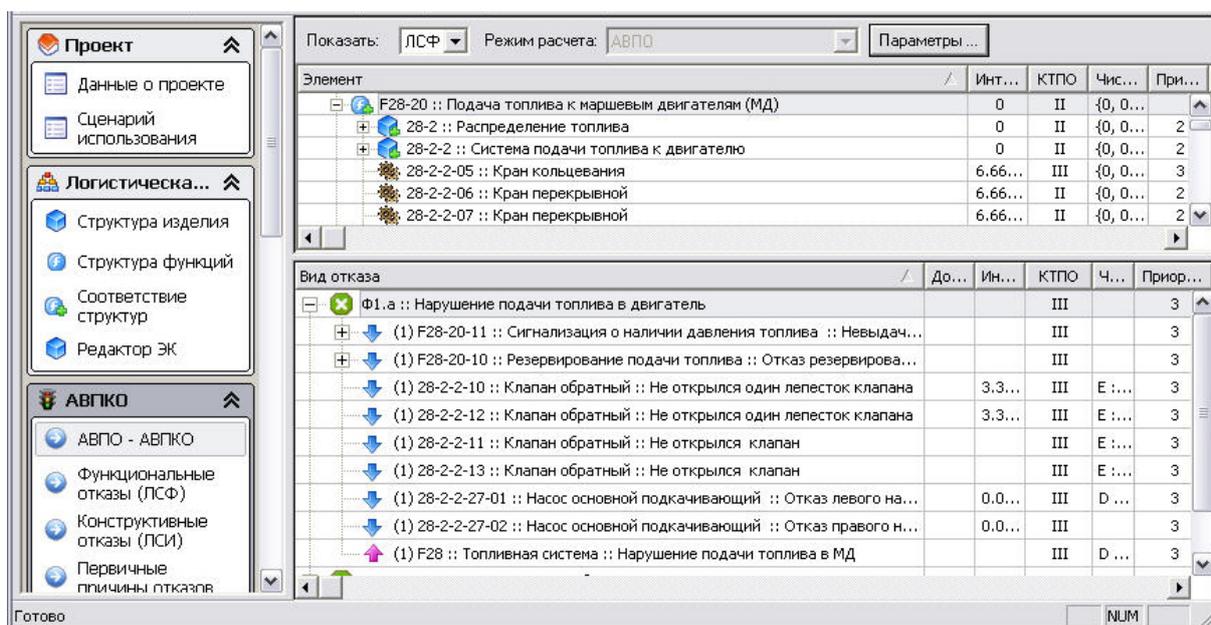


Рис. 6-38. Результат расчета показателей АВПО

6.4.5. Отчетные формы

По результатам анализа видов, последствий и критичности отказов можно получить следующие отчеты:

- Сводный отчет ранжирования элементов по критичности.
- Сводный отчет АВПО.
- Анализ критичности – отказы.

- Анализ критичности – элементы.
- АВПКО.
- АВПО для первой части анализа MSG-3.

На рис. 6-39 представлен фрагмент отчета «Сводный отчет по АВПО», полученного по результатам АВПО системы 28.

| БД АЛП | | Время 14:59 | Дата: 02/09/2008 | | | | | |
|--------------------|---|-------------------|--|---|---|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Сводный отчет АВПО | | | | | | | | |
| КАФИ | Наименование элемента | Начальный ЛКН | АЛКН | Тип структуры | Конечный ЛКН | Код конфигурации | Вид ВС | ЕИ наработки |
| XXX | Подача топлива к маршевым двигателям (МД) | F28-20 | 00 | F | | AAA | | Н :: летные часы |
| ЛКН | Наименование элемента | Описание элемента | Вид отказа | Последствия отказа | | КТПО | Компенсированные действия персонала | Компенсированные конструктивные меры |
| | | | | на данном уровне | на вышестоящем уровне | | | |
| F28-20 | Подача топлива к маршевым двигателям (МД) | | Ф6 :: Отказ подачи топлива в двигатель | F28 :: Топливная система :: Отказ подачи топлива в МД | F28 :: Топливная система :: Отказ подачи топлива в МД | II | | |
| | | | Ф1 а :: Нарушение подачи топлива в двигатель | F28 :: Топливная система :: Нарушение подачи топлива в МД | F28 :: Топливная система :: Нарушение подачи топлива в МД | III | | |
| | | | Ф4 а :: Неравномерность подачи топлива в двигатель | F28 :: Топливная система :: Нарушение подачи топлива в МД | F28 :: Топливная система :: Нарушение подачи топлива в МД | III | | |

Рис. 6-39. Фрагмент отчета «Сводный отчет по АВПО»

6.5. Разработка программы планового обслуживания по алгоритму MSG-3

Анализ MSG-3 выполняется для элементов ЛСФ, критичных в отношении надежности и готовности конечного изделия. Такие элементы определяются при формировании ЛСФ. Для каждого из них проводится анализ MSG-3 и формируется перечень плановых работ MSG-3, необходимых для предотвращения или снижения тяжести отказов элементов ЛСИ.

В качестве примера рассмотрим выполнение анализа MSG-3 для корневого элемента ЛСФ F28, которому был задан признак «Функция подлежит анализу MSG-3».

На рис. 6-40 представлен внешний вид окна программы LSS, предназначенного для выполнения анализа по алгоритму MSG-3. Анализируемой функцией является элемент ЛСФ «F28:: Топливная система». В верхней части окна представлены виды отказов анализируемой функции, созданные при выполнении АВПКО. В нижней части окна представлены виды отказы элементов ЛСИ, являющиеся причинами функционального отказа «Ф0.1::Нарушение подачи топлива в МД» и определенные на этапе АВПКО.

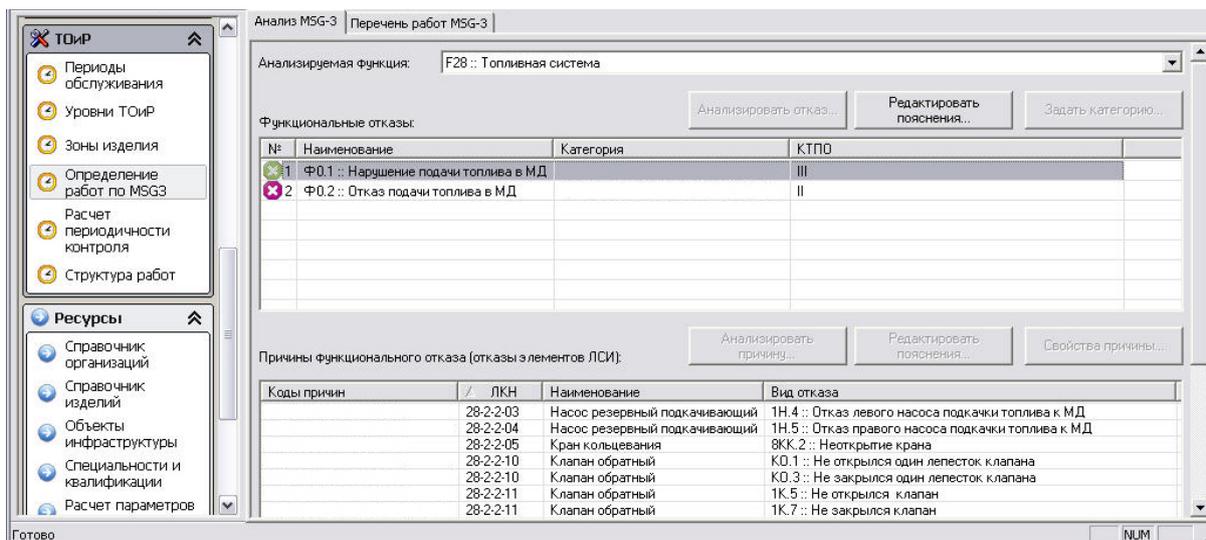


Рис. 6-40. Внешний вид окна программы LSS, предназначенного для выполнения анализа по алгоритму MSG-3

Анализ MSG-3 происходит в два этапа:

1. определение категории функционального отказа;
2. определение плановых работ, которые необходимо выполнить для предотвращения или снижения тяжести последствия вида отказа, для каждой причины функционального отказа.

Определение категории функционального отказа реализуется по алгоритму MSG-3, рассмотренному в разделе 4.6. Каждый шаг алгоритма – это определенный вопрос, на который должен ответить пользователь по отношению к анализируемому функциональному отказу (рис. 6-41).

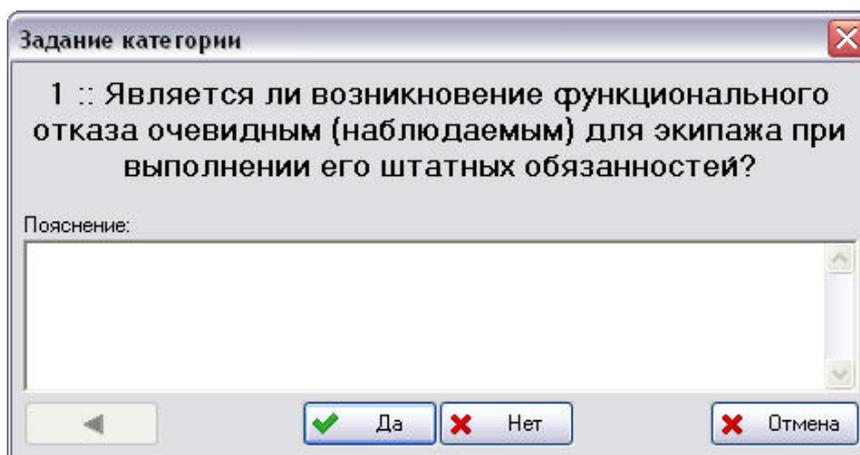


Рис. 6-41. Диалоговое окно с вопросом – шагом алгоритма, по которому определяется категория функционального отказа

При определении перечня плановых работ определяются и анализируются причины функционального отказа по алгоритму MSG-3 (рис. 6-42).

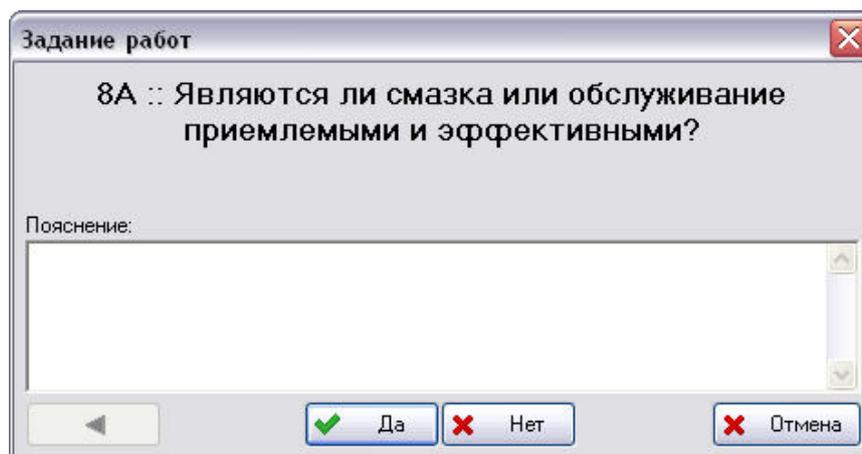


Рис. 6-42. Диалоговое окно с вопросом – шагом алгоритма анализа причин функционального отказа

В результате анализа причин функционального отказа определяются рекомендуемые категории работ, которые необходимо выполнить для предотвращения отказа или снижения тяжести его последствий. На рис. 6-43 в нижней части окна представлены причины функционального отказа «Ф0.1», в столбце «Работы» отображаются рекомендуемые категории работ для анализируемой причины функционального отказа, полученные в результате анализа по алгоритму MSG-3.

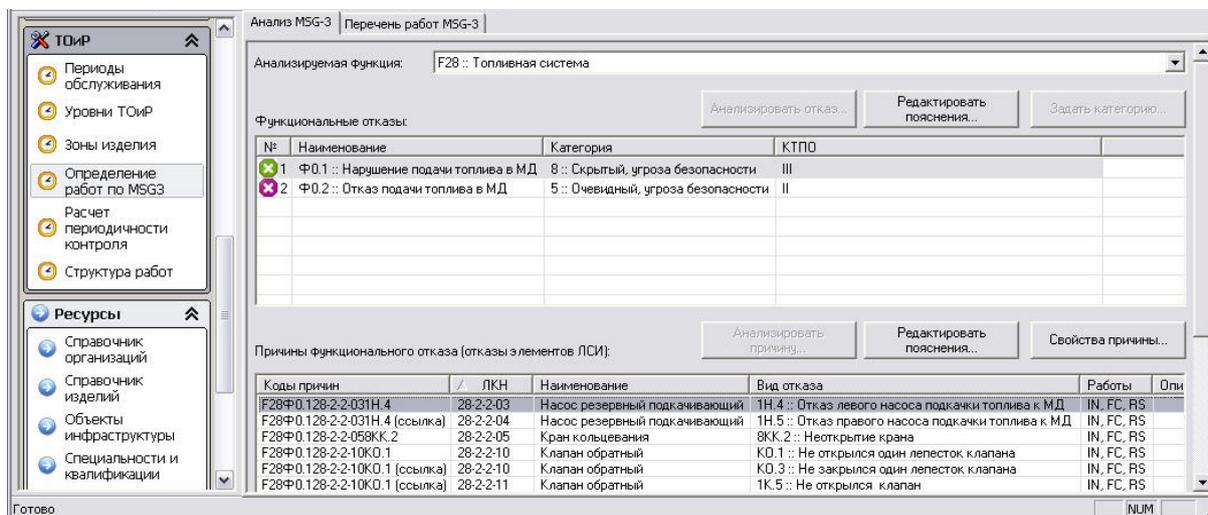


Рис. 6-43. Результат анализа причин функционального отказа

Далее для каждой анализируемой причины отказа формируется перечень плановых работ. На рис. 6-44 представлена экранная форма для создания перечня плановых работ для предотвращения (снижения тяжести последствия) отказа по одной из анализируемых причин.

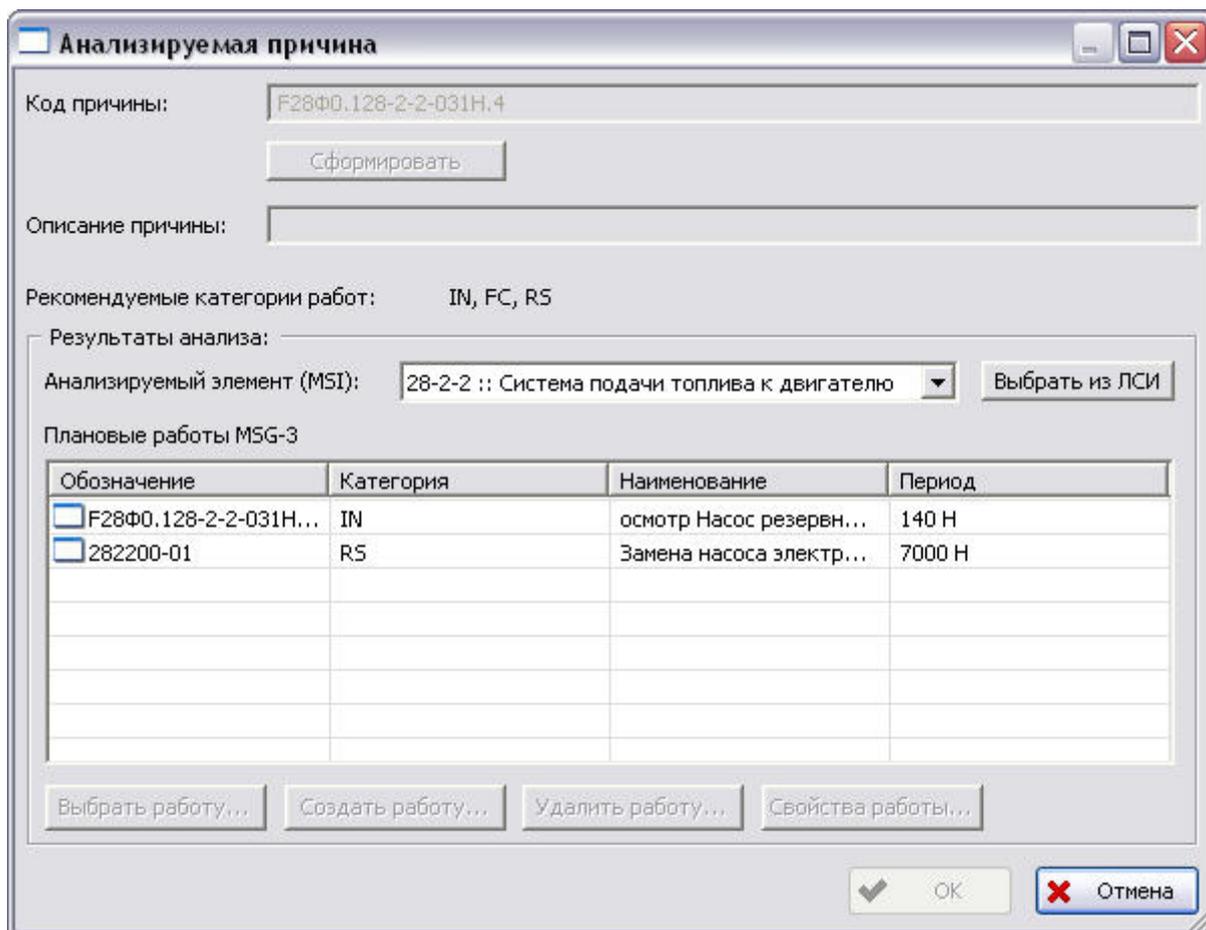


Рис. 6-44. Экранная форма для создания перечня плановых работ

На рис. 6-45 представлен перечень плановых работ MSG-3, сформированный для элемента ЛСИ 28-2-2.

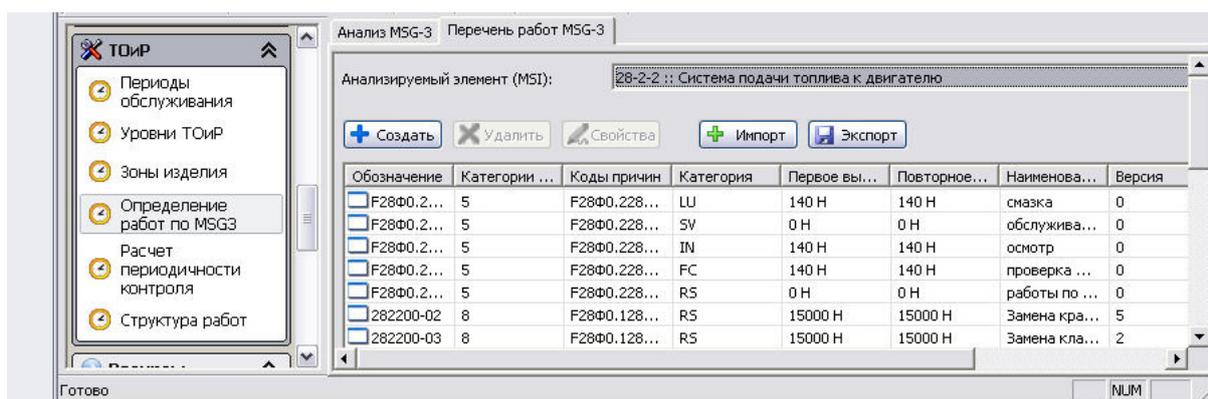


Рис. 6-45. Перечень плановых работ MSG-3, сформированный для элемента ЛСИ 28-2-2 в программе LSS

6.6. Расчет рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ

Для расчета рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ перейдем на вкладку «Расчет периодичности контроля». Внешний вид вкладки представлен на рис. 6-46.



Рис. 6-46. Внешний вид вкладки «Расчет периодичности контроля»

При расчете используются следующие данные:

- Назначенный ресурс и интенсивность отказов заменяемых элементов ЛСИ (см. п. 6.3. «Ввод параметров надежности»).
- Средняя наработка КИ в год, заданная при описании сценария использования.
- Результаты расчета АВПКО (значения КТПО).
- Информация справочника стандартных периодов обслуживания²⁸.

Программа LSS позволяет выполнить расчет рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ за оцениваемый период, выраженный в годах, и за оцениваемый операционный интервал, выраженный в единицах измерения наработки. Расчет рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ анализируемой системы 28 выполнен за оцениваемый период, равный 30 годам.

Для расчета необходимо задать требуемую вероятность для каждого значения КТПО. В рассматриваемом примере значения требуемой вероятности приняты как заданные по умолчанию в программе LSS (рис. 6-47).

²⁸ Рекомендуется заполнение справочника в начале работы над проектом по системе, изменения и дополнения могут быть внесены в справочник в процессе выполнения АЛП.

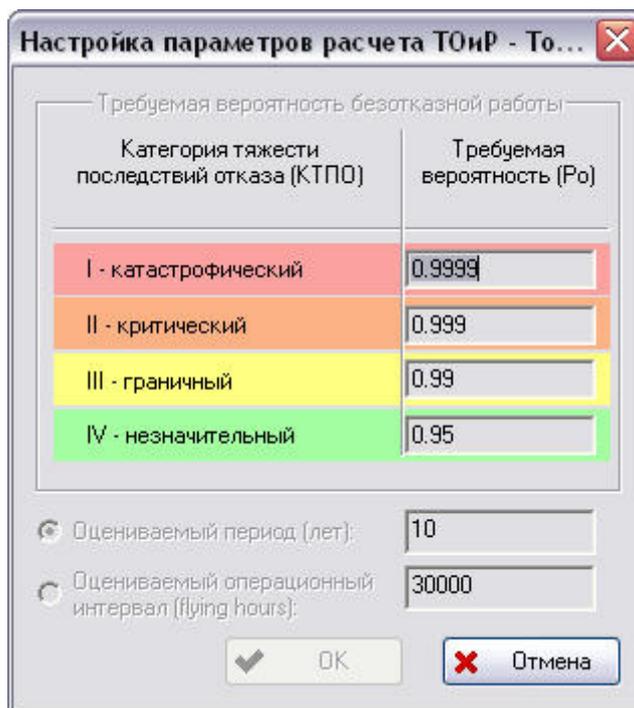


Рис. 6-47. Настройка параметров расчета рекомендуемой периодичности контроля

Результаты расчета рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ представлены на рис. 6-48. Полученные в результате расчета значения рекомендуемой периодичности работ привязываются к стандартным периодам обслуживания, заданным в справочнике стандартных периодов обслуживания. По результатам расчета определяются элементы ЛСИ, для которых:

- рекомендуется контроль в рамках оперативного ТО;
- рекомендуется обслуживание по истечении ресурса (срока службы);
- не требуется контроль на оцениваемом интервале времени.



Рис. 6-48. Результат расчета периодичности контроля элементов ЛСИ

На рис. 6-49 представлен фрагмент отчета о рассчитанных значениях периодичности контроля элементов.

| БД АЛП | | Время: 15:04 | Дата: 02/09/2008 | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|---------------|------------------|---------------|--------------|------------------|--------|-----------------|--|
| Рекомендуемая периодичность контроля | | | | | | | | | |
| КАФИ | Наименование элемента | Начальный ЛКН | АЛКН | Тип структуры | Конечный ЛКН | Код конфигурации | Вид ВС | ЕИ наработки | |
| 000 | Система подачи топлива к двигателю | 28-2-2 | 00 | Р | | AAA | | Н...летные часы | |

Признаки особого обслуживания:
 ОПЕР.ТО - рекомендуется контроль в рамках оперативного ТО;
 РЕСУРС - рекомендуется обслуживание по истечении ресурса/срока службы;
 НЕ ТРЕБ - не требуется контроль на оцениваемом интервале времени;
 * - элемент является системой/подсистемой. Выбирается минимальное значение периода контроля/обслуживания среди компонентов;
 ##### - не задана интенсивность отказов.

| ЛКН | Наименование | КТПО | Интенсивность отказов | Треб. вероятность безотказной работы | Рекомендуемый период контроля | Расчетный период контроля | Расчетный период контроля по ОСТ | Признак особого обслуживания | Назначенный ресурс |
|-----------|-------------------------------|------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 28-2-2-03 | Насос резервный подкачивающий | III | 0.000142857 | 0.99 | | 140 | 70.0101 | ОПЕР.ТО | 2000 |
| 28-2-2-04 | Насос резервный подкачивающий | III | 0.000142857 | 0.99 | | 140 | 70.0101 | ОПЕР.ТО | 7000 |
| 28-2-2-05 | Кран кольцевания | III | 6.66667e-5 | 0.99 | | 300 | 150.01 | ОПЕР.ТО | 45000 |
| 28-2-2-06 | Кран перекрывной | II | 6.66667e-5 | 0.999 | | 15.0075 | 15.001 | ОПЕР.ТО | 45000 |
| 28-2-2-07 | Кран перекрывной | II | 6.66667e-5 | 0.999 | | 15.0075 | 15.001 | ОПЕР.ТО | 45000 |
| 28-2-2-10 | Клапан обратный | III | 6.66667e-5 | 0.99 | | 300 | 150.01 | ОПЕР.ТО | 15000 |

Рис. 6-49. Фрагмент отчета о рекомендуемой периодичности контроля элементов

6.7. Разработка структуры работ по ТОиР

Для разработки регламентов технического обслуживания анализируемой системы перейдем на вкладку «Структура работ».

При разработке регламентов технического обслуживания анализируемой системы сформированы:

- Перечень плановых и неплановых задач обслуживания элементов ЛСИ.
- Перечень процедур обслуживания.

В примере, представленном на рис. 6-50, для элемента ЛСИ 28-2-2-03 создано несколько плановых и неплановых задач обслуживания.

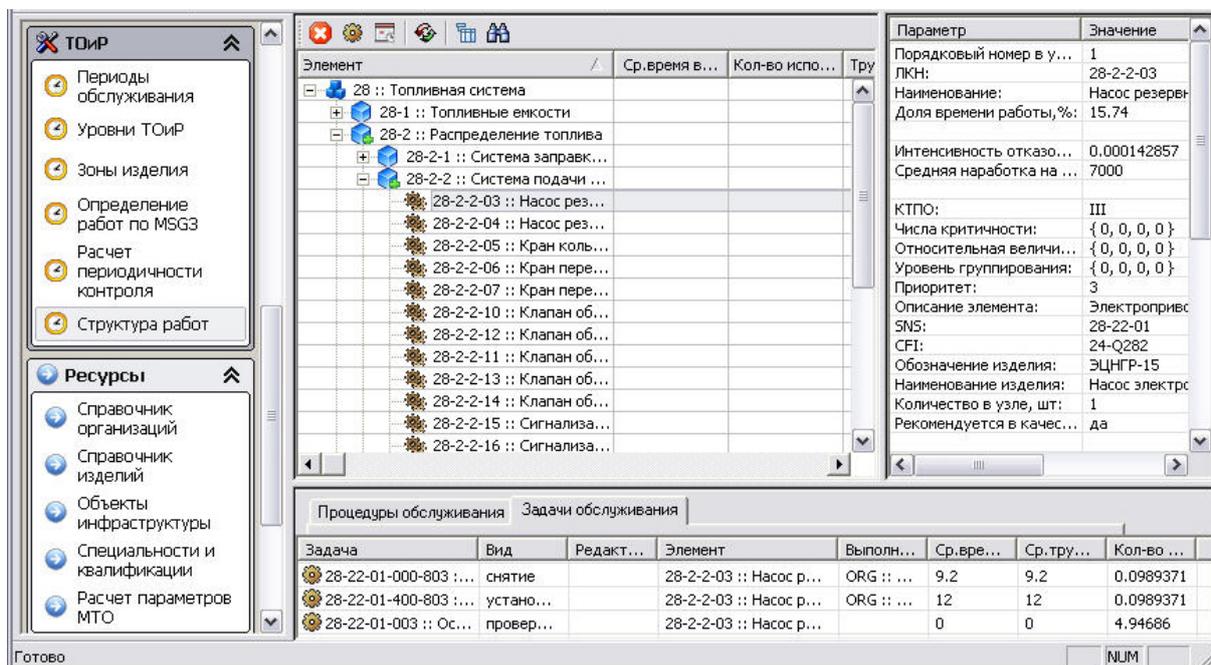


Рис. 6-50. Задачи обслуживания элемента ЛСИ 28-2-2-03

Задача «28-22-01-000-803» (см. рис. 6-50) включена в процедуру обслуживания «01» элемента ЛСИ 28-2-2. На рис. 6-51 представлено окно свойств задачи обслуживания «28-22-01-000-803», на котором в таблице «Выполнение в процедуре обслуживания» отображается процедура, в которую входит задача обслуживания.

Задача обслуживания - Только чтение

Свойства | Условие выполнения | Технология | Ресурсы

Кол-во выполнений в год: Периодичность выполнения: Н.: летные часы

Использовать для расчета количества выполнений в год

Выполнение в процедуре обслуживания:

| Номер п... | Наименование | Периодичность/условие выполнения | Количество выполнений в год |
|------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 01 | Плановые работы 7000 летн.ч. | 7000 летн.час | 0.0989371 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Выполнение при возникновении отказа элемента

| Учитывать | Обозначение | Наименование | Количество выполнений в год |
|--------------------------|-------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> | 1Н.4 | Отказ левого насоса подкачки топл... | 0.000000 |
| | | | |
| | | | |

Выполнение в рамках других задач

| Учитывать | Элемент | Задача | № шага | Количество выполнений в год |
|-----------|---------|--------|--------|-----------------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Рис. 6-51. Отображение процедуры обслуживания, в которую входит задача обслуживания, в окне свойств задачи

Связь между процедурой и задачей обслуживания устанавливается при создании процедуры обслуживания. На рис. 6-52 представлено окно свойств процедуры обслуживания «01::Плановые работы 7000 летн.ч.», в котором в таблице «Задачи обслуживания» представлены включенные в процедуру обслуживания задачи.

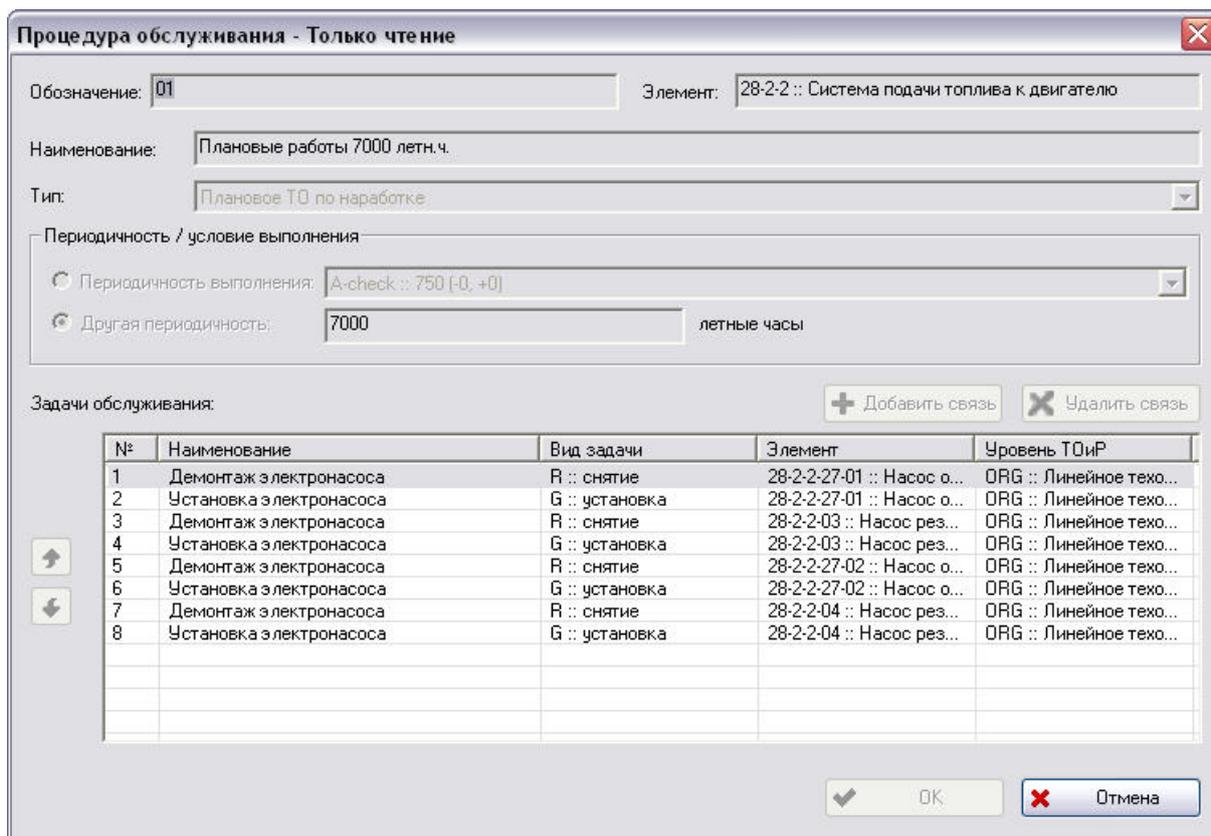


Рис. 6-52. Окно свойств процедуры обслуживания

На рис. 6-53 представлены созданные процедуры обслуживания элемента ЛСФ 28-2-2.

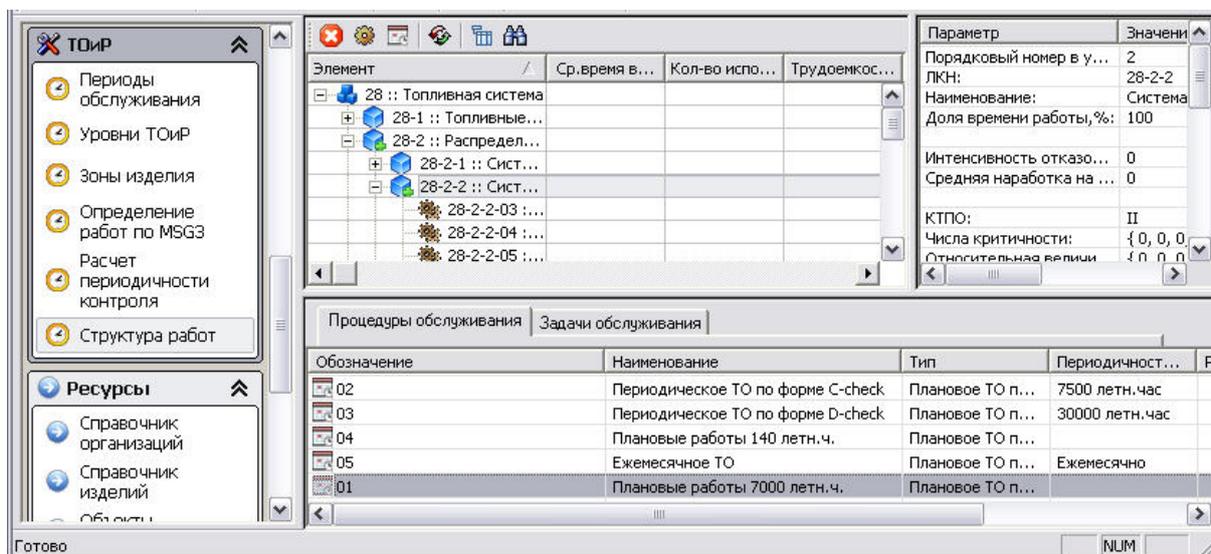


Рис. 6-53. Процедуры обслуживания элемента ЛСФ 28-2-2

Результаты разработки регламентов технического обслуживания могут быть получены из БД АЛП в виде отчетов. На рис. 6-54 представлен фрагмент отчета «Сводные дан-

ные по задачам обслуживания», сформированного по результатам разработки регламентов технического обслуживания системы 28.

| ЛКН | Код по АТА | Наименование элемента ЛСИ | Обозначение изделия | Изготовитель | CFI | Количество в узле (шт) | Продолж. обл. в год (час) | Трудоемк. обл. в год (чел.-час) |
|-----------|------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------|---------|------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 28-2-2-03 | 28-22-01 | Насос резервный подкачивающий | ЭЦНП-15 | 04 :: ОАО ОКБ "Кристалл" | 24-Q282 | 1 | 0.0349578 | 0.0349578 |

| Обозначение задачи | Наименование задачи | Вид задачи | Зона и место доступа | Уровень ТОиР | Кол-во выполнений в год | Полное время вып. (мин) | Полная трудоемкость (ч.-мин.) |
|--------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 28-22-01-000-803 | Демонтаж электронасоса | снятие | 155 | ORG | 0.0989371 | 9.2 | 9.2 |
| 28-22-01-400-803 | Установка электронасоса | установка | 155 | ORG | 0.0989371 | 12 | 12 |
| 28-22-01-003 | Осмотр электронасоса | проверка функционирования | | | 4.94686 | 0 | 0 |

Рис. 6-54. Фрагмент отчета «Сводные данные по задачам обслуживания»

6.8. Формирование перечня поставляемых запчастей и расчет параметров МТО

Для включения изделия в перечень поставляемых запчастей в окне свойств соответствующего элемента ЛСИ выбирается опция «Рекомендуется в качестве запчасти» (рис. 6-55).

Если не были заданы ранее, то в справочник изделий вводятся параметры поставки изделий, рекомендуемых в качестве запчастей, такие как:

- цена единицы поставки;
- размер в упаковке;
- стоимость доставки;
- продолжительность доставки;
- время между заказами.

При расчете параметров МТО для изделий, рекомендуемых в качестве запчасти, определяются параметры:

- рекомендуемый объем начального запаса;
- рекомендуемый объем партии поставки;
- рекомендуемый объем минимального запаса.

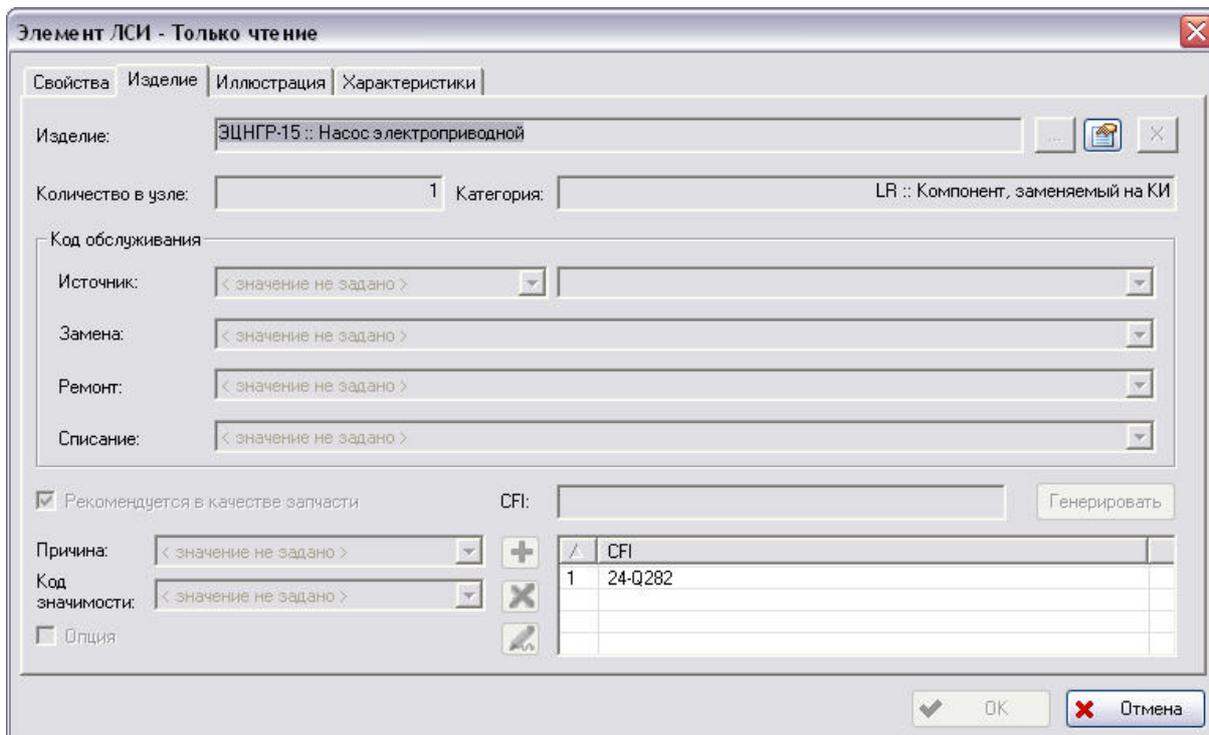


Рис. 6-55. Окно свойств элемента ЛСИ

В рассматриваемом примере в качестве параметра надежности, используемого при расчете, используется средняя наработка на отказ (рис. 6-56). Допустимый уровень риска задается на основе КТПО (рис. 6-57).

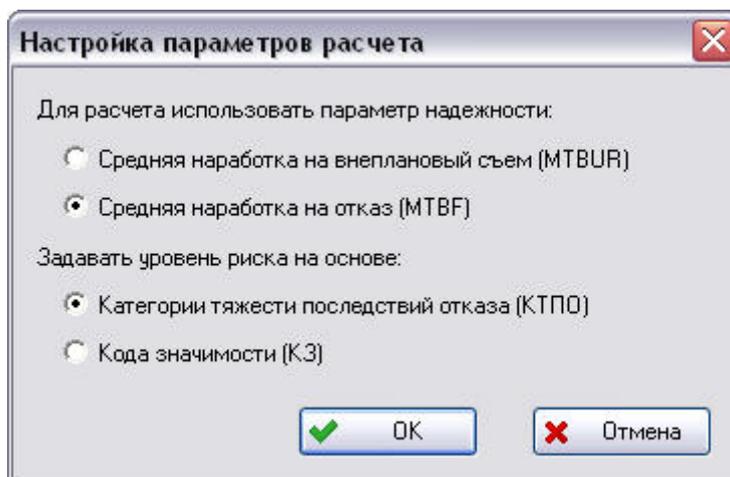


Рис. 6-56. Настройка параметров расчета

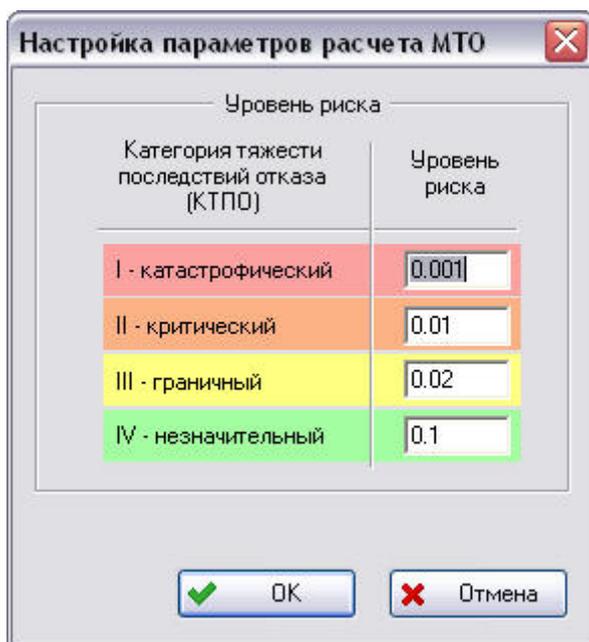


Рис. 6-57. Задание допустимого уровня риска

Результат расчета параметров МТО анализируемой системы 28 представлен на следующем рисунке (рис. 6-58).

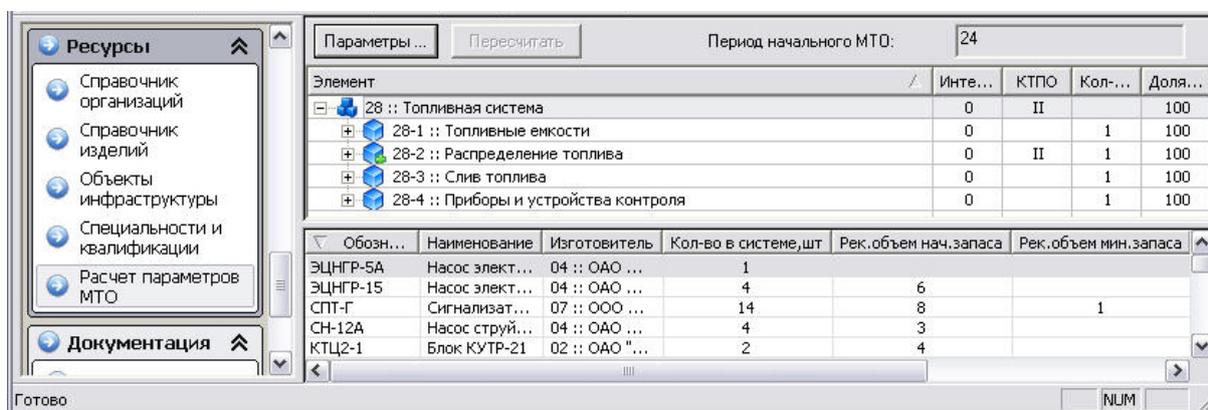


Рис. 6-58. Результат расчета параметров МТО

На следующем рисунке представлен фрагмент отчета «Рекомендуемые объемы МТО», сформированного по результатам расчета для всей анализируемой системы (рис. 6-59).

| БД АЛП | | Время: 15:21 | Дата: 02/09/2008 | | | | | | | |
|--|-------------------------------|---|---|-------------|-------------------|-------|------------------|--|---|--|
| Рекомендуемые объемы МТО | | | | | | | | | | |
| КАФИ: ××× | | Стоимость 1 куб.м.помещений для хранения запаса (рубль/год): 5000 | | | | | | | | |
| Заказчик: Аэрофлот | | Наименование сценария: Основной сценарий | | | | | | | | |
| Наименование изделия: самолет | | Количество КП (шт.): 10 | | | | | | | | |
| Период начального МТО (мес.): 24 | | Средняя наработка в год (летные часы): 4400 | | | | | | | | |
| Затраты на приобретение начального запаса (рубль): 0 | | | Затраты на приобретение текущего запаса (рубль): 8850 | | | | | | | |
| Затраты на хранение начального запаса (рубль): 0 | | | Затраты на хранение текущего запаса (рубль): 0 | | | | | | | |
| Обозначение | Изделие Наименование | Поставщик | Кол-во в системе | Цена(рубль) | Габариты (м) | MTBF | Уровень риска | Горизонт планирования заказов (мес.) | Рекомендуемый объем (шт.) начального партии запаса | Рекомендуемый объем (шт.) партии поставки |
| 426100-1030 | Штуцер консервации и проливки | | 3 | 246.51 | | 40000 | 0.1 | 12 | 1 | 1 |
| 426100-960 | Противосифонный клапан | | 2 | 612.4 | | 40000 | 0.1 | 12 | 1 | 1 |
| 742600 | Клапан дренажный поплавковый | | 6 | | 0.088x0.092x0.183 | 9000 | 0.1 | 12 | 9 | 5 |
| 771300 | Кран перекрывной | | 7 | 7500 | 0.122x0.111x0.292 | 15000 | 0.1 | 12 | 4 | 2 |
| 775500 | Кран перекрывной | | 4 | 8500 | 0.112x0.112x0.335 | 15000 | 0.0233549 | 12 | 5 | 3 |
| 989AT-1-16 | Клапан обратный | | 4 | 278.6 | 0.05x0.05x0.07 | 15000 | 0.075 | 12 | 5 | 3 |
| 989AT-1-20 | Клапан обратный | | 4 | 288.6 | 0.056x0.056x0.079 | 15000 | 0.1 | 12 | 4 | 2 |
| 989AT-1-25 | Клапан обратный | | 8 | 328.54 | 0.039x0.039x0.085 | 15000 | 0.0674866 | 12 | 8 | 10 |

Рис. 6-59. Фрагмент отчета «Рекомендуемые объемы МТО»

6.9. Расчет затрат на техническую эксплуатацию

На основе данных, полученных в результате выполнения АЛП, произведен расчет затрат на техническую эксплуатацию анализируемой системы за 3 года эксплуатации. Результаты расчета представлены на рис. 6-60.

Полученные при расчете затрат на техническую эксплуатацию системы 28 данные могут использоваться в расчете СЖЦ самолета по методике, рассмотренной в разделе 4.10.

Пример выполнения АЛП с использованием программного продукта LSA Suite

| Параметры По умолчанию Рассчитать | | | | Параметр | Значение |
|---|--------------------|--------------|---------------|-----------------|--------------|
| Статья затрат | Способ расчета ... | Затраты н... | Затраты (3... | Период расче... | 3 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 28 : Топливная система | Рассчитывается | 97501.63 | 2925048.98 | Средняя нарэ... | 4400 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Затраты на персонал для ТЭ системы | Рассчитывается | 598.72 | 17961.74 | Количество К... | 10 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Расходные материалы для ТЭ системы | Рассчитывается | 403.57 | 12107.16 | Валюта: | RUB :: рубль |
| <input checked="" type="checkbox"/> Запасные части | Рассчитывается | 96377.64 | 2891329.08 | Период начал... | 24 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Инфраструктура для ТЭ системы | Рассчитывается | 0 | 0 | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Наземное оборудование и инструмент | Рассчитывается | 121.7 | 3651 | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Специальное наземное оборудовани... | Рассчитывается | 121.7 | 3651 | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Стандартное наземное оборудовани... | Рассчитывается | 0 | 0 | | |

Заданная стоимость статьи затрат для 1 КИ на 1 год эксплуатации, рубль

Рассчитанная стоимость на 3 лет, RUB 2925048.98
 Удельные затраты на летные часы, RUB 22.16
 Затраты для 1 ФИ (3 лет), RUB 292504.9
 Затраты для 1 ФИ на 1 год, RUB 97501.63

| Статья затрат | Затраты (3 лет), RUB |
|--|----------------------|
| Затраты на персонал для ТЭ системы | 17961.74 |
| Расходные материалы для ТЭ системы | 12107.16 |
| Запасные части | 2891329.08 |
| Инфраструктура для ТЭ системы | 0 |
| Специальное наземное оборудование и инструмент | 3651 |
| Стандартное наземное оборудование и инструмент | 0 |

| Вид работы/Показатель | Количество | Суммарная продолжительность на 1 ФИ и 1 год, ч. | Суммарная трудоемкость на 1 ФИ и 1 год, чел.ч. | Суммарная продолжительность на 3 лет, ч. | Суммарная трудоемкость на 3 лет, чел.ч. | Удельная продолжительность, ч./летные часы | Удельная трудоемкость, чел.ч./летные часы |
|---|------------|---|--|--|---|--|---|
| Плановые работы | 56 | 1.85 | 2.15 | 55.6 | 64.53 | 0.00042 | 0.00049 |
| Неплановые работы | 3 | 0.14 | 0.14 | 4.22 | 4.28 | 3.2e-005 | 3.2e-005 |
| Неплановые работы для критичных элементов | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Рис. 6-60. Расчет затрат на техническую эксплуатацию

Приложение

Перечень терминов

| | |
|---|---|
| Изделие | Любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии ²⁹ [ГОСТ 2.101-68, статья 2]. |
| Наименование изделия | Краткое словесное описание, составленное разработчиком изделия, позволяющее судить об основном назначении этого изделия. |
| Обозначение изделия | Комбинация буквенных и цифровых символов, предназначенная для однозначной идентификации изделия в производстве и эксплуатации. |
| Изделие конечное (финальное), КИ (ФИ) | Заключительная комбинация материалов, предметов, программных и иных компонентов, способная к самостоятельному функционированию и выполнению своего назначения; является конечным продуктом, поставляемым потребителю. |
| Покупное комплектующее изделие, ПККИ | Изделие, не изготовляемое на данном предприятии, а получаемое (приобретаемое) им и используемое в производимом изделии как его составная часть. |
| Жизненный цикл [изделия], ЖЦ | Совокупность этапов, через которые проходит изделие за время своего существования. Этапы ЖЦ, как правило, устанавливаются в нормативной документации. |
| Интегрированная информационная поддержка изделий, ИПИ | Совокупность инвариантных (по отношению к продукции, предприятию, отрасли промышленности) принципов, управленческих технологий и технологий управления данными (информационных технологий), реализуемая в интегрированной информационной среде, объединяющей информационные процессы всех участников ЖЦ изделия, на основе международных стандартов, регламентирующих унифицированные модели данных и соглашения о способах обмена этими данными. |
| Интегрированная логистическая поддержка, ИЛП | Совокупность видов инженерной деятельности, реализуемых посредством управленческих, инженерных и информационных технологий, ориентированных на обеспечение высокого уровня готовности изделий (в том числе показателей, |

²⁹ В контексте данного учебного курса изделие может представлять собой достаточно сложную совокупность взаимодействующих между собой предметов, материалов и программных средств, являющуюся результатом деятельности предприятия.

| | |
|---------------------------------------|--|
| | определяющих готовность – безотказности, долговечности, ремонтпригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности и др.) при одновременном снижении затрат, связанных с их эксплуатацией и обслуживанием. |
| Стоимость жизненного цикла, СЖЦ | Приведенные к расчетному году затраты, включающие долю цены изделия, стоимость его транспортировки и монтажа, затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонты (поддержание в работоспособном состоянии) в период использования по назначению, затраты на утилизацию в конце срока службы. |
| Поддерживаемость | Свойство изделия и СТЭ, отражающее связь между коэффициентом готовности изделия и затратами, необходимыми для достижения требуемых значений коэффициента готовности. |
| Показатель поддерживаемости | Численная оценка поддерживаемости как функции параметров надежности (безотказности), ремонтпригодности, эксплуатационной технологичности, а также затрат, связанных с использованием изделия по его служебному назначению. |
| Техническая эксплуатация | Часть эксплуатации, включающая транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт изделия [ГОСТ 25866, статья 2]. |
| Система технической эксплуатации, СТЭ | Совокупность организационно-управленческой структуры, инфраструктуры и логистических ресурсов всех видов, эксплуатационной и ремонтной документации, обеспечивающая работоспособное состояние и техническую готовность изделия к использованию по назначению в течение всего ЖЦ. |
| Условия эксплуатации | Совокупность факторов, действующих на изделие при его эксплуатации [ГОСТ 25866, статья 5]. |
| Миссия | Событие, состоящее в выполнении задачи (задания), т.е. использования изделия по назначению. |
| Продолжительность миссии средняя | Средняя длительность выполнения одной миссии. |
| Логистические ресурсы | Материальные, трудовые, финансовые и иные ресурсы, необходимые для реализации процессов логистической поддержки. |
| Срок службы | Календарная продолжительность от начала эксплуатации изделия или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние. |
| Назначенный срок службы | Календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация изделия должна быть прекращена. |

| | |
|---|---|
| | цена независимо от его технического состояния. |
| Ресурс | Суммарная наработка изделия от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние [ГОСТ 27.002, статья 4.5]. |
| Назначенный ресурс | Суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация изделия должна быть прекращена независимо от его технического состояния. |
| Зонирование изделия | Разбиение крупного изделия на пространственные области (зоны), в которых размещаются системы, подсистемы, агрегаты изделия, с целью указания доступа к ним в процессе ТОиР. |
| Зональная структура изделия | Разновидность электронной структуры изделия, объектами которой являются зоны, подзоны, зоны более низкого уровня, а отношения определяют входимость этих объектов друг в друга, что отражается в соответствующих цифровых кодах. |
| Место доступа | Конструктивный элемент изделия (люк, заглушка, дверь, съемная панель и т.д.), через который обеспечивается доступ к составным частям изделия в процессе ТОиР. |
| Анализ логистической поддержки, АЛП | Формализованная технология всестороннего исследования как самого изделия, так и вариантов СТЭ, включающая согласованный разработчиком изделия и заказчиком набор задач, решаемых, как правило, с помощью компьютерных средств. |
| База данных анализа логистической поддержки, БД АЛП | База данных, содержащая информацию, получаемую и используемую в процессе АЛП изделия (исходные данные и результаты АЛП). |
| Структура изделия | Совокупность составных частей изделия и связей между ними, определяющих входимость составных частей [ГОСТ 2.053, статья 3.1.1]. |
| Функция [изделия, составной части изделия] | Описание служебного назначения изделия. |
| Конструкторская структура изделия | Комбинированная структура, содержащая как функциональные, так и конструктивные элементы (сборочные единицы, детали) и связи, отображающие отношения входимости («состоит из...», «входит в...»). |
| Конструктивный элемент | Составная часть изделия, выполняющая в нем одну или несколько функций (или участвующая в выполнении одной или нескольких функций). Конструктивный элемент может существовать как самостоятельное изделие (изделие собственного изготовления или покупное изделие) или входить в |

| | |
|---|--|
| | <p>состав конструктивного элемента более высокого уровня иерархии.</p> |
| Логистическая структура | <p>Разновидность электронной структуры изделия, создаваемая в процессе АЛП в двух формах:</p> <ul style="list-style-type: none">- логистическая структура функций (ЛСФ), создаваемая в ходе и по результатам функционального анализа изделия на основе функциональной структуры; в состав ЛСФ включаются те функции (функциональные элементы), невыполнение которых может привести к невыполнению функции конечного изделия;- логистическая структура изделия (ЛСИ), создаваемая на основе конструкторской документации и с учетом анализа видов, последствий и критичности отказов; в состав ЛСИ включаются те конструктивные элементы, которые требуют технического обслуживания, ремонта или замены в процессе эксплуатации, а также те элементы, отказ которых может привести к отказу конечного изделия. |
| Логистический контрольный номер, ЛКН | <p>Буквенно-цифровой код, однозначно идентифицирующий элемент логистической структуры функций или изделия в процессе АЛП. ЛКН используют также для идентификации компонентов вспомогательного оборудования, оборудования для обучения и средств монтажа. ЛКН формируют в соответствии с заданной для конкретного проекта структурой этого кода.</p> |
| Альтернативный логистический контрольный номер, АЛКН | <p>Код, идентифицирующий вариант исполнения или модификацию элемента структуры с конкретным ЛКН. АЛКН присваивается вариантам элемента структуры последовательно.</p> |
| Элемент логистической структуры (логистический элемент) | <p>Функциональный или конструктивный элемент изделия, выделенный для решения задач АЛП, снабженный ЛКН, а при необходимости – АЛКН.</p> |
| Критический элемент | <p>Составная часть изделия, отказ или неисправность которой влияет на безопасность изделия, приводит к неготовности изделия или невозможности выполнения им своих задач, или вызывает необходимость дорогостоящего технического обслуживания или ремонта.</p> |
| Функциональный анализ | <p>Последовательное, симптоматическое описание функций конечного изделия и его функциональных элементов, предназначенное для выявления полноты и непротиворечивости функций и оценки влияния невыполнения отдельных функций на выполнение функции конечного изделия; результатом функционального анализа являются функциональная структура и логистическая структура функций.</p> |

| | |
|---|---|
| Вид отказа элемента | Событие, заключающееся в определенном нарушении работоспособности элемента. Это нарушение характеризуется полной или частичной потерей способности выполнять одну или несколько заданных функций. |
| Функциональный отказ | Вид отказа системы, подсистемы, крупного агрегата и/или других элементов ЛСФ. |
| Конструктивный отказ | Вид отказа конструктивного элемента (сборочной единицы (узла), детали, ПКИ), являющегося элементом ЛСИ. |
| Критический отказ | Отказ системы или ее элемента, тяжесть последствий которого в пределах данного анализа признана недопустимой и требует принятия специальных мер по снижению вероятности данного отказа и/или возможного ущерба, связанного с его возникновением [ГОСТ 27.310, статья 3.6]. |
| Тяжесть последствий отказа | Качественная или количественная оценка вероятного (наблюдаемого) ущерба от отказа элемента и/или системы [ГОСТ 27.310, статья 3.4]. |
| Категория тяжести последствий отказов, КТПО | Классификационная группа, к которой относятся отказы в зависимости от тяжести их последствий. |
| Категория отказа | Классификационная группа, к которой относятся функциональные отказы в зависимости от их влияния на безопасность, эксплуатацию, экономические показатели, а так же в зависимости от того, является отказ скрытым или явным. |
| Анализ видов и последствий отказов, АВПО | Формализованная, контролируемая процедура качественного анализа проекта, технологии изготовления, правил эксплуатации и хранения, системы технического обслуживания и ремонта изделия, заключающаяся в выделении на некотором уровне разукрупнения его структуры возможных (наблюдаемых) отказов разного вида, в прослеживании причинно-следственных связей, обуславливающих их возникновение, и возможных (наблюдаемых) последствий этих отказов на данном и вышестоящих уровнях, а также – в качественной оценке и ранжировании отказов по тяжести их последствий ³⁰ [ГОСТ 27.310, статья 3.10]. |
| Критичность вида отказа | Относительное свойство вида отказа, характеризуемое категорией тяжести последствий и частотой их возникновения. |

³⁰ На практике (в особенности на ранних стадиях ЖЦ изделия) процедуру АВПО, как правило, ограничивают анализом проекта изделия.

| | |
|---|---|
| Показатель критичности отказа | Количественная характеристика критичности отказа, учитывающая его вероятность за время эксплуатации и тяжесть возможных последствий ³¹ [ГОСТ 27.310, статья 3.9]. |
| Анализ видов, последствий и критичности отказа, АВПКО | Процедура АВПО, дополненная оценками показателей критичности анализируемых отказов [ГОСТ 27.310, статья 3.11]. |
| Корректирующее действие | Действие, предпринимаемое разработчиком для устранения причины отказа, снижения вероятности его возникновения или смягчения последствий посредством доработки конструкции. К числу таких действий относятся: применение материалов с повышенными характеристиками прочности и износостойкости, резервирование, включение в конструкцию предохранительных элементов и т.д. |
| Компенсирующее действие | Действие, предпринимаемое эксплуатантом и направленное на снижение вероятности возникновения отказа. |
| Компенсирующие действия экипажа | Действия экипажа по парированию (предотвращению последствий или устранению) отказа после его возникновения/обнаружения. |
| Анализ обслуживания, обеспечивающего надежность, АООН | Системный подход к определению перечня задач планово-профилактического обслуживания изделия и/или его систем (подсистем, агрегатов) с определением периодичности выполнения этих задач, обеспечивающей требуемые показатели надежности. |
| Анализ уровней ремонта, АУР | Анализ задач обслуживания и ремонта, необходимых ресурсов и возможностей обслуживающих организаций с целью такого распределения указанных задач между этими организациями, которое обеспечивает снижение суммарных затрат. |
| Электронная эксплуатационная документация, ЭЭД | Совокупность (комплект) эксплуатационных документов по ГОСТ 2.601, выполненных в электронной форме по ГОСТ 2.601, в том числе – в виде интерактивных электронных документов по ГОСТ 2.051. |
| Общая база данных эксплуатационной документации | Автоматизированная система хранения и управления модулями данных, входящими в состав эксплуатационной документации на изделие, позволяющая по запросу получить в электронной или бумажной форме конкретный эксплуатационный документ [ГОСТ 2.601, статья 3.1.13]. |
| Модуль данных, МД | Совокупность взаимосвязанных технических сведений по эксплуатации изделия, относящихся к определенной тематике, не допускающая дальнейшего дробления на составные |

³¹ В зарубежных нормативных документах и технической литературе принят термин «число критичности» («criticality number»).

| | |
|---|---|
| | части [ГОСТ 2.601, статья 3.1.11]. |
| Стандартная система нумерации (Standard Numbering System, SNS) | Стандартизованный способ кодирования составных частей изделия, используемый при разработке эксплуатационной и ремонтной документации в соответствии с требованиями международных стандартов [АС 1.1.S1000DR-2007]. Код состоит, как правило, из трех групп символов, соответствующих иерархии составных частей изделия, построенной по принципу «система-подсистема-агрегат». |
| Перечень необходимых модулей данных (Data module requirements list, DMRL) | Документ, содержащий список модулей данных, требующихся для конкретного проекта. Перечень применяют при планировании, составлении отчетов, управлении разработкой и конфигурацией документации, особенно при параллельном выполнении работ по созданию ЭЭД. Перечень может создаваться сразу целиком или по частям с последующим объединением таких частей в единый перечень. |
| Код модуля данных (Data module code, DMC) | Стандартизованный структурированный адрес, который используется для включения модулей данных в общую БД эксплуатационной документации, поиска и получения к ним доступа. |
| Публикация | Обобщающий термин, описывающий представление комплекта модулей данных, сформированных, например, в руководство, перечень, каталог и т.п., для конкретного изделия, независимо от способа представления. |
| Каталог деталей и сборочных единиц | Документ, содержащий структурированный (как правило, в соответствии с функциональной структурой изделия) перечень деталей, сборочных единиц, комплексов, комплектов, сведения об их количестве, расположении в изделии, взаимозаменяемости, конструктивных особенностях и т.д., обычно снабжаемый необходимыми иллюстрациями. |
| Иллюстрация | Графическое представление изделия (составной части изделия) или процесса. Включает чертежи (как правило, упрощенные), трехмерные модели, диаграммы, схемы, графики и фотографии. Если графическое представление не может быть показано в пределах установленной области воспроизведения, оно может быть разбито на два и более листов (листы иллюстрации). |
| Интерактивная электронная техническая публикация, ИЭТП | Форма выполнения электронного технического документа, представляющая набор информации, необходимой для описания изделия, процессов его эксплуатации (включая техническое обслуживание), организованной и отформатированной для интерактивного представления конечному пользователю на экране дисплея с помощью электронной системы |

| | |
|-----------------------------|--|
| | отображения. |
| Планирование начального МТО | Определение в процессе проектирования изделия комплекта запасных частей и расходных материалов, необходимых для поддержки его функционирования в начальный период эксплуатации, когда процесс текущего МТО по тем или иным причинам еще не налажен. |
| Перечень начального МТО | Полученный в результате планирования начального МТО документ, содержащий номенклатуру запасных частей, расходных материалов и их количество по каждой позиции номенклатуры. |
| Планирование текущего МТО | Определение потребности в запасных частях и расходных материалах по окончании периода начального МТО, установление календарных сроков их заказа и поставки. Основные параметры текущего МТО (средние прогнозируемые потребности) определяются расчетами, выполняемыми в процессе АЛП, и затем корректируются в зависимости от фактических условий эксплуатации и ТОиР изделия. |
| Управление МТО | Совокупность процедур, обеспечивающих формирование и подачу заявок на поставку предметов МТО, своевременное и гарантированное поступление, управление запасами и выдачей материальных ресурсов в течение всего ЖЦ изделия и в соответствии с планами его эксплуатации и ТОиР. |
| Предмет снабжения | Изделие, его составная часть, комплектующее изделие, материал, вспомогательное оборудование, инструмент, принадлежности, являющиеся предметами самостоятельного заказа и поставки заказчику. Является видом материального логистического ресурса. |
| Код организации | Код, идентифицирующий организацию-изготовителя (поставщика), или организацию, выступающую в роли поставщика. Эта организация присваивает изделию обозначение, уникальное в пределах этой организации. В совокупности код организации и обозначение изделия должны уникально идентифицировать изделие. |
| Планирование ТОиР | Процесс разработки и развития концепции и программы технического обслуживания и ремонта. Включает назначение целей, состава работ и прогноз потребности в ресурсах (материальных, трудовых, финансовых), необходимых для выполнения работ на различных организационно-технических уровнях. |
| Управление ТОиР | Процесс составления планов-графиков выполнения работ по ТОиР, формирования заданий на выполнение работ, определения требуемых ресурсов (по номенклатуре и количеству), |

| | |
|--|---|
| | а также контроль и ведение отчетности о выполнении работ, расходовании материальных и иных ресурсов (в т.ч. учет выполненных замен изделий и агрегатов, отслеживание их движения и т.д.). |
| Уровень ТОиР | Предприятие (организация, подразделение и т.п.), обладающее совокупностью оборудования, инструментов, инфраструктуры и персонала с необходимыми квалификационными навыками, позволяющей выполнять определенные типы работ по техническому обслуживанию/ремонту изделия. |
| Задача технического обслуживания | Данные, описывающие выполнение конкретной работы по ТО, изложенные в логической последовательности от начала до конца, шаг за шагом. |
| Конструктивно-сменный узел (Line Replaceable Unit, LRU) | Конструктивный элемент (как правило, ПКИ), который может быть заменен непосредственно на изделии. |
| Узел цеховой замены (Shop Replaceable Unit, SRU) | Конструктивный элемент, который невозможно заменить непосредственно на изделии. |
| Инструмент специальный | Общий термин, охватывающий те ручные инструменты или другие приспособления, которые изготовлены специально для того, чтобы эффективно выполнить определенную задачу обслуживания. |
| Инструмент стандартный | Общий термин, включающий в себя стандартный ручной инструмент, такой как отвертки, гаечные ключи, плоскогубцы и т.п., который не требует специальной идентификации. Как правило, такой инструмент представляет собой часть набора инструментов, поставляемого вместе с изделием. |
| Программное обеспечение | Совокупность информации (данных) и программ, которые обрабатываются компьютерной системой. |
| Средства обслуживания | Универсальные и специальные технические средства для технического обслуживания изделия (лестницы, подъемники, домкраты и т.д.). |
| Упаковывание, погрузочно-разгрузочные операции, хранение и транспортирование | Совокупность процессов и процедур, ресурсов, конструкторских решений и методов обеспечения должного качества защиты изделия от неблагоприятных внешних воздействий, упаковывания, выполнения погрузочно/разгрузочных операций и транспортирование изделия, его составных частей и оборудования поддержки. |
| Упаковка | Средство или комплекс средств, обеспечивающих защиту продукции от повреждения и потерь, от загрязнений, а также |

| | |
|--|---|
| | обеспечивающих процесс обращения продукции. |
| Хранение | Кратковременное или долговременное содержание изделий во временных и/или постоянных сооружениях. |
| Срок хранения | Календарная продолжительность хранения, при достижении которой хранение объекта должно быть прекращено независимо от его технического состояния. |
| Транспортирование | Перемещение изделия на значительное расстояние посредством буксировки, самоходом или при помощи транспортных средств по автодороге, железной дороге, воздушными или водными путями. |
| Транспортное средство | Техническое средство, с помощью которого транспортируется изделие. |
| Мониторинг процесса эксплуатации изделия | Сбор и анализ данных о ходе эксплуатации изделия и событиях, происходящих с изделием в процессах эксплуатации и ТОиР (наработка, изменения в составе изделия, изменения характеристик изделия и его составных частей, отказы и их устранение и т.д.). |
| Мониторинг процессов технического обслуживания | Осуществляемый с определенной периодичностью контроль показателей функционирования СТЭ и их сопоставление с планируемыми показателями, к числу контролируемых показателей могут относиться длительность и трудоемкость обслуживания, длительность простоев изделия по организационным причинам, фактический расход материальных ресурсов (оценка их избытка и/или дефицита), фактические финансовые затраты на выполнение ТОиР и т.д.; результаты мониторинга СТЭ могут использоваться для корректировки концепции, программы и текущих планов ТОиР, планов МТО, потребностей в трудовых ресурсах, а также оценки свойств СТЭ, оказывающих наиболее сильное влияние на СЖЦ изделия. |
| Система ИЛП | Информационно интегрированная организационно-техническая система, предназначенная для скоординированной реализации всех видов деятельности по ИЛП конкретного изделия (или группы изделий схожего назначения). |
| Обмен электронными данными | Процесс приема/передачи в автоматизированной форме предопределенных структурированных данных между двумя и более информационными системами. |

Литература

1. Судов Е.В., Левин А.И., Давыдов А.Н., Барабанов В.В., Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». – М., 2002.
2. Левин А.И., Судов Е.В., CALS – сопровождение жизненного цикла. «Открытые системы», март 2001, стр.58-62.
3. Левин А.И., Судов Е.В., Концепция и технологии компьютерного сопровождения процессов жизненного цикла продукции / В кн. Информационные технологии в наукоемком машиностроении. Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. Под ред. А.Г.Братухина. Киев: Техника, 2001, стр. 612-625.
4. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели.– М.: ООО Издательский дом «МВМ», 2003. – 264 с.
5. DEF STAN 00-60. Integrated Logistic Support. Стандарт министерства обороны Великобритании.
6. NATO Product Data Model.
7. ASD S2000M. Международная спецификация на процедуры управления материально-техническим снабжением при сопровождении авиационной и аэрокосмической техники военного назначения.
8. ГОСТ Р 5XXXX-200*. Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения. (Проект).
9. ГОСТ Р 5XXXX-200*. Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Основные положения. (Проект).
10. ГОСТ Р 5XXXX-200*. Интегрированная логистическая поддержка. Основные термины и определения. (Проект).
11. ГОСТ 28056-89. Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику. Построение, изложение, оформление и содержание программ технического обслуживания и ремонта.
12. Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.В., Чубарова Е.В., Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения. –М., 2003.
13. ASD S1000D. Международная спецификация по подготовке технически публикаций с использованием общей базы данных.
См.также: АС 1.1.S1000DR-2007. Авиационный справочник (ASD S1000D на русском языке).
14. ГОСТ 2.610. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов.
15. ГОСТ 2.601-95. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

16. ГОСТ 2.602-95. Единая система конструкторской документации. Ремонтные документы.
17. ГОСТ 2.051-2006. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.
18. ГОСТ 2.503-90. Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений.
19. ГОСТ 2.603-68. Единая система конструкторской документации. Внесение изменений в эксплуатационную и ремонтную организацию.
20. http://unesco.kemsu.ru/study_work/method/bd/DDBS_5.pdf.
21. Сиха Багуи. Объектно-ориентированные базы данных: достижения и проблемы. «Открытые системы», март 2004.
22. ГОСТ Р ИСО 10303-11-2000. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 11. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS.
23. ГОСТ 2.053-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения.
24. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
25. ATA MSG-3. Руководство по разработке программ технического обслуживания.
26. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
27. MIL-STD-1390 D. Level of Repair Analysis.