



**Научно-исследовательский центр
CALS-технологий
«Прикладная логистика»
(Автономная некоммерческая организация)**

М Е Т О Д И Ч Е С К И Е У К А З А Н И Я

**РУКОВОДСТВО ПО ПРОВЕДЕНИЮ
АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ
ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

Москва, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения	5
Введение	7
1 Основные задачи и этапы анализа логистической поддержки	8
1.1 Общие сведения	8
1.2 Задачи АЛП	9
1.3 Основные этапы и исполнители АЛП	13
2 Планирование и управление процессом АЛП	15
2.1 Разработка документа «Стратегия АЛП»	15
2.2 Разработка документа «План АЛП»	16
2.3 Формирование проекта АЛП. Описание сценария использования изделия по назначению	17
3 Формирование логистической структуры изделия и логистической структуры его функций	21
3.1 Общие указания	21
3.2 Методика формирования ЛСИ	21
Связь логистических структур с конструкторской структурой изделия в PDM-системе	21
Выбор элементов-кандидатов на АЛП	23
Общие принципы построения ЛСИ	24
Пример формирования ЛСИ	25
Типы ЭК	27
Правила включения ЭК в ЛСИ	27
Назначение ЛКН элементам ЛСИ	29
3.3 Методика формирования ЛСФ	30
Общие указания	30
Формирование ЛСФ	31
Назначение ЛКН элементам ЛСФ	33
3.4 Установление связей между элементами ЛСФ и ЛСИ	33
Виды связей	33
Описание функций и определение доли времени работы элементов	34
4 Анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО)	36
4.1 Общие указания	36
4.2 Описание структуры изделия	37
4.3 Кодирование видов отказов и классификация последствий отказа	38
4.4 Порядок выполнения АВПКО	39
Общие сведения	39
Анализ видов и последствий отказов	39
Качественный и количественный анализ критичности	41
5 Формирование требований к плановому техническому обслуживанию изделия	47
5.1 Общие указания	47

5.2	Методика логического анализа при формировании плана ТО	49
5.2.1	Общие положения	49
5.2.2	Первый уровень анализа	57
5.2.3	Второй уровень анализа	60
5.2.4	Третий уровень анализа	68
5.3	Методика выбора периодичности работ по ТО	79
5.3.1	Общие принципы.....	79
5.3.2	Определение периодичности ТО систем, силовой установки и вспомогательной силовой установки.....	79
5.3.3	Методические рекомендации по определению периодичности контроля предотказного состояния элементов ФС.....	84
5.3.4	Определение периодичности ТО конструкции планера	85
5.3.5	Определение периодичности зонных осмотров	86
5.3.6	Группировка выбранных работ в плановые виды ТО.....	86
5.4	Методика планирования ТО по MSG-3	86
5.4.1	Выбор объекта анализа.....	87
5.4.2	Порядок анализа	87
5.4.3	Первый уровень диаграммы (определение категории отказа).....	91
5.4.4	Второй уровень диаграммы (определение состава работ).....	93
6	Методика расчета параметров материально-технического обеспечения (МТО).....	97
6.1	Общие указания	97
6.2	Методика расчета оптимального количества запасных частей для устранения случайно возникающих отказов.....	97
7	Разработка регламентов и технологий ТО в процессе АЛП	102
7.1	Общие указания	102
7.2	Формирование состава работ по ТО.....	102
7.3	Формирование плановых видов ТО (процедур обслуживания).....	103
7.4	Разработка технологий выполнения работ по ТО.....	104
8	Подготовка данных для разработки эксплуатационной документации.....	108
9	Расчет стоимости жизненного цикла изделия	114
9.1	Общие указания	114
9.2	Методика расчета затрат на техническую эксплуатацию	114
10	Методические указания по расчету коэффициента готовности воздушного судна.....	126
11	Отчеты из базы данных АЛП.....	130
12	Порядок проведения АЛП	132
12.1	Общие указания	132
12.2	Организация работ по этапам АЛП	135
12.3	Справочники и классификаторы.....	148
	Общие указания.....	148
	Справочник организаций	149
	Справочник компонентов и запчастей	149
	Справочник стандартных изделий и расходных материалов	151
	Справочник средств наземного обслуживания и инструмента	152
	Справочник специальностей и квалификаций.....	152
	Справочник инфраструктуры, необходимой для обслуживания	153
	Справочник зон и мест доступа	153

Справочник по структуре ТО	154
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	155
Определение периодичности выполнения работ по ТО	155
1. Общие указания	155
2. Приближенная методика расчета периодичности ТО	155
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	161
Пример выполнения АЛП с использованием программного продукта LSA Suite	161
Создание проекта АЛП. Описание сценария использования	162
Построение логистических структур. Функциональный анализ	164
Ввод параметров надежности	173
АВПКО	175
Разработка программы планового обслуживания по методике MSG-3	183
Расчет рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ	186
Разработка структуры работ по ТО	188
Формирование перечня поставляемых запчастей и расчет параметров МТО	191
Расчет затрат на техническую эксплуатацию	194
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	196
Перечень терминов	196
Список использованных источников	203

Сокращения

В данных методических указаниях приняты следующие сокращения:

АВПКО	Анализ видов, последствий и критичности отказов.
АВПО	Анализ видов и последствий отказов.
АК	Анализ критичности.
АЛП	Анализ логистической поддержки.
АС	Аварийная ситуация.
АТ	Авиационная техника.
БД	База данных.
БП	Без последствий.
БСК	Бортовые средства контроля.
БНКТ	Безопасность полета, надежность, контролепригодность, эксплуатационная и ремонтная технологичность
ВС	Воздушное судно.
ЖЦ	Жизненный цикл.
ИКДС	Иллюстрированный каталог деталей и сборочных единиц.
ИЛП	Интегрированная логистическая поддержка.
КАФИ	Код-акроним финального изделия.
КИ	Конечное изделие.
КС	Катастрофическая ситуация.
КСБ	Конструктивно-сменный блок (Line Replaceable Unit, LRU, - элемент, заменяемый на борту ВС).
КСЕ	Конструктивно-сменная единица (Shop Replaceable Unit - элемент в составе КСБ, заменяемый после демонтажа последнего с борта ВС).
КТПО	Категория тяжести последствий отказа.
ЛКН	Логистический контрольный номер.
ЛСИ	Логистическая структура изделия.
ЛСФ	Логистическая структура функций.
МД	Модуль данных.
МТО	Материально-техническое обеспечение.
ПКИ	Покупное комплектующее изделие.
РМБП	Разработка мероприятий, направленных на обеспечение безопасности полета.
РМРП	Разработка мероприятий, направленных на снижение влияния отказа на регулярность полетов (изменение плана полета).
РМЗВ	Разработка мероприятий, направленных на снижение влияния отказа на регулярность вылетов.
РМКР	Разработка мероприятий, направленных на обеспечение возможности контроля работоспособности системы или компонен-

	та при ТО.
РМКИ	Разработка мероприятий, направленных на обеспечение возможности контроля исправности компонента при ТО.
РМПР	Разработка мероприятий, направленных на обеспечение возможности профилактических работ при ТО.
РМВИ	Разработка мероприятий, направленных на обеспечение возможности восстановления исправности компонента при ТО.
СЖЦ	Стоимость жизненного цикла.
СНО	Средства наземного обслуживания.
СНО ОП	СНО общего применения.
СНО СП	СНО специального применения.
СПИ	Специальный инструмент.
СС	Сложная ситуация.
ССН	Стандартная система нумерации.
СТЭ	Система технической эксплуатации.
СТИ	Стандартный инструмент.
ТМПО	Типовой минимальный перечень (Master Minimum Equipment List, MMEL).
ТО	Техническое обслуживание.
ТОиР	Техническое обслуживание и ремонт.
ТЭ	Техническая эксплуатация.
ТЭО	Техническая эксплуатация до отказа.
ТЭП	Техническая эксплуатация до предотказного состояния.
ТЭР	Техническая эксплуатация по ресурсу.
УУП	Усложнение условий полета.
ФИ	Финальное изделие.
ФС	Функциональная система .
ЭД	Эксплуатационная документация.
ЭК	Элемент-кандидат.
ЭЛД	Элемент данных.
ЭТ (РТ)	Эксплуатационная (ремонтная) технологичность.
ЭТХ	Эксплуатационно-технические характеристики.
ЭЭД	Электронная эксплуатационная документация.

Введение

Настоящий документ содержит методические указания разработчику авиационной техники по выполнению анализа логистической поддержки изделий АТ. Методические указания содержат следующие основные разделы:

- **Основные задачи и этапы выполнения АЛП**, в том числе общие сведения об организации и проведении АЛП;
- **Указания по решению задач АЛП**, в том числе рекомендации по выполнению конкретных задач АЛП;
- **Порядок выполнения АЛП**, в том числе последовательность действий или типовой сценарий проведения АЛП;
- **Пример выполнения АЛП**, содержащий основные приемы, иллюстрации и результаты выполнения АЛП с использованием программного средства LSA Suite.

Методические указания предназначены, в основном, для специалистов предприятий – разработчиков и изготовителей покупных и иных комплектующих изделий для АТ, при проведении ими работ по обеспечению эксплуатационно-технических характеристик и послепродажному обеспечению эксплуатации своей продукции. Вместе с тем, данные МУ могут быть полезны и эксплуатантам АТ.

1 Основные задачи и этапы анализа логистической поддержки

1.1 Общие сведения

Анализ логистической поддержки представляет собой многопрофильную инженерную дисциплину, целью которой является обеспечение заданных требований в отношении комплекса ЭТХ изделия АТ (в том числе показателей надежности, отказобезопасности, контролепригодности, эксплуатационной и, при необходимости, ремонтной технологичности) и интегрального показателя - коэффициента готовности при одновременном сокращении затрат, т.е. СЖЦ (в первую очередь – затрат на послепродажных стадиях ЖЦ). Целевыми функциями АЛП в рамках конкретных проектов могут являться:

- минимизация СЖЦ при заданном значении коэффициента готовности;
- максимизация коэффициента готовности при заданных ограничениях на СЖЦ.

Первая постановка характерна для АТ гражданского назначения, вторая – для военной АТ.

В [1] в качестве комплексного показателя эффективности изделия и системы его технической эксплуатации предлагается использовать показатель «пригодности к поддержке» (supportability) или, короче, показатель «поддерживаемости». В книге [18] этот показатель предложено оценивать как отношение коэффициента готовности к затратам.

Согласно принятым в международной практике стандартам АЛП проводится, начиная с этапа определения требований к изделию (научно-исследовательская разработка (НИР), разработка аванпроекта), и продолжается до завершения использования изделия (снятия с производства и/или эксплуатации), что 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 охватывает следующие основные направления:

- разработка стратегии, планирование и управление процессом АЛП;
- анализ конструкции изделия в процессе ее разработки с целью выработки рекомендаций по обеспечению (и повышению, при необходимости) надежности, эксплуатационной и ремонтной технологичности и, в конечном счете, всего комплекса ЭТХ изделия и, как следствие, показателя поддерживаемости;
- разработка и анализ вариантов построения системы технической эксплуатации изделия, обеспечивающих заданные требования в отношении СЖЦ, ЭТХ, коэффициента готовности и показателя поддерживаемости;
- анализ взаимодействия изделия и СТЭ с целью выявления такого сочетания их характеристик, которое удовлетворит заданным требованиям;
- контроль значений ЭТХ изделия и затрат в процессе эксплуатации и выявление факторов, негативно влияющих на эти показатели.

1.2 Задачи АЛП

Согласно принятым в международной практике стандартам (см., например, [1]) АЛП предназначен для решения совокупности взаимосвязанных задач (таблица 1)¹.

Таблица 1. Перечень задач АЛП

Группа задач	Назначение группы задач	Задачи
100 Планирование АЛП и контроль за его проведением.	Обеспечение скоординированных и документированных действий по планированию АЛП и экспертизе результатов работ.	101 Разработка стратегии АЛП.
		102 Разработка плана АЛП.
		103 Контроль за ходом АЛП и обеспечением заданных требований.
200 Изучение условий эксплуатации и формирование требований к изделию и системе его ТЭ	Формирование требований к ЭТХ и системе послепродажного обеспечения эксплуатации изделия на основе прогнозирования ЭТХ, условий эксплуатации и 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 по совершенствованию ЭТХ изделия и системы его ТЭ.
		205 Уточнение требований к ЭТХ и СТЭ изделия, а также требований к уровню затрат на ТЭ и, при необходимости, требований к показателю подерживаемости.
300 Анализ вариантов конструкции изделия, построения системы его ТЭ и взаимодействия изделия и СТЭ.	Обеспечение рационального баланса затрат и уровня ЭТХ.	301 Определение функциональных требований к конструкции изделия (функциональный анализ).
		302 Разработка вариантов концепции и плана ИЛП изделия.
		303 Анализ альтернатив и компромиссов.

¹ В отечественной практике подобный круг задач принято решать в рамках обеспечения ЭТХ изделия на основе разработки и реализации Комплексных программ обеспечения ЭТХ (или БНКТ - безопасности, надежности, контролепригодности, технологичности эксплуатационной и ремонтной) [5].

Группа задач	Назначение группы задач	Задачи
400 Определение потребностей в логистических ресурсах.	Определение требований к ресурсам, используемым в СТЭ изделия (материальным, трудовым и т.д.).	401 Обоснование состава работ по ТО изделия
		402 Предварительный анализ проблем и затрат на освоение эксплуатации изделия.
		403 Анализ потребных ресурсов для послепродажного обеспечения эксплуатации изделия.
500 Контроль ЭТХ изделия на этапах разработки и в эксплуатации.	Проверка выполнения заданных требований и устранение недостатков.	501 Контроль выполнения требований в отношении ЭТХ и СЖЦ при разработке изделия. 502 Контроль выполнения требований в отношении ЭТХ и СЖЦ при эксплуатации изделия.

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 изменения конструкции изделия по результатам АЛП;
- возможности изменения СТЭ изделия по результатам АЛП;
- наличия и достоверности исходных данных;
- стадии 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 ЭТХ изделия и систему его ТЭ. При этом задачи АЛП выполняются полностью или частично.

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

Основное отличие технологий АЛП от традиционных для отечественной авиационной промышленности методов и технологий обеспечения ЭТХ состоит в том, что 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. Следует отметить, что уточнение результатов АЛП для конкретного заказчика возможно только в том случае, если на ранних стадиях разработки изделия был выполнен основной объем базовых работ по АЛП и подготовлена БД АЛП для типового сценария эксплуатации.

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.

Практически каждая задача АЛП 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 большие 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. Однако даже при этом, вследствие сказанного выше, полномасштабное решение всего комплекса задач АЛП 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 [3]. Задачи из этого перечня применимы к любым видам техники, допускают четкую формализацию и при наличии соответствующих программных средств могут выполняться в автоматизированном режиме.

В последующих разделах МУ 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 использования изделия по назначению.	200
4.	Выбор элементов-кандидатов на АЛП и создание логистической структуры изделия.	200
5.	Функциональный анализ изделия. Создание логистической структуры функций. Установление	300

№ п/п	Наименование задачи	Относится к группе задач по таблице 1
	связей между элементами ЛСФ и ЛСИ.	
6.	Определение и ввод в БД АЛП параметров надежности и ЭТ изделия.	300
7.	Анализ видов, последствий и критичности отказов.	300
8.	Формирование плана ТО изделия, в том числе обоснование состава плановых работ по ТО и определение их рекомендуемой периодичности.	300
9.	Разработка технологий для выбранных работ планового и непланового ТО изделия.	400
10.	Оценка потребностей в запасных частях и расходных материалах на заданный период эксплуатации. Подготовка перечней и каталогов запчастей и расходных материалов.	400
11.	Оценка потребностей в средствах наземного обслуживания и контроля, инструментах и принадлежностях.	400
12.	Подготовка исходных материалов для разработки эксплуатационной документации на изделие.	
13.	Оценка затрат на ТО, коэффициента готовности изделия в заданных условиях эксплуатации и других показателей ЭТХ в соответствии с заданными требованиями на этапе разработки.	500
14.	Контроль затрат на ТО, готовности изделия в заданных условиях и других показателей ЭТХ в соответствии с заданными требованиями на этапе эксплуатации.	500
15	Разработка документа «План ИЛП».	300

Примечания:

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 для информационной интеграции технологии АЛП с другими технологиями ИЛП.
3. Определения понятий логистических структур и различных видов анализа приведены в Приложении 3.
4. Перечни и каталоги (задача 10) формируются как отчеты из БД АЛП.

АЛП – неотъемлемая часть разработки, изготовления и эксплуатации изделия. В связи с этим при внедрении процессов (технологий) ИЛП и АЛП на предприятии необходимо создать организационные структуры для проведения соответствующих работ, разработать или приобрести средства методического, программного и технического обеспечения.

1.3 Основные этапы и исполнители АЛП

Процесс АЛП можно условно разделить на подготовительный, основной и заключительный этапы.

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

На основном этапе решают задачи 4-13 из минимального перечня.

На заключительном этапе решают задачи 14 и 15, причем задача 14 позволяет оценить эффективность решений, принятых по результатам реальной эксплуатации изделия в рамках его СТЭ.

Такое деление условно, 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 изделий и материалов, а также инженерный персонал заказчика. Часть задач выполняется объединенными рабочими группами, включающими представителей заказчика и главного подрядчика. Изделие, разрабатываемое главным подрядчиком, являющееся целью всего проекта и конечным продуктом для эксплуатанта, в контексте ИЛП называется **Финальным изделием (ФИ)**. Каждый субподрядчик проводит АЛП для своего изделия, являющегося компонентом ФИ. С точки зрения субподрядчика разрабатываемое им изделие называется **Конечным изделием (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 плановый ремонт и т.д.

Подрядчик, как правило, выполняет в рамках АЛП следующие функции:

- разработка и согласование с заказчиком стратегии и планов АЛП, в том числе полного перечня задач АЛП, подлежащих решению, сроков выполнения соответствующих работ и потребных ресурсов (финансовых и трудовых);
- подготовка и согласование с заказчиком распределения обязанностей по выполнению АЛП (перечни задач, решаемых подрядчиком, заказчиком и объединенными рабочими группами);
- решение задач АЛП, предусмотренных перечнями;
- предоставление заказчику информации для выполнения АЛП в части, предусмотренной соответствующим перечнем, и контроль хода АЛП;
- решение, при необходимости, дополнительных задач АЛП помимо задач, указанных в плане АЛП и соответствующих перечнях;

- организация работы субподрядчиков по проведению АЛП.

Заказчик, как правило, выполняет в рамках АЛП следующие функции:

- 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 назначению². Этот документ содержит технические и экономические данные, касающиеся организации эксплуатации изделия и требования к функционированию изделия, в том числе:

- схема применения (сценарий), средняя продолжительность использования нового изделия по назначению (типового полета)³;
- взаимодействие с другими системами;
- среда функционирования;
- имеющиеся трудовые ресурсы и ограничения и т.д.

Эта информация в дальнейшем используется при решении большинства задач из минимального перечня.

² По терминологии, принятой в зарубежных документах, в частности, в [1], такой документ носит название «Use study» - «изучение использования» (буквальный перевод).

³ По терминологии, принятой в зарубежных документах, в частности, в [1], - миссии изделия.

2 Планирование и управление процессом АЛП

2.1 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 ЭТХ, коэффициента готовности и СЖЦ изделия;
- методики расчетной оценки показателей ЭТХ, коэффициента готовности и СЖЦ изделия;
- 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 предполагаемых функций и конструкции разрабатываемого изделия, концепции ТО изделия, результаты предварительной оценки его надежности, 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, требующие 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:

- результаты 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.

2.2 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 выполнения задач АЛП с графиками других работ по проекту;
- описание информационных взаимосвязей АЛП с другими процессами проекта;
- предварительный перечень элементов структуры изделия (элементов-кандидатов, ЭК), в отношении которых будет проводиться АЛП, предложения по системе кодирования элементов;
- описание способов доведения требований к ЭТХ, коэффициенту готовности и СЖЦ изделия 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 ЭТХ, коэффициент готовности и СЖЦ изделия, рекомендаций и мер по улучшению конструкции;
 - краткое описание программных средств, которые будут использоваться для проведения АЛП;
 - описание БД АЛП и системы управления этой БД.

План АЛП подлежит периодической корректировке. Основанием для изменений и уточнений могут служить:

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

Исходными данными для разработки плана АЛП являются:

- стратегия АЛП;
- требования заказчика;
- предложения заказчика по организации проведения АЛП;
- период, на который разрабатывается план АЛП (по согласованию между заказчиком и подрядчиком);
- требования к ЭТХ, коэффициенту готовности и СЖЦ изделия (из контракта, технического задания, общих требований и т.п.);
- планируемый общий график работ по проекту.

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

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.

2.3 Формирование 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 АЛП⁴ создают в БД АЛП новый раздел – проект АЛП «Финальное изделие ХХХ⁵» (ФИ) (далее «Проект АЛП») и вносят в него следующие данные (в том числе – из указанных выше документов):

- обозначение ФИ (код-акроним финального изделия – КАФИ (ЭД 0650)⁶);
- полное наименование ФИ (ЭД 0660);
- анализируемая версия ФИ (если известна) (ЭД 4670);
- структура ЛКН (ЭД 1620, 1630);
- другая необходимая информация.

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

- идентификационные атрибуты заказчика (наименование (ЭД 0020), код (ЭД 0010), адрес (ЭД 0030) и т.д.);
- идентификатор поставляемой конфигурации (код конфигурации (ЭД 3800));
- описание условий поставки;
- номер контракта (ЭД 0700);
- период начального МТО (ЭД 0710);
- валюта поставки (ЭД 0720);
- и др.

На рис. 1 приведен пример экранной формы «Проект АЛП»⁷.

Для целей АЛП ФИ разбивается на отдельные крупные системы (например, в соответствии с положениями стандарта [6]). 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 вносят в БД АЛП, в том числе:

- наименование сценария (ЭД 0750);
- описание сценария (ЭД 0760);
- количество ФИ, эксплуатируемых по сценарию (ЭД 0770);
- географический район эксплуатации (ЭД 0780);
- единицы измерения наработки;
- коэффициент для перевода наработки в часы (календарного времени) (ЭД 0730);
- средняя наработка в год (ЭД 0790);
- описание полета (ЭД 0800);

⁴ Подразделение АЛП – подразделение, отвечающее за выполнение АЛП в целом и поддержание БД АЛП.

⁵ ХХХ, как правило, совпадает с кодом-акронимом финального изделия (КАФИ).

⁶ Здесь и дальнейшем в скобках указываются номера соответствующих элементов данных, приведенных в Словаре данных АЛП.

⁷ Здесь и в дальнейшем в качестве иллюстративных примеров приведены экранные формы и их фрагменты, заимствованные из программного продукта LSA Suite (LSS)

- этапы полета (ЭД 0830, 0840);
- средняя наработка за полет (ЭД 1600);
- количество полетов в год (ЭД 0810);
- и др.

Кодирование элементов		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Структура ЛКН ЛСФ:		3	2	2	2	2	2	2	2	2
Структура ЛКН ЛСИ:		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Структура функций:	ЛКН F21	2	1	2	2	2	2	2	2	2
Структура изделия:	ЛКН 21									

Рис. 1. Пример экранной формы для ввода данных Проекта АЛП

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, представлен на рис. 2⁸.

Значения параметров «Средняя наработка в год» (W), «Количество полетов в год» (N) и «Средняя продолжительность полета» (T) связаны очевидной зависимостью:

$$W = T * N$$

⁸ Поскольку приведенная форма может использоваться для различных видов техники, в ней для обозначения факта использования изделия по назначению (полета) применяется термин «миссия», а этапы полета обозначены как «фазы миссии» [1].

Проект

- Данные о проекте
- Сценарий использования

Логистическая...

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

АВПО

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

ТОиР

- Периоды обслуживания

Сценарий

Наименование: Базовый

Описание:

Количество КИ, эксплуатируемых по сценарию (шт): 5

Географический район эксплуатации: E :: Европа

Коэффициент условий эксплуатации: 1

Средняя наработка в год, летный час: 3000 рассчитывается

Длительность административных простоев в год (ч): 0

Время нахождения в резерве в год (ч): 0

Миссия

Наименование: Полет по маршруту

Количество в год (шт): 1 Средняя продолжительность, летный час: 3000

Фазы миссии

Импорт Экспорт + Добавить Изменить X Удалить

№	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	Сюжение	6

Готово

Рис. 2. Пример экранной формы для ввода данных о сценарии использования изделия

3 Формирование логистической структуры изделия и логистической структуры его функций

3.1 Общие указания

Задача создания ЛСИ является 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 [13]), то обязательным участником этого процесса должен быть конструктор. При этом особенности отдельных систем ВС 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, безопасности и эксплуатации ВС, так как именно они будут в дальнейшем использовать ЛСФ для проведения АВПКО и решения ряда других задач. 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 ВС и специалистов по запчастям.

3.2 Методика формирования ЛСИ

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.

ЛСИ формируется на базе конструкторской структуры и представляет собой её подмножество, включающее только элементы-кандидаты (ЭК) на АЛП (рис. 3). 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 (ЭД 3050) и имеющим общее место доступа (ЭД 3060).

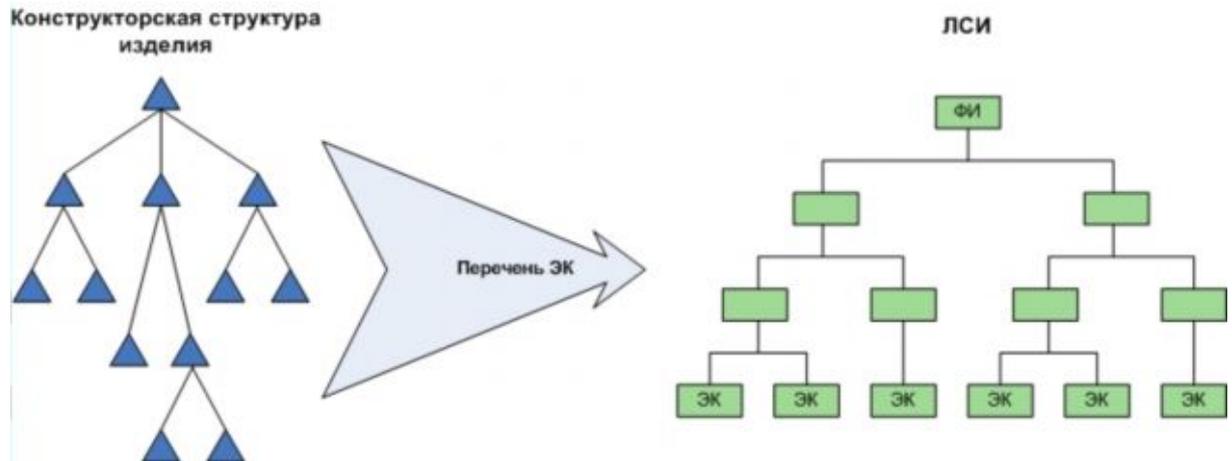


Рис. 3. Формирование ЛСИ из конструкторской структуры изделия

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.

Основным источником сведений о конструкции и составе изделия, обеспечивающим целостность и непротиворечивость данных, является PDM-система. 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.

Ниже рассмотрен пример обмена данными между PDM-системой и системой АЛП.

1. В PDM-системе формируется структура ССН, в соответствии с рядом нормативных документов (см., например, [6]). На рис. 4 представлена часть структуры ССН объектов системы кондиционирования воздуха (СКВ).

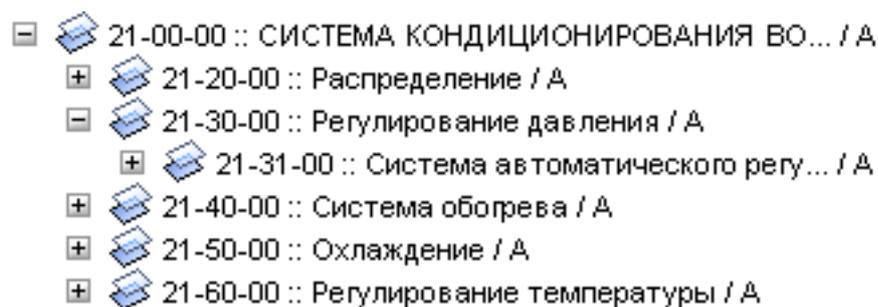


Рис. 4. Часть структуры ССН СКВ

2. Из конструкторской структуры изделия выбираются ЭК на АЛП, которые группируются по системам (подсистемам) в соответствии с ССН. При этом конструкторские изделия связываются с соответствующими элементами структуры ССН (рис. 5). Таким образом формируется ЛСИ

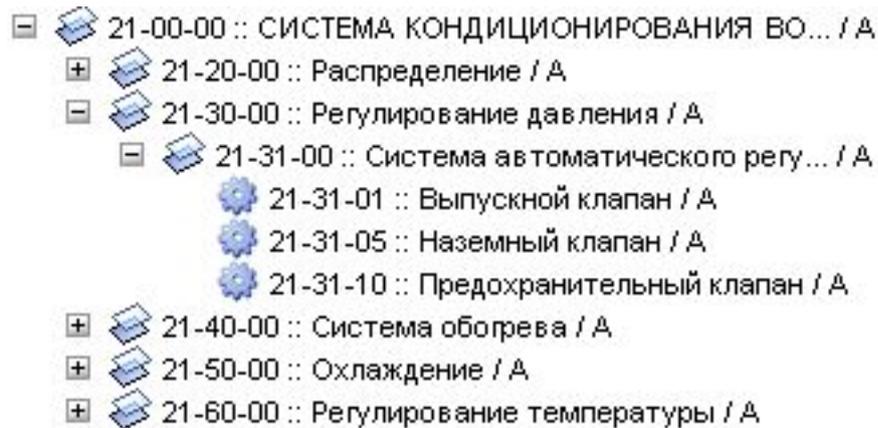


Рис. 5. Фрагмент ЛСИ СКВ

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

Выбор элементов-кандидатов на АЛП

В перечень ЭК вносят компоненты, для которых конструкцией предусмотрена возможность снятия с ВС (или с узла ВС) 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 ВС;
- 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**⁹ 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 ис-

⁹ Уровень обслуживания (в англоязычной литературе: *maintenance level*) – тип структуры или организации, обслуживающей ФИ. По [1] в авиации используют трехуровневую систему обслуживания. На первом уровне (1-я линия или эксплуатационный уровень) находится технический экипаж ВС 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.

ключают компоненты, не отвечающие выбранным критериям. Для проектов АЛП, начавшихся на более поздних стадиях ЖЦ (технический проект, разработка рабочей конструкторской документации (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.

Общие принципы построения ЛСИ

ЛСИ (иерархический древовидный граф, дерево – см. [13]), в общем случае, строится на основании ССН¹⁰ объектов ВС, изложенной в ряде нормативных документов (например, [6, 19, 20]). В соответствии с ССН ЭК, входящие в ЛСИ, группируются по системам и подсистемам. При необходимости может быть выделен дополнительный уровень подподсистем (рис. 6). Все вершины дерева ЛСИ называются «Элемент ЛСИ» независимо от того, является вершина системой, подсистемой или ЭК.

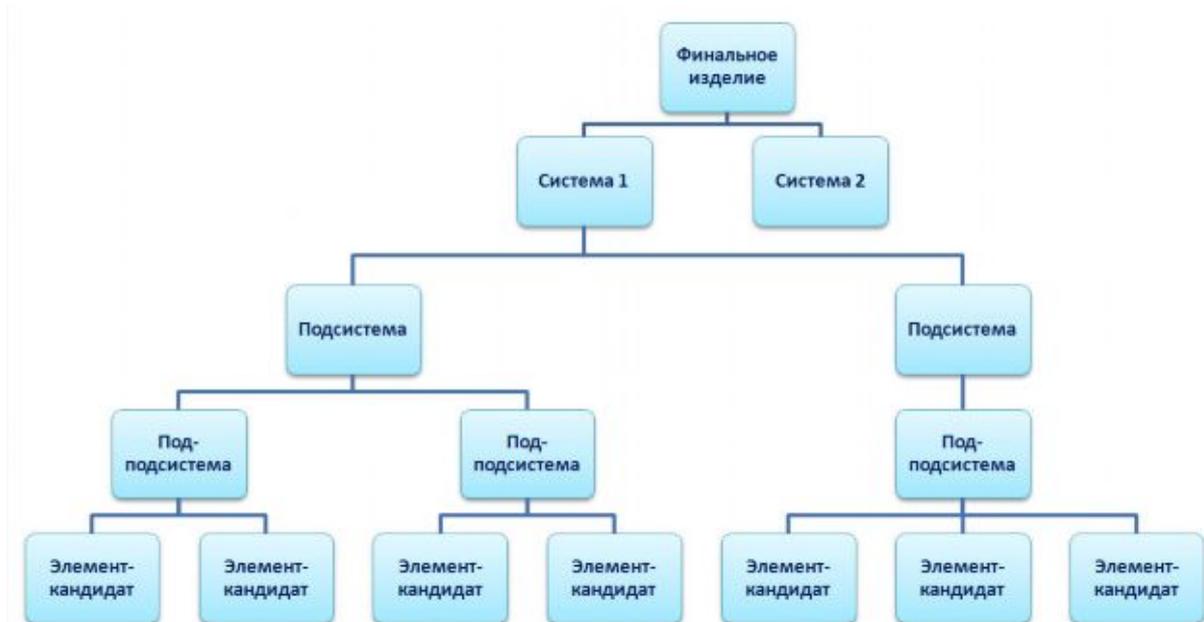


Рис. 6. Обобщенный пример ЛСИ

Кроме основных компонентов ВС, в ЛСИ могут включаться крепежные детали, необходимые для установки/крепления основных компонентов в ВС. 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 ВС. В общем случае при принятии таких решений следует руководствоваться структурой ССН (например, [6]) и правилами отнесения компонентов к системам и подсистемам в эксплуатационно-технической документации на данный тип изделий. Во избежание

¹⁰ В англоязычной литературе: *Standard Numbering System (SNS)*.

дублирования анализа одних и тех же компонентов в рамках разных систем, необходимо отслеживать, чтобы «граничный» компонент был включен в ЛСИ только одной 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 шасси, 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:

- отбор ЭК из конструкторской структуры по критериям проекта;
- отнесение ЭК к системе/подсистеме/под-подсистеме в соответствии с ССН и «границами системы»;
- взаимосвязи между ЭК, описывающие отношения входимости деталей в узлы;
- необходимость различать ЭК, установленные в разных зонах ВС или выполняющие разные функции в рамках одной системы.

Пример формирования ЛСИ

Формирование ЛСИ производится по следующим уровням разукрупнения:

- 0-й уровень – корневой элемент ЛСИ, соответствующий ФИ;
- 1-й уровень – соответствует системам ВС;
- 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.



Рис. 7. Фрагмент ЛСИ для системы кондиционирования воздуха

Рассмотрим пример части ЛСИ для системы кондиционирования воздуха (рис. 7). В этом примере ЛСИ содержит уровни системы, подсистем, под-подсистем и ЭК:

- 1-й уровень – система: элемент «21::Система кондиционирования воздуха»¹¹.
- 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 – ЭК 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 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.

¹¹ Цифровой индекс перед наименованием системы – это ЛКН (ЭД 0130) элемента ЛСИ.

Типы ЭК

Среди всех ЭК можно выделить два типа элементов (ЭД 0250):

- 1) Элементы, снимающиеся непосредственно с ВС; 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).

В плане ТОиР наиболее важны элементы типа (1), так как их замена на ВС приводит к простоям ВС и, следовательно, к снижению его готовности. Кроме того, часто такие элементы являются наиболее критичными для надежности и безопасности ВС. 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 в эксплуатации на борту ВС. В отечественной литературе такие элементы называются «конструктивно-сменный блок (КСБ)» Далее элементы типа (1) будут упоминаться как LRU для краткости.

Элементы типа (2) – это компоненты LRU. При замене эти компоненты снимаются не непосредственно с ВС, а с LRU, предварительно снятого с ВС 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. В отечественной литературе такие элементы называются «конструктивно-сменная единица (КСЕ)» 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 ВС. В зависимости от вида отказа с ВС может быть снят как родительский узел целиком (LRU), так и компонент этого узла (LRU-2)¹².

При построении 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. Решение 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 (работы по ТО LRU и LRU-2, как правило, включаются в руководство по эксплуатации ВС, а по ТОиР SRU - в руководства по ТОиР компонентов).

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:

¹² Типичным примером LRU-2 может служить съемная плата (блок) электронного устройства.

- 1) принадлежности ЭК к подсистемам и под-подсистемам в соответствии со стандартной системой нумерации объектов ВС по [6] и установленными «границами» систем;
- 2) входимости ЭК друг в друга (деталей в узлы, узлов в более крупные узлы и т.д.);
- 3) расположения компонентов в конструкции ВС (увязка с зонами установки).

В первую очередь в ЛСИ включаются ЭК, являющиеся крупными узлами или агрегатами, которые могут сниматься непосредственно с ВС, а не в составе другого крупного узла, т.е. LRU. В зависимости от установленных «границ систем» и принятой стандартной системы нумерации объектов ВС 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. Если принято, что ЭК включаются в ЛСИ, начиная с 4-го уровня разукрупнения, то недопустимо создание ЭК на 2-м и 3-м уровнях¹³, так как это может привести к формированию неправильного ЛКН элемента. 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. 7, 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.

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 ВС, 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»¹⁴ 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.

¹³ Такое ограничение связано с необходимостью стандартного кодирования элементов ЛСИ с помощью ЛКН по [5].

¹⁴ 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.

При описании компонентов крупного узла (например, «УОВ – Устройства охлаждения воздуха» на рис. 7) 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, [6] предлагает использовать номер функционального элемента (*Functional Item Number, FIN*¹⁵) (ЭД 3520). 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.

Назначение ЛКН элементам ЛСИ

Согласно требованиям [1] элементам ЛСИ присваивают код «Логистический контрольный номер» (ЛКН) (ЭД 0130), который формируется по уровням разукрупнения (ЭД 0140) и содержит в себе информацию (см. сноску) о коде родительского элемента (кроме ЛКН ФИ).

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 (ЭД 1630) задается в БД АЛП с помощью специального атрибута «*Структура ЛКН*», который, как правило, связан с вершиной ЛСИ, т.е. с ФИ (ВС). 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).

¹⁵ В стандарте ATA Specification 2200 используется равнозначный термин «*Component Functional Index, CFI*».

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 код системы по применяемой в проекте ССН.
3. В качестве порядкового номера подсистемы (2-я часть ЛКН элемента 3-го уровня) использовать код 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 код 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.

3.3 Методика формирования ЛСФ

Общие указания

В процессе функционального анализа формируется 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 (ЭД 3110), а также анализа их причин (эта работа выполняется в рамках АВПКО);
- разработки требований к обслуживанию изделия и др.

Если в проекте не предусмотрено проведение АВПКО и решение задач, связанных с обслуживанием, 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 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 ВС, 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 (ЭД 3530). Общая структура дерева ЛСФ изображена на рис. 8.

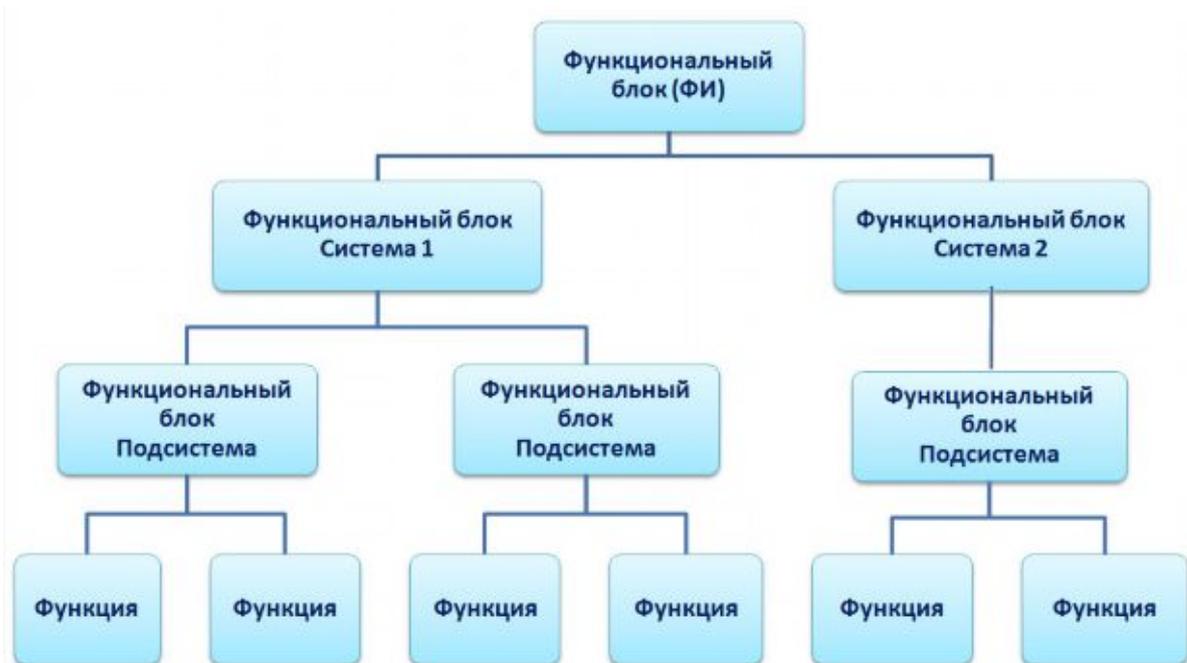


Рис. 8. Общая структура дерева ЛСФ

Формирование ЛСФ

Процесс формирования ЛСФ состоит из следующих этапов:

1. Определяются основные системы ВС, которые включаются в ЛСФ в виде функциональных блоков (рис. 8). Перечень основных систем ВС 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, под-подсистемам 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. 9.

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, в дальнейшем эти две группы функций 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. 9 не включена функция «регулирование давления в кабине», так как эта функция содержится в блоке «F13::Подсистема регулирования давления».

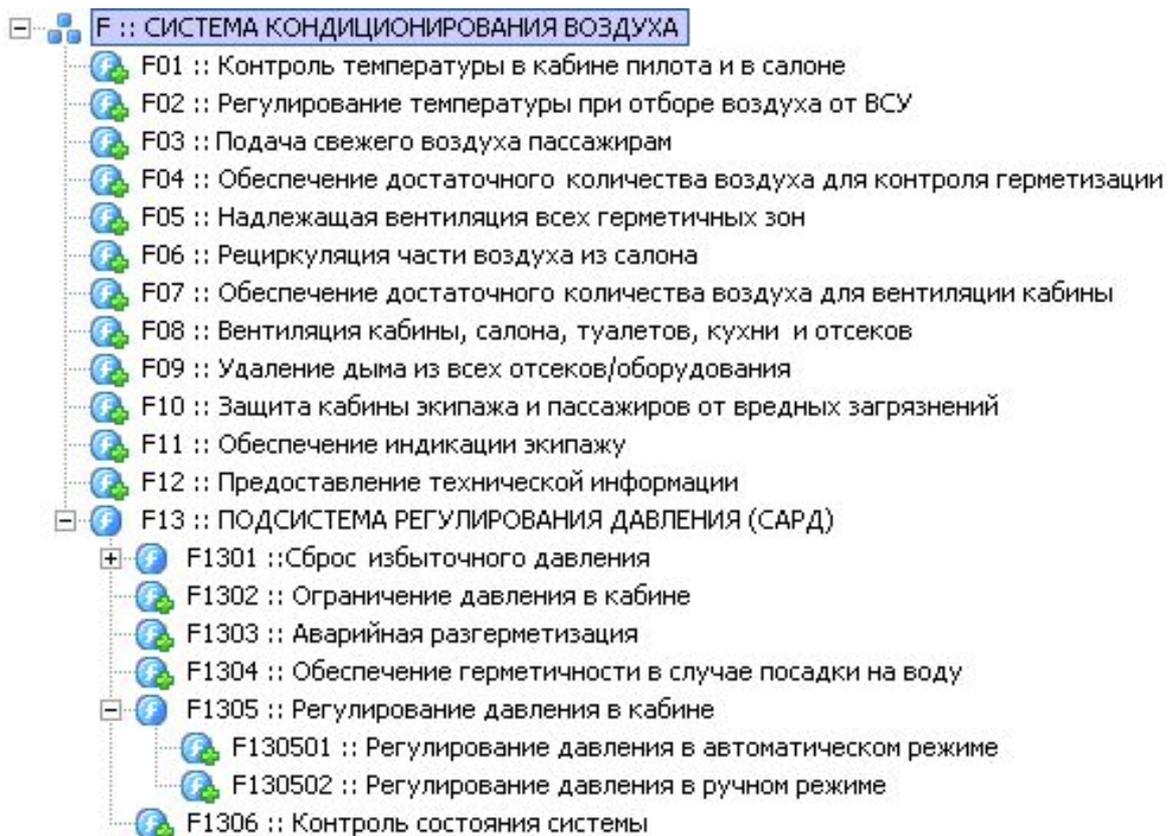


Рис. 9. Пример ЛСФ для СКВ

Назначение ЛКН элементам ЛСФ

Основным идентификатором элемента ЛСФ является ЛКН (ЭД 0130) (по аналогии с элементом ЛСИ и в соответствии с требованиями [1]). Структура ЛКН для ЛСФ (ЭД 1620) определяется в самом начале выполнения АПП для изделия. Определение структуры ЛКН такое же, как для элементов ЛСИ. 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.

3.4 Установление связей между элементами ЛСФ и ЛСИ

Виды связей

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 ЛСИ¹⁶.

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. 10 приведен пример ЛСФ «Система кондиционирования воздуха (СКВ)», в которой отображаются элементы ЛСИ (ЭК), выполняющие функции СКВ.

¹⁶ Это правило является обязательным, так как позволяет корректно описывать причинно-следственные связи между видами отказов на этапе АВПКО.

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 полета.

Сведения о распределении функций ФИ по этапам полета, 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 полет (ЭД 0550).

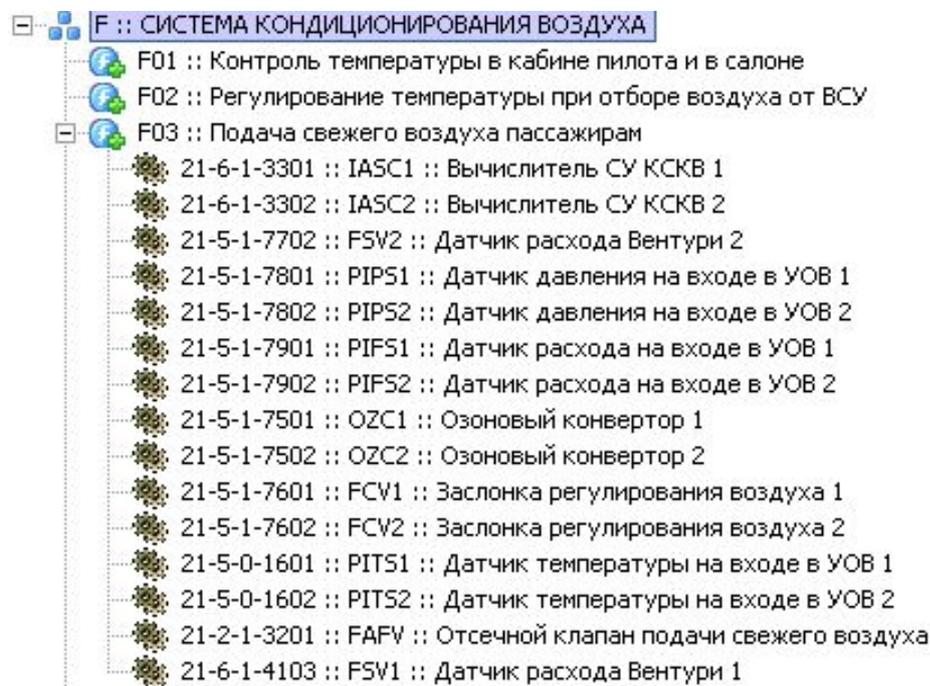


Рис. 10. Пример отображения связей между элементами ЛСФ и элементами ЛСИ (ЭК), участвующими в выполнении функций

Форма документирования информации оговаривается в контракте или техническом задании. На рис. 11 изображен фрагмент таблицы, с помощью которой можно документировать данные об этапах полета и времени работы систем. В таблице перечислены все функции, присутствующие в ЛСФ (1-й столбец), и отмечены этапы полета, в которых выполняется каждая функция. В последнем столбце приводится доля времени работы за время полета (в процентах от времени полета).

Рассчитанные в процессе функционального анализа доли времени работы ЭК (ЭД 0550) 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.

Воздушное судно	ЭТАПЫ ПОЛЕТА			Доля времени работы (%)
	Взлет (5%)	Полет (90%)	Посадка (5%)	
Автоматическое управление полетом		•		90
Обеспечение связи внутри ВС и с наземными службами	•	•	•	100
Управление ВС	•	•	•	100
Обеспечение жизнедеятельности экипажа и охлаждение оборудования	•	•	•	100

Рис. 11. Фрагмент таблицы распределения функций по этапам полета

4 Анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО)

4.1 Общие указания

Согласно ГОСТ 27.310-95 [14], 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 (ЭД 3120), обуславливающих их возникновение, и возможных (наблюдаемых) последствий этих отказов на данном и вышестоящих уровнях (ЭД 0880, 4070), 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. С другой стороны, АВПКО может служить дополнительным инструментом для специалистов по надежности и отказобезопасности ВС и его систем.

В рамках подготовки к проведению АВПКО выполняют следующие действия:

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

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

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

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

- наименований видов отказов (ЭД 0870) (функциональных и конструктивных);
- проявлений отказов;
- первичных причин отказов;
- методов обнаружения отказов (ЭД 0910);
- компенсирующих конструктивных мер (ЭД 0920);
- компенсирующие действия персонала (ЭД 0930) и т.д.

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

4.2 Описание структуры 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. 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 будет проводиться анализ изделия/системы. 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 ВС.

4.3 Кодирование видов отказов и классификация последствий отказа

Правила кодирования видов отказов элементов должны быть разработаны до начала проведения анализа. Стандарт [1] предлагает использовать следующее правило:

Обозначение (код) вида отказа (ЭД 0860) 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 последствий отказа предназначена для качественной оценки потенциальных последствий вида отказа. Классификация включает выбор различных категорий тяжести последствий отказа (КТПО) (ЭД 0900), 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 [14]:

- 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 и др.), обусловленный снижением качества функционирования или отказом объекта ;
- скорость развития неблагоприятных последствий отказа, определяющая возможность принятия соответствующих мер защиты от них.

В [1] 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 непланового обслуживания или мелкого ремонта.

Для АТ принята следующая классификация ситуаций, являющихся последствиями видов отказов [22]:

Катастрофическая ситуация (КС) – примерно соответствует **категории 1**;

Аварийная ситуация (АС) – примерно соответствует **категории 1**;

Сложная ситуация (СС) – примерно соответствует **категории 2**;

Усложнение условий полета (УУП)– примерно соответствует **категории 3**;

Без последствий (БП) – примерно соответствует **категории 4**.

4.4 Порядок выполнения АВПКО

Общие сведения

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).

Анализ видов и последствий отказов

АВПО – это процедура, в рамках которой описываются возможные виды функциональных и конструктивных отказов элементов структуры изделия (ЭД 3110), описываются причины (ЭД 1000) и последствия каждого выявленного вида отказа (ЭД 4060, 4070), 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) выполняются 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.

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 последствие¹⁷.
3. Для каждого последствия на уровне системы (это виды функциональных отказов, связанные с системой) указывается КТПО и последствие данного отказа системы для всего ВС (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), обеспечивающих 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, выполнение которой он обеспечивает. Если для конструктивного отказа возможно несколько последствий, то для каждого последствия необходимо указать вероятность его возникновения при наступлении данного конструктивного вида отказа¹⁸.
3. Для каждого вида отказа компонента вводят в БД АЛП такие данные, как «Доля вида отказа»¹⁹ (ЭД 0950), «Уровень вероятности отказа» (ЭД 2130), «Метод обнаружения отказа» (ЭД 0910), «Компенсированные конструктивные меры» (ЭД 0920), «Компенсированные действия персонала» (ЭД 0930).
4. Проверяют, описаны ли последствия для всех конструктивных отказов элементов ЛСИ. Если это не так, то определяют причину отсутствия последствия и, при необходимости, в анализ вносят корректировки, например, добавляют пропущенные функциональные отказы или исправляют связи между элементами ЛСФ и ЛСИ.

¹⁷ 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».

¹⁸ Вероятность наступления последствия, как правило, равна вероятности возникновения события, при котором данное последствие наступит с вероятностью 100%.

¹⁹ Задается в том случае, когда для компонента задана общая интенсивность (параметр потока) отказов, а отказы имеют несколько видов.

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.

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. 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.

Качественный и количественный анализ критичности

Качественный анализ

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 (ЭД 2130). Возможные значения этого параметра регламентированы в [22] (таблица 3).

Таблица 3. Уровни вероятности возникновения вида отказа

Уровень вероятности возникновения отказа	Описание
А	Частый отказ (Ч). Вероятность возникновения отказа за 1 осредненный час полета – более 10^{-2}
В	Умеренно вероятный отказ (УВ). Вероятность возникновения отказа за 1 осредненный час полета $10^{-4} \dots 10^{-2}$
С	Маловероятный отказ (МВ). Вероятность возникновения отказа за 1 осредненный час полета $10^{-7} \dots 10^{-4}$

Уровень вероятности возникновения отказа	Описание
D	Крайне маловероятный отказ (КМВ). Вероятность возникновения отказа за 1 осредненный час полета $10^{-9} \dots < 10^{-7}$,
E	Практически невероятный отказ (ПНВ). Вероятность возникновения отказа за 1 осредненный час полета менее 10^{-9}

Процедура качественного анализа критичности заключается в назначении видам отказов приоритетов корректирующих и компенсирующих действий (ЭД 0940) в зависимости от КТПО и ожидаемого уровня вероятности возникновения отказа.

Для этого виды отказов распределяются по матрице критичности, на горизонтальной оси которой отложены значения КТПО, а на вертикальной – уровни вероятности возникновения отказа (рис. 12).

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 (таблица 4).

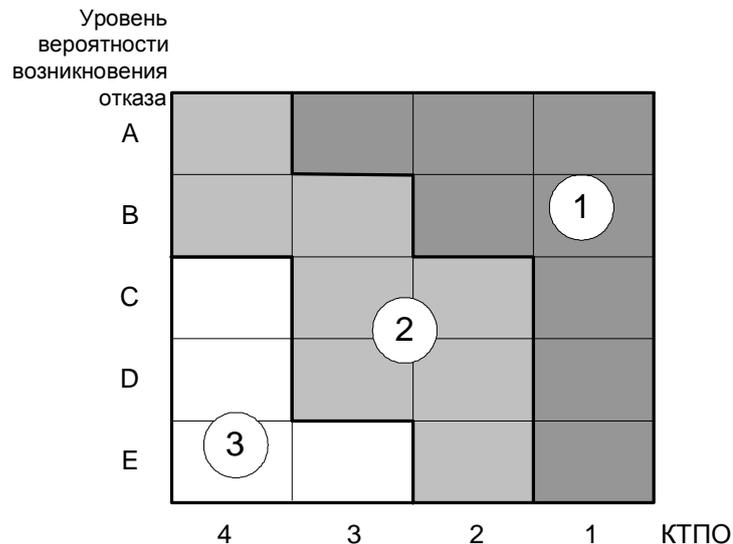


Рис. 12. Матрица критичности для качественного анализа

Таблица 4. Классификации элементов по приоритетам корректирующих и компенсирующих действий

Приоритет	Рекомендации
1	Функция/элемент, хотя бы один отказ которого требует особого внимания при разработке конструкции. Для таких функций/элементов необходимо предусмотреть средства контроля, сигнализации и компенсации отказа. Эти элементы должны рассматриваться как первоочередные кандидаты на изменение конструкции (замену) с целью повышения надежности всего изделия.
2	Функция/элемент, отказы которого требуют внимания при разработке. Требуется оценка необходимости разработки средств контроля, сигнализации и компенсации отказа. Может потребоваться изменение конструкции (замена) с целью повышения надежности всего изделия.
3	Функция/элемент не требует специального внимания при проведении анализа. Не рассматривается как кандидат на доработку/замену.

Количественный анализ

На поздних стадиях разработки изделия, когда, как правило, известны интенсивности отказов (ЭД 0560) всех компонентов, может быть проведен количественный анализ критичности. Процедура количественного анализа заключается в назначении видам отказов элементов ЛСИ приоритетов корректирующих и компенсирующих действий в зависимости от КТПО и рассчитанного числа критичности (ЭД 0640), 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.²⁰ 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 отказов, 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 наилучшим значением КТПО.

²⁰ е.и. – единица измерения.

Число критичности j -го вида отказа i -го элемента ЛСИ рассчитывается по формуле, приведенной в [1]:

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

где:

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

$(T_{работы})_i$ – 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 $(T_{работы})_i$.

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 неудобно²¹, 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. 13 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. 12.

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

²¹ Для высоконадежных элементов числа критичности весьма малы.

3-го приоритета также могут потребовать профилактического обслуживания на этапе эксплуатации.

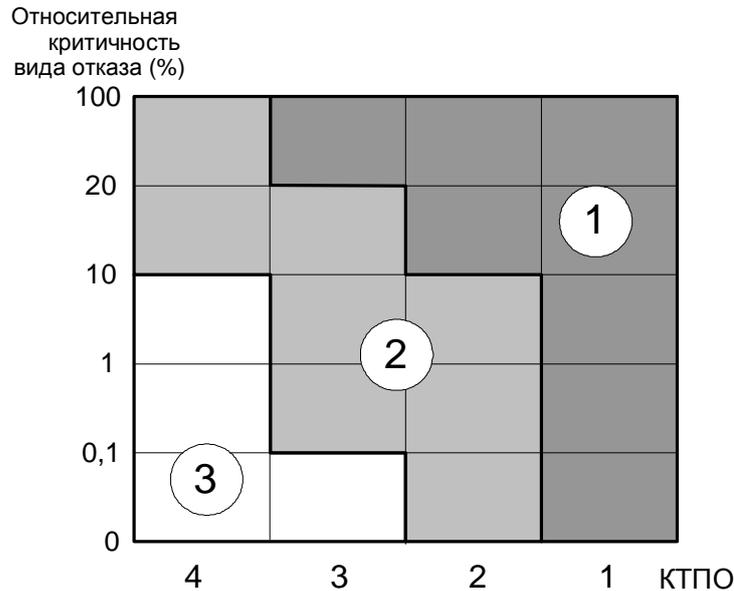


Рис. 13. Матрица критичности для количественного анализа

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 эле-

мента. 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.

5 Формирование требований к плановому техническому обслуживанию изделия

5.1 Общие указания

Цели эффективного плана технического обслуживания изделия АТ заключаются в следующем:

- обеспечение заданных уровней надежности и безопасности;
- 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.

Резервированные бортовые системы ВС рассчитаны на эксплуатацию в определенных условиях выполнения полетов и при своевременном проведении ТО в необходимом и достаточном объеме. Системы могут иметь скрытые отказы, и сохранение их надежности существенно зависит от выполнения работ по ТО. Летная годность ВС в эксплуатации может быть обеспечена только на основе эффективного плана ТО, который должен быть ориентирован на предупреждение опасных последствий отказов и при этом не приводить к излишним эксплуатационным затратам и простоям ВС.

Нормы летной годности предписывают своевременное выявление и устранение всех скрытых отказов на борту ВС. Методы выявления скрытых отказов включают:

- использование показаний систем контроля и сигнализации;
- плановые наземные проверки (контроль работоспособности или исправности);
- специальные виды проверок, известные как "сертификационные требования к ТО" (Certification Maintenance Requirements - CMRs).

Первая и последняя из перечисленных позиций отражают специальную область интересов инженеров - системотехников и специалистов по отказобезопасности. Ниже рассмотрены методические аспекты формирования плана ТО с использованием упомянутых выше принципов, которые предполагают включение в план ТО только эффективных работ, то есть тех работ, которые направлены на предупреждение или выявление и устранение конкретных видов отказов систем и элементов ВС.

В общей постановке ВС имеет в своем составе ряд систем. Каждая система состоит из элементов (компонентов). Каждый элемент имеет ограниченное число определенных видов отказов. Основные положения и допущения модели надежности авиационных систем следующие:

- интенсивности отказов постоянны,
- отказы выявляются в полете и на земле, а устраняются при ТО ВС,

- восстановительные работы (ремонт) при отказе гарантируют полное восстановление работоспособности системы в установленные сроки;
- работы по ТО не приводят к новым отказам;
- продолжительность восстановления работоспособности элементов пренебрежимо мала по сравнению со средней величиной их наработки на отказ (что справедливо для высоконадежных изделий, к которым относится АТ),
- инструментальная составляющая достоверности контроля технического состояния элементов близка к единице.

Опыт эксплуатации свидетельствует о том, что стоимость ТО (ЭД 5370) может быть снижена путем внедрения современных методов эксплуатации, включая эксплуатацию по техническому состоянию, без выполнения излишних работ по ТО и плановых замен элементов.

В общей постановке при наличии всей необходимой исходной информации количественное подтверждение эффективности плана ТО состоит в обеспечении заданных вероятностных показателей безопасности ВС при минимизации удельных затрат на ТО (например, стоимости ТО на 1 ч налета). При таком подходе основной трудностью является количественное подтверждение выполнения требований к ВС, для чего необходима адекватная математическая модель, позволяющая оценить влияние ТО на показатели безопасности и эффективности ВС.

Реальной альтернативой количественному подходу является рациональное сочетание качественного инженерного анализа по выбору методов ТЭ (ЭД 1690) и работ по ТО ВС с количественной оптимизацией периодичности ТО на основе математической модели влияния планового ТО на надежность и безопасность бортовых систем. Это позволяет формализовано анализировать влияние возможных отказов систем и их компонентов на безопасность, регулярность полетов и экономичность ВС.

Такой качественный подход был предложен в 70-х годах авиакомпанией United Airlines и стал позднее широко известен как методический документ по разработке программы планового ТО – АТА MSG-3 [15]. Этот документ признан FAA США, JAA и EASA Евросоюза и широко используется разработчиками и эксплуатантами ВС.

Как показала практика, методика MSG-3 имеет ряд существенных недостатков. Поэтому принципы MSG-3 были доработаны и получили развитие в руководстве для конструкторов и эксплуатантов [21], которым конструкторы и специалисты по ТО могут пользоваться при создании и сопровождении эксплуатации ВС, в том числе, в процессе АПП.

Общая идея предлагаемой методики предполагает использование для планирования ТО данных анализа надежности и отказобезопасности, в том числе результатов АВПО, начиная с ранних этапов проектирования и испытаний ВС.

В основу методики положены принципы обеспечения летной годности, которые состоят в следующем.

В процессе эксплуатации отказы АТ практически неизбежны. Все возможные отказы ВС можно разделить на две группы:

- 1) отказы, явные для летного экипажа при выполнении им своих обычных обязанностей;
- 2) скрытые, то есть неявные для экипажа отказы.

Скрытые отказы должны своевременно выявляться и устраняться в ходе плановых работ по ТО для поддержания летной годности ВС. Периодичность работ должна быть оптимизирована для достижения минимальных затрат на ТО при сохранении заданных (приемлемых) уровней вероятностей возможных отказов.

В группе явных отказов любой опасный единичный отказ должен быть исключен, либо – при отсутствии технической возможности резервирования – вероятность такого отказа должна быть ограничена в соответствии с нормами летной годности. Явные отказы резервированных элементов обычно не влияют на безопасность полета и могут рассматриваться аналогично скрытым отказам – должны быть назначены и выполнены работы по их выявлению и устранению, а периодичность этих работ должна быть оптимизирована. Эти работы, равно как и работы, включенные в план ТО для поиска и устранения скрытых отказов, связаны общностью политики восстановления работоспособности. Для скрытых отказов периодичность восстановления равна периодичности плановых проверок системы при ТО с последующим устранением отказов. Для явных отказов эта периодичность равна разрешенному времени полетов с отказавшим элементом (при условии, что до следующего полета отказ будет устранен).

Элементы, с отказами которых может быть разрешен полет, включаются в отдельный эксплуатационный документ «Типовой минимальный перечень оборудования – ТМПО (зарубежный аналог - Master Minimum Equipment List - MMEL)».

При анализе отказов резервированных элементов конструктор ВС всегда имеет выбор. Иногда более эффективно не выявлять такой отказ (не загружать экипаж и не затрачивать средства на системы сигнализации об отказе), а предусмотреть плановые работы по ТО. В других случаях предпочтительным является бортовой контроль отказов в полете, а резервированные элементы должны быть включены в состав ТМПО.

Ниже описываются две методики планирования ТО:

- методика логического анализа, разработанная российскими специалистами;
- методика MSG-3²².

5.2 Методика логического анализа при формировании плана ТО

5.2.1 Общие положения

По своему содержанию работы по ТО элементов ВС можно разделить на две основные группы:

- 1) группа плановых работ, выполняемых через определенные интервалы (наработки или срока службы). Цель таких работ – предотвратить снижение заложенных в конструкцию оборудования уровней безопасности и надежности. Эти плановые работы могут содержать:

²² Методика MSG-3 здесь описана кратко. Подробное описание – см. [15]

- смазку/технологическое обслуживание,
- контроль работоспособности/визуальный контроль,
- проверку (осмотр)/контроль исправности,
- плановое восстановление после выработки ресурса с последующим ремонтом или списанием элемента;

2) группа неплановых работ, являющихся результатом:

- выполненных через установленные интервалы плановых работ, в ходе которых выявлены отказы;
- сообщений об отказах и повреждениях (обычно со стороны летного экипажа);
- анализа полетной информации и других эксплуатационных данных.

Цель неплановых работ - приведение ВС в работоспособное состояние путем устранения обнаруженных отказов и (или) выполнения специального ТО (после грубой посадки, удара молнии и т.п.).

Эффективными являются только те работы, которые необходимы для достижения поставленных целей. Они не должны содержать избыточных работ, которые увеличивают стоимость ТО без позитивного влияния на уровни надежности и готовности ВС.

Обоснование эффективного состава работ по ТО выполняется с использованием процедур целенаправленной логики принятия решений, реализованной в алгоритмах (логических схемах) анализа. Логическая последовательность анализа ориентирована на оценку последствий возможных видов отказов ФС в целом (иногда называемых на практике функциональными отказами) и их причин - возможных видов отказов элементов ФС.

Выбор методов ТЭ и работ по ТО включает три этапа, при этом анализ возможных видов отказов и их последствий производится «сверху - вниз». Сначала анализируются возможные виды отказов ФС в целом, оцениваются их последствия и в отношении каждого из рассматриваемых отказов устанавливается необходимость планового контроля работоспособности ФС в целом при ТО. Такой контроль может потребоваться именно для системы в целом, даже без рассмотрения возможных отказов элементов (комплектующих изделий, агрегатов, блоков, модулей) ФС, поскольку часть отказов ФС может иметь скрытый от экипажа характер и выявляться только при специальных наземных проверках.

Затем анализируются причины отказов ФС – возможные виды отказов элементов. Под «элементом ФС» понимается конструктивно-законченная составная часть ФС (агрегат, узел, блок или модуль оборудования, включая как изделия, разрабатываемые поставщиком ВС, так и покупные комплектующие изделия), характеризующаяся индивидуальной потребностью в работах по ТО и возможностью их выполнения.

В зависимости от характеристик надежности элементов и последствий возможных видов их отказов:

- устанавливаются категории важности возможных видов отказов;
- выбираются методы ТЭ элементов.

Назначение методов ТЭ, предшествующее выбору работ по ТО, позволяет уточнить конструктивные параметры элементов и придает процессу формирования состава работ по ТО большую целенаправленность, поскольку в зависимости от выбранного метода ТЭ в первую очередь рассматриваются характерные для этого метода виды работ.

Кроме того, обоснование допустимого метода ТЭ элемента разработчиком ВС позволяет более четко формировать требования к поставщикам покупных комплектующих изделий, включая гарантийные и иные контрактные обязательства.

Завершается логический анализ выбором по каждому виду отказа элементов ФС работ по ТО. Под «работой» понимается технологически завершенный комплекс операций ТО. При этом рассматриваются только те работы, которые направлены на предупреждение, выявление и устранение конкретных видов отказов элементов ФС. Снаряжательные и другие работы, выполняемые независимо от технического состояния элементов, например, при подготовках к полету, не рассматриваются, поскольку их включение в план ТО однозначно определяется назначением, конструктивными особенностями и режимами применения ВС.

Результаты логического анализа используются далее при обосновании рациональной периодичности работ по ТО, которое предлагается выполнять на основе количественных методов анализа (см. разд.5.3).

Под «видом отказа» элемента (или ФС в целом) понимается конкретное нарушение его (ее) работоспособности, характеризующееся недопустимым снижением или полной потерей возможности выполнения одной или нескольких функций из числа выполняемых элементом (или ФС). Понятия «работоспособность» и «исправность» определены ГОСТ 27.002-89.

Для элементов, входящих в состав ФС, существующими нормативно-техническими документами регламентировано применение следующих методов ТЭ, определяемых видом предельного состояния (отказ, предотказное состояние, выработка ресурса):

- метод ТЭ с восстановлением (списанием) после отказа (ТЭО);
- метод ТЭ с восстановлением (списанием) при достижении предотказного состояния (ТЭП);
- метод ТЭ с восстановлением (списанием) после выработки ресурса (ТЭР).

Принятие решения о восстановлении или списании элемента по достижении им предельного состояния является предметом отдельного анализа, который не входит в круг задач формирования плана ТО ВС.

Первые два метода являются методами ТЭ по состоянию (ТЭС), то есть предусматривают эксплуатацию элементов без установления для них ресурсов и сроков службы (до первого ремонта, межремонтных и назначенных).

При выборе методов ТЭ в рамках логического анализа приняты следующие положения:

- 1) наиболее предпочтительным из экономических соображений является метод ТЭО;
- 2) при достаточной достоверности контроля и прогнозирования технического состояния элементов метод ТЭП более экономичен, чем ТЭР;

- 3) при условии существенного возрастания интенсивности отказов элемента с увеличением наработки и фиксированном составе профилактических работ, метод ТЭП обеспечивает более высокий уровень надежности элемента, чем ТЭО.

Поэтому при возможности назначения изделия различных методов ТЭ, их выбор производится в следующем порядке: сначала рассматривается возможность применения (исходя из требований к безопасности и регулярности полетов) ТЭО, затем ТЭП и, наконец, ТЭР. В том случае, когда нет уверенности в очевидном преимуществе ТЭП, выбор методов (ТЭП или ТЭР) производится на основании дополнительных оценок (в том числе экономических).

При невозможности обеспечить выполнение (на качественном уровне) требований по безопасности и регулярности полетов ни при одном из методов ТЭ и (или) составе работ по ТО, разрабатываются мероприятия (конструктивные или организационно-технические), направленные на уменьшение влияния данного вида отказа на безопасность полетов.

Основные группы сведений, являющиеся исходными данными для анализа, включают (см. таблицы 5 и 6):

- 1) представляемые конструкторскими подразделениями общие сведения о конструктивно-схемных решениях (техническое описание и схемы) ФС, в том числе, сведения о сигнализации экипажу, информации, необходимой для парирования отказов ФС, а также информации, регистрируемой средствами контроля (перечень контролируемых параметров);
- 2) представляемые подразделениями анализа надежности и отказобезопасности результаты анализа безотказности ФС и последствий возможных видов отказов, которые должны содержать перечень возможных видов отказов ФС в целом с оценкой их влияния на безопасность и регулярность полетов, перечень видов отказов элементов и их характеристик, функции отказности (ЭД 5650), связывающие вероятности отказов ФС в целом с вероятностями отказов ее элементов, а также нормативные значения вероятностей для ожидаемых отказов ФС в целом, устанавливаемые на основании применяемых норм летной годности (сертификационного базиса ВС) с привлечением, при необходимости, принятых методов распределения общих требований к отказобезопасности между отдельными ФС и возможными видами их отказов;
- 3) представляемые конструкторскими подразделениями и (или) поставщиками оборудования данные о возможности контроля и прогнозирования технического состояния элементов, необходимые для принятия решения о возможности эксплуатации до предотказного состояния (ТЭП);
- 4) представляемые подразделениями общего проектирования сведения о назначении и схеме (сценарии) применения ВС (виды и продолжительность типовых полетов, число полетов в летный день),
- 5) принятая при формировании требований к плановому ТО структура (номенклатура и периодичность видов/форм) ТО;
- 6) прогнозируемые характеристики ЭТ объекта, его ФС и их элементов (представляемые в составе исходных данных по п. 1 сведения о принципах монтажа и демонтажа элементов, обеспечения доступа для ТО и т.п., а также принятые при анализе

оценки продолжительности и трудоемкости различных видов работ по ТО элементов и ФС в целом).

Результаты анализа безотказности и последствий возможных отказов ФС представляются в виде таблицы 5, содержащей перечень всех возможных отказов с указанием степени опасности (вида особой ситуации в полете при проявлении данного вида отказа) (ЭД 3720), и влияния на регулярность полетов. Причины отказов ФС устанавливаются на основании рассмотрения возможных видов отказов элементов. При заполнении таблиц особое внимание надо уделить формулировкам видов отказов, поскольку они существенно влияют на принятие решений и результаты последующего анализа по логическим схемам.

При этом для корректного анализа следует соблюдать следующие условия формирования множества возможных видов отказов элемента:

- единичный вид отказа элемента на этапе полета должен приводить только к одному (единственному) виду отказа ФС в целом;
- при наличии нескольких видов отказов элемента они должны быть несовместны;
- однородные по конструкции элементы могут объединяться в один, если они имеют: 1) непосредственные взаимосвязи (например, части проводки управления) и 2) одинаковые виды их отказов (например, обрыв) на определенных этапах полета приводят к одинаковым (по сути и по последствиям) видам отказов ФС в целом.

В графу 3 таблицы 5 заносятся наиболее тяжелые последствия, возникающие при рассматриваемом виде отказа хотя бы на одном из этапов полета: указывается вид особой ситуации (КС, АС, СС, УУП) или БП (если отказ не влияет на безопасность полетов) (см. раздел 4.3). В графе 4 таблицы 5 ставится знак плюс, если отказ приводит к ПВ или ВП, и минус - в противном случае.

Таблица 5. Выбор элементов для анализа

Тип ВС/АС: МС-21		Вид анализа: системы планера и силовой установки				MSI
		Maintenance Program Development: System & Powerplant Analysis				
Форма: 1 Form: 1		Код по ГОСТ/АТА: 26-21-00		Выбор систем, подсистем, элементов для анализа		MSI
				Maintenance Significant Item Selection (MSI)		
		Название системы: противопожарная система двигателя				
		Item Description: Engine Fire Extinguishing				
Код системы элемента	Вид отказа ФС	Степень опасности отказа	Влияние отказа на выполнение полетного задания	Причины отказа (функция отказности)	Нормативное значение вероятности отказа (на 1 ч полета)	
1	2	3	4	5	6	
26-21-00	26-1. Отказ первой очереди	УУП	+	$Q_i = q_{1,1} + q_{2,1} + q_{3,1} + \dots$	$2 \cdot 10^{-4}$	
ИСПОЛНИТЕЛЬ: ИВАНОВ И.П. Analyst	Рабочая группа: №1, 12/08/09 Working Group	Одобрено МКК: 13.05.09 ISC Approval	Вариант: окончательный Revision	ДАТА: 15/05/09 DATE	Стр.: 1 из 25 Page	

Таблица 6. Перечень элементов ФС и их характеристик

Тип ВС/АС: МС-21			Вид анализа: системы планера и силовой установки Maintenance Program Development: System & Powerplant Analysis				
			Описание элементов систем System Breakdown, Functional Description and Design features				SFD
Форма: 2 Form: 2	Код по ГОСТ/АТА: 26-21-00		Название системы: противопожарная система двигателей Item Description: Engine Fire Extinguishing				
			Вид отказа элемента				
Код системы элемента (чертежный номер)	Наименование и тип (аналог)	Кол-во в ФС (поставщик)	Условное обозначение	Существование	Зависимость частоты отказов от наработки; Вероятность отказа на 1 ч полета	Нормы определяющих параметров (если есть возможность контроля предотказного состояния)	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
26-21-01 (нет)	Электроклапан ЭК-165 (нет)	3 (ОАО «ЗЭИ»)	Э1.1	Залипание	+; $0,5 \times 10^{-5}$	нет	
ИСПОЛНИТЕЛЬ: ИВАНОВ И.П. Analyst Рабочая группа: №1, 12/08/09 Working Group Одобрено МКК: 13/05/09 ISC Approval Вариант: окончательный Revision ДАТА: 15/05/09 DATE Стр.: 2 из 25 Page							

В качестве характеристик надежности элементов (в графе 6 таблицы 6) приводится средняя вероятность возникновения отказа за один час полета (или параметр потока отказов). В этой же графе 6 приводятся данные о наличии зависимости интенсивности видов отказов элемента от наработки. Последние необходимы для определения возможности применения методов ТЭП и ТЭР, так как эти методы ТЭ целесообразны только в случае существенной зависимости уровня безотказности элемента от наработки. В графе 6 таблицы 6 указывается плюс, если интенсивность существенно возрастает с наработкой, и минус – в противном случае. При этом можно руководствоваться следующим правилом: если за период, соответствующей предполагаемой величине ресурса до списания ВС, интенсивность отказов возрастает не более, чем в 2 - 3 раза, то зависимость безотказности от наработки можно считать несущественной.

Оценка вероятности отказов (графа 6) дается в виде точечной оценки вероятности или диапазона ожидаемого значения этой величины (ПНВ, КМВ и т.д. - см. табл. 3 разд. 4.4).

Кроме того, в результате анализа безотказности устанавливаются:

- функциональные зависимости вероятностей видов отказов ФС от вероятностей видов отказов ее элементов за полет продолжительностью τ (функции отказности) $Q^o_\alpha = f(q_1, \dots, q_\beta, \dots, q_B)$, определенные при условии, что перед вылетом все элементы ФС работоспособны (эти функции представляются в графе 5 таблицы 5 или отдельной таблицей);
- нормативные значения вероятностей отказов ФС в целом за полет (или осредненные на один час полета) $Q''_1, Q''_\omega, \dots, Q''_A$, которые указываются в графе 6 таблицы 5.

Зависимости для Q^o_α определяются с помощью принятых в отрасли методов количественного анализа безотказности ФС (например, установленных ОСТ 100132).

Нормативные значения вероятностей видов отказов ФС устанавливаются подразделениями надежности и отказобезопасности, как было сказано выше, исходя из фактического влияния отказов на безопасность и регулярность полетов и нормативных требований (сертификационного базиса ВС) с привлечением, при необходимости, принятых разработчиком ВС методов распределения общих требований к отказобезопасности между отдельными ФС и возможными видами их функциональных отказов.

Характеристики эксплуатационной технологичности необходимы для выбора эффективных профилактических и восстановительных работ по ТО, оценки приспособленности конструкции ФС к их выполнению и обоснования доработок, направленных на обеспечение возможности выполнения ТО. Эти данные должны также обеспечивать оценку (хотя бы экспертную) трудозатрат на плановый контроль состояния резервированных элементов ФС и т. п., что необходимо при определении рациональной периодичности ТО и формировании минимального перечня оборудования (с отказами которого разрешен вылет).

Необходимые работы по ТО и периодичность их выполнения определяются с использованием методики и процедур, приведенных ниже. Для формирования исходного перечня плановых работ по ТО рассматриваются работы, связанные как с безопасностью, так и с экономикой эксплуатации.

5.2.2 Первый уровень анализа

Рассматриваемые ниже процедуры составляют первый уровень анализа. Исходные данные используются при заполнении рабочей таблицы 7. Эта таблица заполняется в ходе первого уровня анализа и содержит результаты, используемые на этапах выбора методов ТЭ и работ по ТО. С помощью логической схемы первого уровня анализа (рис. 14) определяется категория последствий (Кпос) (ЭД 0900) каждого из рассматриваемых видов отказов ФС и оценивается необходимость планового контроля ее работоспособности при ТО, либо обосновывается необходимость соответствующих доработок (мероприятий по устранению недостатков) конструкции ФС.

Категория последствий вида отказа ФС в этом случае характеризуется степенью опасности особой ситуации, к которой он приводит в полете, и (или) необходимостью прерывания полета, то есть отражает влияние вида отказа на безопасность и регулярность полетов.

Влияние отказа на готовность ВС (связанную с задержками или отменами вылета, т.е. регулярность вылетов) рассматривается на следующем этапе при анализе отказов элементов.

При анализе приняты следующие категории последствий (см. разд.4.3):

- I. отказ приводит к АС или КС;
- II. отказ приводит к СС, при этом отнесение отказа к I или II категории проводится без оценки его влияния на регулярность полета (как правило, при КС, АС и СС такое влияние всегда имеет место, то есть выполняется прерванный взлет или иное изменение плана полета);
- III. отказ приводит к УУП и прерыванию полета (прерванному взлету или вынужденной посадке);
- IV. отказ явный для экипажа и приводит к УУП или БП без нарушения выполнения полетного задания, либо является скрытым для экипажа, что равносильно тому, что он не приводит к особой ситуации (БП).

Определение категорий последствий видов отказов ФС необходимо для последующего выбора метода ТЭ и работ по ТО элементов данной ФС. Чем выше эта категория, тем выше (при прочих равных условиях) требования к надежности элементов, отказы которых являются причинами рассматриваемого вида отказа ФС.

По схеме анализируются все принятые для рассмотрения виды отказов ФС в целом.

Вопрос 1 по схеме рис. 14 задается для оценки того, будет ли летный экипаж иметь информацию о потере (отказе) функции при условии, что он выполняет свои обычные обязанности. Цель его заключается в разделении явных и скрытых функциональных отказов (ФО). Летный экипаж включает аттестованных летчиков, бортинженеров и членов кабинного экипажа, находящихся при исполнении обычных служебных обязанностей. Обычные обязанности – те, которые связаны с плановым использованием ВС в течение летного дня.

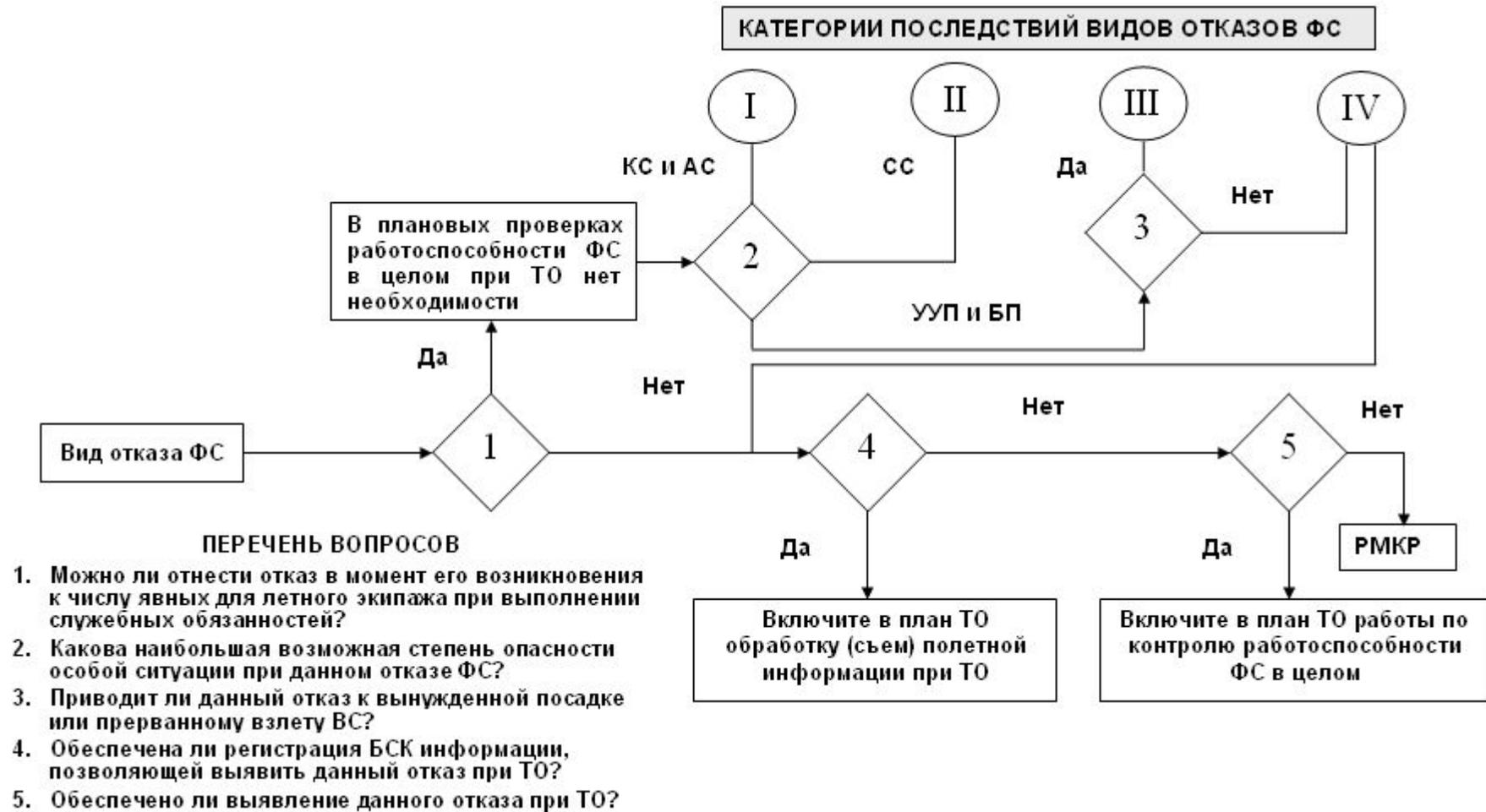


Рис. 14. Логическая схема анализа последствий возможных отказов ФС и необходимости планового контроля ФС в целом при ТО

Таблица 7. Результаты анализа возможных видов отказов ФС и их последствий

Тип ВС / АС: МС-21		Вид анализа: системы планера и силовой установки Maintenance Program Development: System & Powerplant Analysis			
		Определение категорий последствий отказов ФС Failure Effect Category			FEC
Форма: Form: 3	Код по ГОСТ / АТА: 24-00-00	Название системы: система электроснабжения Item Description: Electrical Power			
Код отказа	Вид отказа ФС	Ответы на вопросы 1-го уровня анализа		Категория последствий Кпос	Обоснование ответов, оценка необходимости контроля работоспособности системы в целом при ТО (или доработки)
		Номер вопроса	Ответ		
1	2	3	4	5	6
24-1	Уменьшение располагаемой мощности по переменному току на 50%	1	Да	IV	Отказ выявляется экипажем по информации КСЭИС. В плановом контроле работоспособности СЭС в целом при ТО нет необходимости
		2	УУП		
		3	Нет		
...
24-6	Обесточивание всех потребителей переменного тока, кроме подключенных к ПОС (до включения генератора ВСУ)	1	Да	II	Отказ выявляется экипажем по информации КСЭИС. В плановом контроле работоспособности СЭС в целом при ТО нет необходимости
		2	СС		
ИСПОЛНИТЕЛЬ: ИВАНОВ И.П. Analyst:	Рабочая группа: №1, 12/08/09 Working Group:	Одобрено МКК: 13/05/09 ISC Approval:	Вариант: окончательный Revision:	ДАТА: 15/05/09 DATE:	Стр.: 6 из 25 Page:

При положительном ответе на вопрос 1 (явные отказы) плановые работы по контролю работоспособности ФС в целом при ТО не проводятся. В этом случае допускается, что достоверность контроля экипажем в полете достаточна. Во всех остальных случаях требуется плановый контроль работоспособности ФС в целом, либо плановая обработка (съем) информации, зарегистрированной БСК и содержащей сведения о скрытых от экипажа отказах ФС в целом в полете.

Отказ считается явным, если нарушаемая функция реализуется в каждом полете, и летный (и наземный) экипаж располагает информацией, позволяющей достоверно определить в полете факт отказа и в полете же или сразу после полета вид отказа ФС в целом. К такой информации можно отнести данные о наличии и виде сигнализации на рабочих местах экипажа, а также органолептическую информацию (дым, запах гари, вибрации, сильное изменение нагрузок на органах управления и т.п.), записи бортовых регистраторов полетной информации и т.п.

Для наиболее опасных отказов, приводящих к АС или КС (вопрос 2), возможно, потребуются считаться с вероятностью нарушения работоспособности ФС (в том числе из-за ошибок технического персонала) между полетами. В этом случае в документацию по летной эксплуатации могут включаться указания по проверке работоспособности ФС (по рассматриваемому виду ее отказа) перед вылетом, если это позволит достоверно выявить неработоспособность ФС и предотвратить вылет с отказами ФС, относящимися к I категории последствий.

Ответ на вопрос 3 позволяет отнести отказ, приводящий к УУП, к III или IV категории последствий.

В случае регистрации данных о скрытом отказе бортовыми средствами контроля (вопрос 4), предусматривается использование этой информации при ТО. В этом случае в план ТО включаются указания относительно съема (обработки) информации с бортового эксплуатационного накопителя. Сами же работы, связанные с использованием этой информации для устранения отказа или отнесения его к числу допустимых согласно Типовому минимальному перечню оборудования (MMEL), будут являться неплановыми и в план ТО включаться не должны.

В случае невозможности выполнения работ по контролю ФС или недостаточного охвата ФС контролем в полете (вопрос 5) разрабатываются мероприятия, направленные на обеспечение контроля работоспособности (отметка об этом делается в графе 6 таблицы 7).

Выбор и обоснование эффективных работ, обеспечивающих контроль работоспособности ФС при ТО, производится в соответствии с принципами, изложенными ниже применительно к выбору работ по ТО элементов ФС.

5.2.3 Второй уровень анализа

На втором уровне анализа с использованием логической схемы рис. 15 определяются категории важности видов отказов элементов и выбираются методы их ТЭ.

На основании исходных данных заполняются графы 1 - 6 таблицы 8, которая является рабочей таблицей для второго уровня анализа. При этом учитываются следующие положения.

1. Графа 2 заполняется на основании исходных данных.

2. В графе 3 указывается величина параметра функциональной значимости (ЭД 5640) β -го вида отказа элемента, под которым понимается минимальное количество событий (как правило, отказов элементов, включая рассматриваемый вид отказа), совместное возникновение которых приводит к определенному виду отказа ФС в целом.

Этот параметр определяется порядком соответствующего (включающего рассматриваемый вид отказа элемента) члена функции отказности (см. табл. 5, графа 5):

$m_\beta = 1$, если β -й вид отказа элемента сразу приводит к отказу ФС;

$m_\beta = 2$, если β -й вид отказа элемента приводит к отказу ФС только в сочетании с отказом другого элемента и т.д.

При определении параметра m_β для элементов ФС, находящихся в «холодном» резерве («аварийных») следует учитывать не только конкретные виды отказов элементов, но и события (пожар, разгерметизация, недопустимое сближение с препятствием и т. д.), приводящие к включению в работу рассматриваемой ФС. Например, отказ блока противопожарной системы, приводящий к потере ее работоспособности, является единичным ($m_\beta = 1$), если рассматривается в нормальном полете, и двойным ($m_\beta = 2$), если отказ системы рассматривается при условии пожара. Однако в первом случае отказ не имеет последствий и неявный, а во втором – явный и приводит к КС. Принятое решение и запись в табл. 8 должны соответствовать формулировке рассматриваемого вида отказа ФС.

В графе 4 указывается категория последствий, определенная на первом уровне анализа для отказа ФС, к которому самостоятельно или в сочетании с другими событиями приводит рассматриваемый вид отказа элемента.

Поскольку рассматриваемый вид отказа элемента может являться причиной нескольких видов отказов ФС, то есть входить в разные функции отказности, а также – в различные сочетания отказов элементов в пределах одной функции отказности, то ему могут соответствовать несколько строк в графах табл. 8. В целях сокращения объема записей и последующего анализа в табл. 8 вносятся только наиболее неблагоприятные (в смысле влияния на безопасность полетов и регулярность) сочетания последствий отказов ФС и параметра m_β рассматриваемого вида отказа элемента.

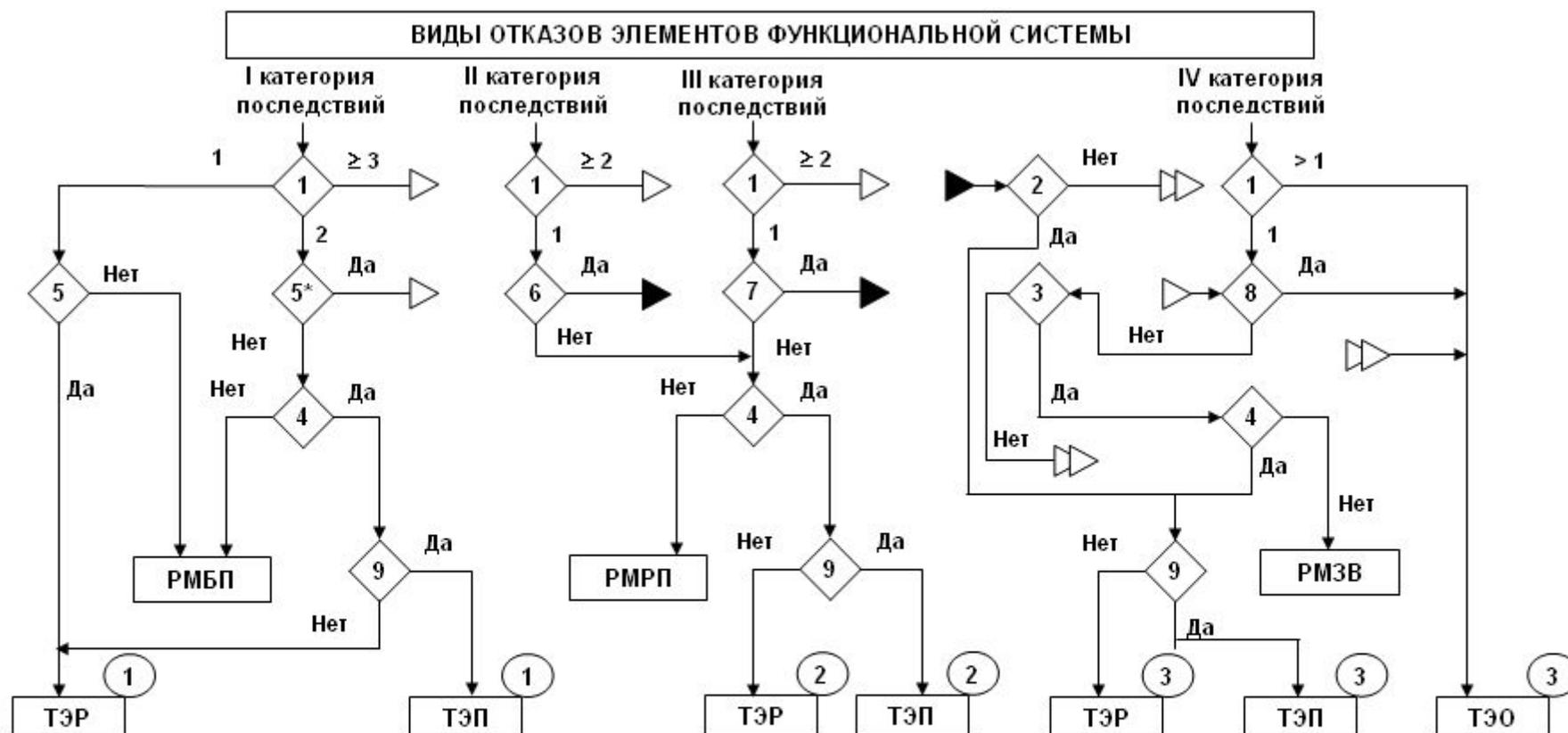


Рис. 15. Логическая схема выбора категорий важности видов отказов и методов ТЭ элементов в составе ФС

Таблица 8. Результаты анализа по определению категорий важности видов отказов ФС и выбору методов их технической эксплуатации

Тип ВС / АС: МС-21		Вид анализа: системы планера и силовой установки Maintenance Program Development: System & Powerplant Analysis				
		Определение категорий важности отказов элементов ФС Task Selection Question				
Форма: 4 Form: 4	Код по ГОСТ / АТА: 24-00-00	Название системы: система электроснабжения Item Description: Electrical Power				
Наименование и тип элемента	Обозначение отказа	Параметр τ_p	Категория последствий $K_{\text{п}}$	Ответы на вопросы		Категория важности, метод ТЭ
				№ вопроса - ответ	Обоснование ответа (при необходимости)	
1	2	3	4	5	6	7
ЦРУ переменного тока, ЦРУ 372	Э _{1,1}	2	II	8 - Да	Данный отказ МВ	3; ТЭО
ИСПОЛНИТЕЛЬ: ИВАНОВ И.П. Analyst:	Рабочая группа: №1, 12/08/09 Working Group:	Одобрено 13/05/09 ISC Approval:	МКК:	Вариант: окончательный Revision:	ДАТА: 15/05/09 DATE:	Стр.: 7 из 25 Page:

Для иллюстрации изложенных ниже правил выбора таких сочетаний рассмотрим иллюстративный пример.

Пусть виды отказов элементов $\mathcal{E}_{2,1}$ и $\mathcal{E}_{3,1}$ являются причинами видов отказов ФС Q_1, Q_2, Q_3 и Q_4 , при этом:

$$Q_1 = \mathcal{E}_{1,1} \times \mathcal{E}_{2,1} + \mathcal{E}_{3,1} \times \mathcal{E}_{5,1}; \quad \text{Кпос1} = \text{IV} \quad m_{\beta} = 2 \quad \Rightarrow \text{рассматривается для отказа } \mathcal{E}_{3,1}$$

$$Q_2 = \mathcal{E}_{4,2} + \mathcal{E}_{2,1} \times \mathcal{E}_{8,1}; \quad \text{Кпос2} = \text{I} \quad m_{\beta} = 2 \quad \Rightarrow \text{рассматривается для отказа } \mathcal{E}_{2,1}$$

$$Q_3 = \mathcal{E}_{2,1} \times \mathcal{E}_{3,1} \times \mathcal{E}_{4,1}; \quad \text{Кпос3} = \text{I} \quad m_{\beta} = 3 \quad \Rightarrow \text{рассматривается для отказа } \mathcal{E}_{3,1}$$

$$Q_4 = \mathcal{E}_{2,1} + \mathcal{E}_{4,1}; \quad \text{Кпос4} = \text{II} \quad m_{\beta} = 1 \quad \Rightarrow \text{рассматривается для отказа } \mathcal{E}_{2,1}$$

а категории последствий видов отказов Q_1, Q_2, Q_3 и Q_4 соответственно следующие: IV, I, I и II. Выбор наиболее неблагоприятных сочетаний производится следующим образом. Если среди N видов отказов ФС, одной из причин которых является рассматриваемый вид отказа элемента $\mathcal{E}_{\gamma,\beta}$, найдется такой, которому соответствует сочетание наиболее высокой из N категории последствий и наименьшего для $\mathcal{E}_{\gamma,\beta}$ параметра m_{β} , то это сочетание записывается в соответствующие графы табл. 8.

Во всех случаях просматриваются все N сочетаний, соответствующие анализируемым видам отказов, и отсеиваются те сочетания, которые включают либо более высокий параметр функциональной значимости m_{β} (по сравнению с не исключенными до этого сочетаниями) при одной и той же категории последствий; либо более низкую (с большим номером) категорию последствий при одном и том же параметре m_{β} . Оставшиеся после просмотра всей группы N видов отказов сочетания являются наиболее неблагоприятными. При этом, если для одного вида отказа существуют два или более сочетаний, в которых разные между собой и категории последствий, и параметры функциональной значимости, то при анализе рассматриваются все эти сочетания.

Оценка вероятности отказов при анализе дается на основе исходных данных по надежности (графа 6 табл. 6).

После заполнения граф 1-6 табл. 8 с помощью логической схемы второго уровня анализа (см. рис. 15) определяются категории важности видов отказов элементов, выбираются методы их ТЭ и заполняется графа 7.

Установление категорий важности, зависящих от влияния видов отказов элементов на безопасность и регулярность полетов, необходимо для последующего формирования состава работ по ТО. Чем выше категория, тем выше должны быть требования к эффективности выбираемых работ. Категории важности пронумерованы от 1 до 3 в порядке убывания (понижения категории) влияния отказов элемента на указанные выше свойства и обозначены на рис. 15 цифрами в кружках.

Существо каждой из категорий важности проиллюстрировано в табл. 9 и 10 которые представляют собой табличную (матричную) форму представления логики принятия решений по схеме второго уровня анализа.

Таблица 9. Существенные классификационные признаки и категории важности видов отказов элементов для отказов механической природы (типа разрушения или заклинивания)

Значимые параметры	I				II		III		IV	
	1	2 ^{ПНВ+}	2 ^{ПНВ}	3+	1	2+	1	2+	1	2+
ПНВ	1		3	3	3	3	3	3	3	3
КМВ	РМБП	1	3	3	3	3	3	3	3	3
МВ	РМБП	1	3	3	2	3	3	3	3	3
УВ	РМБП	1	3	3	2	3	2	3	3	3
Ч	РМБП	1	3	3	2	3	2	3	3	3

Примечания:

1. Диапазоны вероятностей определены с учетом международных норм летной годности самолетов транспортной категории [22] (см. табл. 3, Раздел 4.4)
2. Для каждой категории последствий (I, II, III и IV) рассмотрены возможные параметры функциональной значимости (1, 2 и более, 3 и более).
3. Для двойных отказов I категории последствий рассмотрены два случая: когда сочетание отказов является ПНВ (2^{ПНВ}) и когда оно более вероятно, чем ПНВ (2^{ПНВ+}).
4. Категории важности и необходимые конструктивные мероприятия выделены цветами.
5. Решение о необходимости доработки (разработки мероприятий) принимается случае выявления несоответствия характеристик рассматриваемого отказа элемента принятым при логическом анализе критериям. Меры планируются либо в обеспечение безопасности полета (РМБП), либо - регулярности полета (РМРП), либо - регулярности вылета (РМЗВ).

Таблица 10. Существенные классификационные признаки и категории важности видов отказов элементов для отказов механической природы (электрические, электронные элементы и т.п.)

Значимые параметры	I				II		III		IV		
	1	2 ^{ПНВ+}	2 ^{ПНВ}	3+	1	2+	1	2+	1	2+	
ПНВ	РМБП		3	3	3	3	3	3	3	3	
КМВ	РМБП	1	3	3	3	3	3	3	3	3	
МВ	ЗНР	РМБП	1	3	3	2	3	3	3	3	
	Н/ЗНР	РМБП	1	3	3	РМРП	3	3	3	3	
УВ	ЗНР	РМБП	1	3	3	2	3	3	3	3	
	Н/ЗНР	РМБП	1	3	3	РМРП	3	3	3	3	
Ч	ЗНР	РМБП	1	3	3	2	3	3	3	3	
	Н/ЗНР	Н/ЗВ	РМБП	РМБП	3	3	РМРП	3	РМРП	3	3
		ЗВ	РМБП	РМБП	РМЗВ	РМЗВ	РМРП	РМЗВ	РМРП	РМЗВ	РМЗВ

Примечание:

- Для более вероятных отказов элементов немеханической природы рассмотрены дополнительные параметры:
- зависимость данного вида отказа элемента от наработки (ЗНР) или отсутствие такой зависимости (Н/ЗНР);
 - влияние отказа на задержку вылета (ЗВ) или отсутствие такого влияния (Н/ЗВ).

Все возможные виды отказов элементов анализируются по одной из четырех частей логической схемы в зависимости от категорий последствий видов отказов ФС, причинами ко-

торых являются рассматриваемые виды отказов элементов. Ответы на вопросы логической схемы даются на основании исходных данных (табл. 5 - 8).

Видам отказов элементов, имеющим параметр m_{β} больше единицы при IV категории последствий, вне зависимости от их вероятности, а также - не менее 3 для I категории последствий и не менее 2 для II и III категорий и являющимся умеренно вероятными, - устанавливается 3 категория важности и назначается метод ТЭО. Для остальных случаев возможно применение лишь методов ТЭП или ТЭР.

В результате анализа для каждого вида отказа устанавливается категория важности и рекомендуемый для нее метод ТЭ (указываются в графе 7). Если одному виду отказа соответствует несколько строк в графах 3 и 4, то необходимо проанализировать по схеме каждое из этих сочетаний, а в результирующую графу 7 можно внести только наиболее высокую (с меньшим номером) категорию из полученных, что обеспечит наименьший риск при удовлетворении требований к безопасности и регулярности полетов.

Каждой категории важности поставлены в соответствие два или три метода ТЭ, окончательный выбор которого зависит от возможностей контроля предотказного состояния элемента. Если один или несколько видов отказов элемента имеют категории важности 1 или 2, то для него приемлемы только методы ТЭП или ТЭР. Однозначный выбор метода ТЭ обеспечивается ответом на вопрос 9. Метод ТЭП может быть назначен изделию только при следующих условиях:

- наличие параметров, с достаточной достоверностью определяющих предотказное состояние элемента;
- наличие технического и методического обеспечения для контроля состояния элемента, возможности его восстановления (замены) при достижении предотказного состояния.

Соответствующую направленность приобретает и последующий анализ данного вида отказа элемента по логической схеме выбора работ по ТО. Для таких отказов должны быть установлены признаки, определяющие ранние стадии развития отказа, и нормы технических параметров, позволяющие выявлять и контролировать ранние признаки в целях своевременного предупреждения недопустимого развития отказа (предотказного состояния) элемента.

Важно подчеркнуть, что метод ТЭР однозначно назначается для тех элементов, у которых хотя бы один из возможных видов единичных отказов отнесен к I категории важности. При этом назначенная величина ресурса такого элемента должна обеспечивать практическую невероятность его отказа в пределах назначенного ресурса.

В случае выявления несоответствия характеристик рассматриваемого отказа элемента принятым при логическом анализе критериям принимается решение о необходимости доработки (разработки соответствующих мероприятий), либо в обеспечение безопасности полета (РМБП), либо – регулярности полета (РМРП), либо – регулярности вылета (РМЗВ). Это решение также записывается в графу 7 табл. 8. Принятие такого решения необходимо в том случае, если уровень надежности элемента не позволяет эксплуатировать его до безопасного отказа, и при этом надежность элемента не снижается по мере роста наработки, то есть нет возможности для гарантии нужного уровня надежности выбрать соответствующую величину назначенного ресурса или периодичности контроля предот-

казного состояния элемента (которые в таком случае являются единственной мерой обеспечения безопасности или регулярности полетов).

Все мероприятия, направленные на уменьшение влияния отказов элемента на безопасность и регулярность полетов, можно разделить на две группы:

- 1) совершенствование схемных решений ФС (резервирование, блокировки ошибочных действий экипажа и т. д.) с целью увеличения параметра m_{β} соответствующих элементов (путем повышения кратности резервирования (ЭД 1680)) или снижения категории последствий видов отказов ФС;
- 2) совершенствование конструкции, материалов, технологии изготовления элемента и (или) улучшение условий его работы в ФС для повышения надежности по рассматриваемому виду отказа.

Элементы, по которым намечена разработка мероприятий, исключаются из дальнейшего анализа, причем принятие решения в последующем зависит от того, к какой из двух указанных выше групп относятся планируемые мероприятия.

Если для вида отказа элемента намечается мероприятие из второй группы, то, независимо от результатов анализа отказов других элементов, производятся соответствующее изменение исходных характеристик его надежности и повторный анализ этого вида отказа по схеме рис. 15 с выбором категории важности и метода ТЭ. Это связано с тем, что подобные мероприятия не изменяют существа влияния рассматриваемого отказа на безопасность и регулярность полетов, а могут только снизить вероятность его возникновения.

Если же в качестве эффективного мероприятия выбирается совершенствование схемных решений, то в силу их комплексного характера (по отношению ко многим элементам ФС) разработка конкретных мероприятий производится только после завершения анализа отказов всех элементов по логической схеме. После разработки таких мероприятий (из 1-й группы) и связанной с этим корректировки соответствующих исходных данных: степени опасности особой ситуации из-за отказа (ЭД 3720), данных о регулярности полетов, логических зависимостей отказа ФС от отказов элементов (функций отказности), – вновь проводится анализ указанных элементов, начиная с первого уровня анализа. При этом может оказаться целесообразным вновь провести анализ тех видов отказов элементов, по которым в результате предложенного совершенствования схемных решений изменились параметр m_{β} и (или) категория последствий.

При принятии решения о проведении доработок необходимо иметь в виду, что оба вида доработок взаимосвязаны. Проведение схемных доработок может исключить необходимость мероприятий по повышению надежности элементов и наоборот.

При ответах на вопросы логической схемы второго уровня анализа целесообразно руководствоваться следующими рекомендациями. В вопросе 2 под механическими элементами понимаются агрегаты, подвергаемые статическим и динамическим нагрузкам (узлы навески аэродинамических поверхностей, силовые цилиндры, стойки шасси и т.д.). Здесь рассматривается также заклинивание (в том числе в результате разрушения) соответствующих механических элементов. Ограничение возможностей резервирования указанных элементов, как правило, связано с весовыми лимитами и (или) особенностями конструкции ВС, обусловленными его назначением. Для ответа на вопрос 4 при отсутствии данных об изменении интенсивности отказов можно считать существенным ее рост для механических и гидравлических агрегатов, гидравлических и воздушных клапанов и других изде-

лий, отказы которых имеют явный «износостойкий» характер (типа разрушения, негерметичности и т.п.).

5.2.4 Третий уровень анализа

Выбор работ по ТО производится для каждого рассматриваемого вида отказа элемента в соответствии с выбранной для него категорией важности.

Все виды отказов элементов к этому этапу анализа уже разделены на три группы:

- 1) первой категории важности (методы ТЭП или ТЭР),
- 2) второй категории важности (методы ТЭП или ТЭР) и
- 3) третьей категории важности (методы ТЭП, ТЭР или ТЭО).

Первая группа – отказы, влияющие на безопасность, вторая – на регулярность полета (прерывание или изменение плана полета), третья – на задержки вылета и иные последствия (экономическая категория).

С учетом этого деления анализ каждого из возможных видов отказов элементов (как причины отказов ФС в целом) производится по одной из трех ветвей логической схемы выбора работ по ТО - логической схемы третьего уровня (рис. 16).

В качестве характерных работ для выбранных категорий важности и методов ТЭ элементов принимаются:

- при ТЭР – работы, направленные на выявление отказов элемента и его восстановление или списание (плановое и (или) неплановое) после отказа или выработки ресурса;
- при ТЭП – работы, направленные на предупреждение отказов элемента, то есть выявление ранних признаков отказов (контроль предотказного состояния) с последующим неплановым восстановлением элемента при достижении предотказного состояния;
- при ТЭО – работы, направленные на выявление и устранение отказов элемента.

Кроме того, при каждом из методов ТЭ возможно проведение приемлемых и эффективных профилактических работ по поддержанию режимов и (или) условий функционирования элемента.

При анализе рассматриваются следующие основные виды работ:

- 1) профилактические работы (смазка, чистка, мойка и другое технологическое обслуживание);
- 2) плановые работы по контролю работоспособности ФС или ее элементов в полете или на земле, которые предусматривают только установление факта наличия или отсутствия отказа;
- 3) плановые работы по контролю технического состояния (контролю исправности) с выявлением отказов (повреждений) и предотказных состояний работоспособных пока элементов;
- 4) восстановительные работы (как плановые, так и неплановые) при достижении изделимом одного из видов предельного состояния (выработки ресурса, отказа, предотказного состояния).

Следует заметить, что выбор неплановых работ ТО не является в общем случае предметом рассматриваемого анализа, направленного на формирование требований к плановому ТО ВС. Однако в связи с формированием таких требований имеет смысл рассмотреть некоторые аспекты непланового восстановления элементов, в частности, возможность замены элемента на борту ВС при ТО на земле, либо устранения отдельных видов отказов на борту в процессе полета. Для этого в логической схеме анализа предусмотрены соответствующие вопросы, ответы на которые могут иметь только экспертный характер и в процессе анализа даются инженером-аналитиком с привлечением, при необходимости, специалистов конструкторских подразделений.

При выборе работ оцениваются необходимость, возможность выполнения и эффективность плановых работ по ТО. Кроме того, дополнительно оценивается возможность выполнения неплановых восстановительных работ (текущего ремонта на борту или замены элемента). При анализе видов отказов элементов по логической схеме выбора работ следует руководствоваться приведенными ниже рекомендациями.

Оценка необходимости выполнения в первую очередь актуальна для плановых работ и физически определяется схемным построением ФС, возможностями БСК, характеристиками надежности и конструкцией элемента как объекта ТО. Здесь и далее по тексту под «объектом ТО» понимаются ВС в целом, его ФС или элемент ФС (составная часть), обладающие индивидуальными потребностями в ТО и возможностью выполнения этих работ. В процессе анализа учитываются следующие факторы:

- категория важности вида отказа элемента (последствия отказа для работы ФС, то есть вид особой ситуации в полете и влияние на план полета, кратность резервирования и уровень надежности элемента по данному виду отказа);
- особенности проявления (признаки) рассматриваемого вида отказа, возможности его выявления в полете и на земле;
- возможности возникновения и «накопления» повреждений элемента, приводящих к наиболее опасным видам его отказов (первой категории важности), непосредственно влияющим на безопасность полетов (для особо ответственных агрегатов), а также возможности выявления таких ранних признаков развивающегося отказа (контроль предотказного состояния).

Если обеспечивается достоверное обнаружение отказов в полете, а своевременное их устранение при ТО гарантирует, что особые ситуации в полете могут возникнуть с частотой, не превышающей установленный нормативный уровень, то элемент в плановых работах по контролю его работоспособности и (или) исправности не нуждается.

Оценка необходимости профилактических работ по поддержанию характеристик и (или) условий функционирования элемента и плановых восстановительных работ обуславливаются конструкцией элемента, характеристиками его надежности и принятым методом ТЭ. Принципиальную и практическую возможность выполнения работ по ТО следует определять на основании качественного анализа эксплуатационной технологичности (доступности, легкосъемности и др.) элементов, а также приспособленности ФС в целом к выполнению работ с учетом планируемой структуры ТО, характеристик средств ТО и опыта эксплуатации элементов-аналогов. Например, может быть установлена «практическая» невозможность контроля работоспособности или восстановления элемента, если для этого необходимо проведение сложных и трудоемких демонтажных работ по обеспечению дос-

тупа, которые не могут быть выполнены в условиях эксплуатации без специального оснащения.

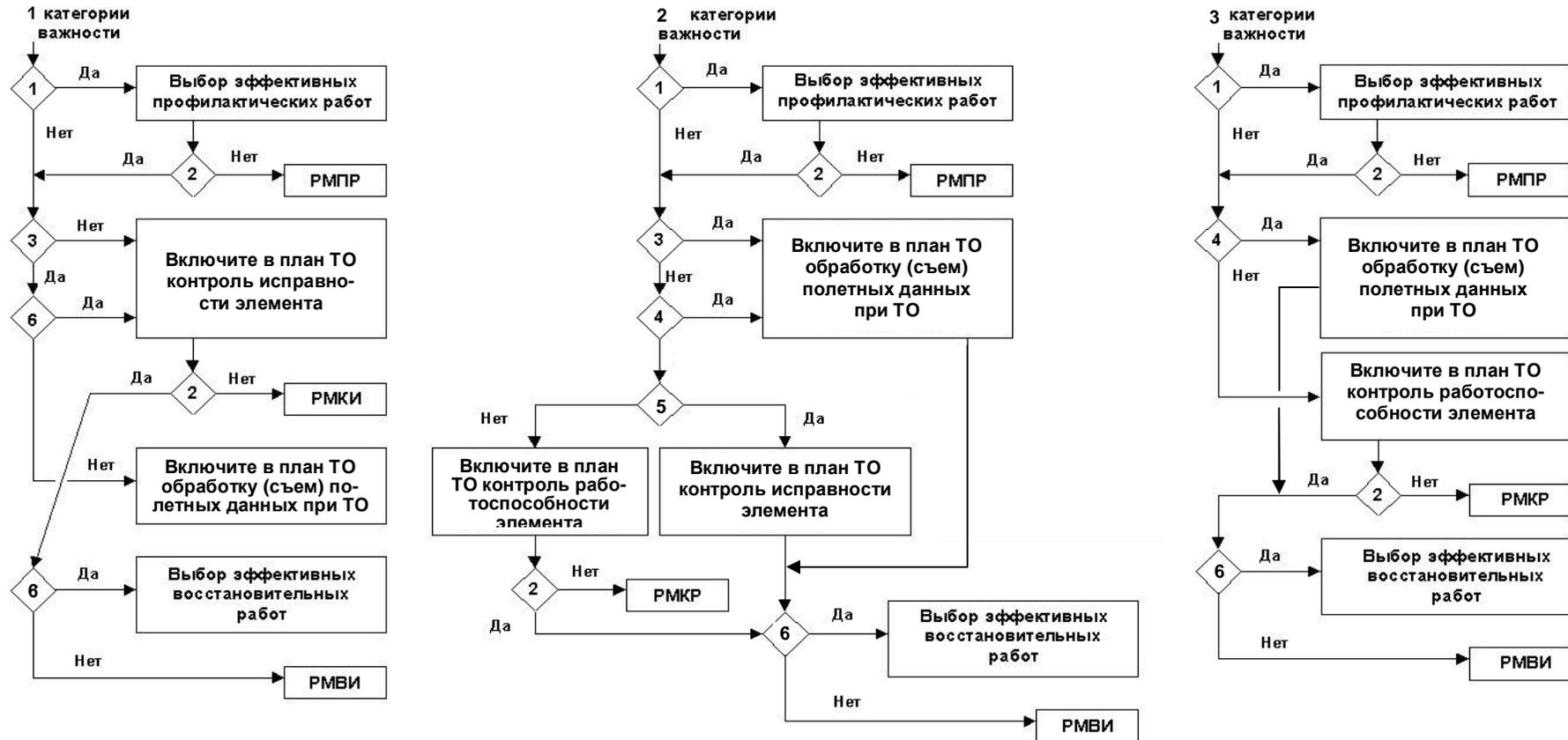
Выбор эффективных работ из соответствующей классификационной группы, необходимость выполнения которых обоснована в процессе анализа, рассматривается с учетом места выполнения (на борту, на стоянке, в лаборатории), состава планируемых к применению средств ТО (включая средства эксплуатационного контроля и инструмент) и материалов, и других особенностей, определяющих качество работ и затраты на их выполнение. Под эффективными понимаются те работы, которые требуют меньших затрат, при условии, что качество выполнения работ удовлетворяет требованиям в отношении безопасности. Затраты на выполнение рассматриваемой работы определяются прежде всего ее трудоемкостью и затратами на использование при выполнении данной работы специальных средств и материалов.

Качество в зависимости от вида работ определяется достоверностью контроля, степенью восстановления номинального технического состояния элемента и другими требованиями конструкторской документации, а также теми положениями документации, которые направлены на обеспечение надежности и безопасности рассматриваемого элемента в эксплуатации.

Выбору работ по ТО элементов, как показано выше, предшествует выбор эффективных плановых работ для контроля работоспособности ФС в целом. Результатом анализа является перечень плановых проверок функционирования системы, направленных на выявление скрытых от экипажа и БСК отказов ФС, который заносится в таблицу 11 и учитывается при обосновании состава работ по ТО элементов, входящих в данную ФС.

Выбор работ по ТО осуществляется при формировании ответов на вопросы 1 ... 6 логической схемы выбора работ (см. рис. 16).

ВИДЫ ОТКАЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ



ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ

1. Приемлемы ли профилактические работы по поддержанию характеристик и (или) условий функционирования элемента?
2. Приспособлены ли конструкция и средства ТО к выполнению выбранных работ?
3. Является ли контроль экипажа и (или) БСК эффективным для выявления в полете предотказного состояния элемента?
4. Является ли контроль экипажа и (или) БСК эффективным для выявления в полете данного вида отказа элемента?
5. Существует ли возможность и целесообразность контроля исправности элемента при ТО?
6. Обеспечено ли восстановление элемента при ТО при достижении установленного для него предельного состояния (отказа, предотказного состояния или выработки ресурса)?

Рис. 16. Логическая схема выбора работ по ТО элементов ФС

Вопрос 1.

Для ответа на этот вопрос анализируется конструкция элемента и рассматриваются его основные составные части, отказы которых являются причинами данного вида отказа элемента. При анализе оценивается приемлемость профилактических работ для снижения интенсивности (частоты) отказов элемента. Профилактические работы по поддержанию характеристик и (или) условий функционирования элемента обычно включают:

- работы по смазке;
- заправку и дозаправку рабочими телами (жидкостями или газами);
- работы по уходу за дренажными отверстиями;
- очистку от пыли, грязи, продувку, мойку;
- слив отстоя из отстойников и др.

Потребность элементов в этом виде работ зависит от их конструктивных особенностей и конструкции ФС в целом. Если рабочие параметры не могут быть сохранены в пределах, предусматриваемых конструктором в конструкторской документации, без поддержания заданных условий функционирования элемента, то этот вид работ должен выполняться на изделии независимо от того, к какой категории важности отнесен рассматриваемый вид отказа элемента.

Вопрос 2.

Ответ на вопрос дается применительно к конкретным профилактическим и контрольно-проверочным работам, которые признаны необходимыми для поддержания нормальных условий работы, выявления отказов и повреждений элемента. Отрицательный ответ на вопрос 2 означает необходимость доработки конструкции и (или) средств ТО. Если имеющиеся исходные данные по компоновке элемента на борту не позволяют (например, на этапе эскизного проектирования) однозначно ответить на вопрос 2, то на него дается (условно) утвердительный ответ и производится дальнейший анализ вида отказа элемента по всем вопросам логической схемы.

Позднее, после завершения анализа и выбора одной или комплекса эффективных контрольно-профилактических работ и уточнения конструктивно-компоновочного решения ФС, вновь анализируется приспособленность конструкции и средств ТО к выполнению всех выбранных работ и принимается соответствующее логическое решение.

Вопросы 3 и 4.

Для принятия решения следует оценить возможности летного экипажа и БСК по обнаружению анализируемых видов отказов элементов. Контроль летного экипажа включает наблюдение за работой ФС при выполнении членами экипажа своих обязанностей в полете в соответствии с документами по летной эксплуатации, в частности:

- выполнение работ по карте предполетной подготовки;
- контроль показаний приборов, индикаторов и сигнализаторов в кабине ВС;
- выявление отказов и повреждений органолептическим методом, то есть по изменившимся усилиям на органах управления, по запаху, вибрациям, шуму, температурным колебаниям, другим признакам.

Контроль БСК реализуется на основе непрерывной или дискретной регистрации параметров и сигналов, характеризующих состояние элементов ФС. В случае отказа обеспечивается информирование либо членов экипажа в полете, либо наземного технического персонала после его завершения. Одной из важных целей такого контроля является выявление скрытых от экипажа отказов элементов ФС для их последующего устранения и предотвращения развития в функциональные отказы.

Если анализируемый вид отказа элемента не приводит к АС или КС и ответ на вопрос 3 утвердительный, то изделие (по данному виду отказа) в плановых проверках при ТО не нуждается, но для выявления отказов следует обеспечить эффективное использование полетной информации наземным техническим персоналом, для чего необходимо включить в план ТО обработку (съем) полетной информации, зарегистрированной БСК.

Если вид отказа элемента один или в сочетании с другими отказами приводит к АС или КС и ответ на вопрос 3 отрицательный, то необходимо выбрать работы по контролю исправности элемента при ТО.

Для отказов других категорий важности в случае отрицательного ответа на вопрос 4 по рассматриваемому виду отказа элемента необходимы проверки его работоспособности при ТО. При выборе работ оценивается (на качественном уровне) локализация в ФС рассматриваемого вида отказа, достоверность и практическая возможность его выявления при ТО. Такое выявление может быть обеспечено при проверке работоспособности ФС в целом (в штатном режиме ее работы), либо при проверках работоспособности конкретного анализируемого элемента, либо канала ФС, в котором установлен данный элемент. Если данный вид отказа локализован, то есть его возникновение не приводит к отказам других элементов в процессе эксплуатации до очередной плановой проверки, и он может быть выявлен в процессе ТО по отклонениям параметров функционирования системы при ее проверке в штатном режиме, то эти работы следует включить в план ТО. В противном случае надо оценить возможность выявления отказа при плановых проверках работоспособности именно рассматриваемого элемента.

После ответов на вопросы 3 и 4 и связанного с ними выбора состава работ по контролю работоспособности элемента задается вопрос 2 и оценивается возможность выполнения работ (см. выше рекомендации по ответу на вопрос 2). При отрицательном ответе на вопрос 2 разрабатываются мероприятия по совершенствованию конструкции ФС и (или) средств ТО, направленные на обеспечение контроля работоспособности анализируемых элементов при ТО (РМКР).

После оценки необходимости плановых работ по ТО производится анализ приспособленности конструкции, средств ТО и БСК к выполнению выбранных работ (оценка возможности их выполнения). Для этого необходимо ответить на вопросы 5 ... 7 логической схемы (рис. 16).

Таблица 11. Результаты анализа причин отказов и выбора работ по ТО

Тип ВС / АС: MC-21		Вид анализа: системы планера и силовой установки Maintenance Program Development: System & Powerplant Analysis			
		Выбор состава работ Task Selection Question			TSQ
Форма Form: 5	Код по ГОСТ / АТА: 24-00-00	Название системы: система электроснабжения Item Description: Electrical Power			
Наименование и тип элемента	Обозначение отказа	Категория важности	Ответы на вопросы		Состав работ
			№ вопроса-ответ	Обоснование ответа (при необходимости)	
1	2	3	4	5	6
ЦРУ переменного тока, ЦРУ 372	Э1-1	3	1-Нет	ЭФФЕКТИВНЫЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ОТСУТСТВУЮТ	
			4-Да	ОТКАЗ ВЫЯВЛЯЕТСЯ ЭКИПАЖЕМ ПО ИНФОРМАЦИИ КСЭИС	В ПЛАНОВОМ КОНТРОЛЕ ПРИ ТО РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПО ДАННОМУ ВИДУ ОТКАЗА НЕТ НЕОБХОДИМОСТИ
ИСПОЛНИТЕЛЬ: ИВАНОВ И.П. Analyst:	Рабочая группа: №1, 12/08/09 Working Group:	Одобрено КСАП: 13/05/09 ISC Approval:	Вариант: окончательный Revision:	ДАТА: 15/05/09 DATE:	Стр.: 8 из 25 Page:

Вопрос 5.

Вопрос задается для определения практической возможности и необходимости плановых контрольно-проверочных работ, выполняемых при ТО в дополнение к полетному контролю, либо для выявления тех видов неисправного состояния элемента, которые не охвачены полетным контролем.

В случае недостаточной достоверности полетной информации о техническом состоянии элемента (вопрос 3) для видов отказов, существенно влияющих на безопасность (приводящих к АС или КС), на вопрос 5, как правило, дается утвердительный ответ.

Такое же решение однозначно принимается и в случае отрицательного ответа на вопрос 3 для отказов, приводящих к АС или КС. При утвердительном ответе на вопрос 5 назначаются работы по контролю ТС элемента при ТО, направленные на выявление его повреждения или предотказного состояния.

Для видов отказов 2, 3 и 4 категорий важности, приводящих к АС или КС, также могут выбираться работы по выявлению различных видов неисправных состояний элемента (включая повреждения его составных частей), которые в своем развитии могут привести к рассматриваемому виду отказа элемента в целом. При этом анализ конструкции элемента проводится по аналогии с анализом при ответе на вопрос 1.

Назначение работ производится по принципу «от простого - к сложному». В первую очередь рассматриваются более простые и менее трудоемкие работы (например, органолептический контроль). Лишь в случае их низкой эффективности могут назначаться более сложные и дорогостоящие работы (например, проверки функциональных характеристик элемента инструментальными методами на соответствие нормам технических параметров). Такие сложные виды работ характерны в основном для элементов, эксплуатируемых методом ТЭП.

Инструментальный контроль элементов ФС может проводиться как на борту ВС, так и после их демонтажа с борта в лаборатории. Опыт эксплуатации свидетельствует о том, что методы контроля, связанные с демонтажем элемента, его транспортировкой, проверкой на стенде и установкой на борт после проверки, зачастую обуславливают появление дополнительных отказов элемента. Поэтому необходимо, по возможности, выбирать и конструктивно обеспечивать проверки элементов без демонтажа их с борта ВС (с помощью БСК или, в крайнем случае, контрольно-проверочной аппаратуры).

На вопрос 5 дается отрицательный ответ, если обеспечено своевременное выявление вида предотказного состояния анализируемого элемента по полетной информации; а также при рассмотрении отказов, не приводящих к АС или КС, либо имеющих параметр $m_{\beta} \geq 2$. При отрицательном ответе на вопрос 5 следует перейти к выбору работ по контролю работоспособности и далее к рассмотрению вопросов 2 и 6.

Вопрос 6.

Для ответа на вопрос сначала необходимо оценить возможность восстановления элемента на борту путем приведения характеристик элемента в соответствие нормам технических параметров без его демонтажа с ВС. К таким работам относятся:

- устранение негерметичности соединений (затяжка крепежа, восстановление герметизации и т.п.);
- восстановление поврежденных лакокрасочных и других защитных покрытий;
- регулировка блоков оборудования и агрегатов;
- замена отказавших деталей.

При наличии такой возможности выбираются конкретные восстановительные работы. В случае чрезмерных простоев ВС при выполнении сложных и трудоемких работ по восстановлению отказавших элементов на борту и (или) снижения качества выполнения работ в таких условиях производится анализ возможности замены элемента при ТО. Ответ на вопрос 6 дается на основе анализа характеристик ЭТ конструкции и существа данного вида отказа. При утвердительном ответе в дальнейшем производится разработка технологии замены и выбор эффективных восстановительных работ, но эти этапы анализа уже не относятся к формированию требований к плановому ТО ВС.

При отрицательном ответе на вопрос 6 делается заключение о целесообразности разработки мероприятий по обеспечению восстановления исправности элемента (РМВИ) при ТО. Надо заметить, однако, что на практике такой случай может встретиться весьма редко, поскольку он может быть обусловлен только достаточно редкими серьезными конструктивными недостатками, препятствующими устранению отказа на борту или замене элемента в эксплуатации. Как правило ответ на вопрос 6 будет положительным.

Таким образом, в результате анализа всех возможных видов отказов элементов в табл. 11 заносятся эффективные плановые работы по ТО. Для завершения формирования состава работ по ТО необходимо произвести объединение ряда работ, которое выполняется на основе целевого назначения каждой работы с учетом результатов выбора работ по плановому контролю работоспособности ФС в целом и может охватывать ряд видов отказов элементов. Например, при различных видах отказов элементов может требоваться выполнение одной и той же контрольно-проверочной работы - поканальной проверки функционирования системы. Окончательные результаты данного этапа анализа (табл. 12) используются при определении периодичности выполнения работ.

В случае принятия решения о необходимости доработок (РМПП, РМКР или РМВИ) в итоговой таблице выбора работ делается запись о направленности доработки, а после ее выполнения все виды отказов элементов, обусловившие назначение доработок, вновь анализируются по логической схеме. Вновь оценивается необходимость и возможность выполнения ТО и формируется состав эффективных контрольно-профилактических работ. Окончательный перечень работ с указанием их содержания, периодичности и соответствующих кодов представляется в формате табл. 13.

Таблица 12. Результаты выбора работ по ТО

Тип ВС / АС: MC-21		Вид анализа: системы планера и силовой установки Maintenance Program Development: System & Powerplant Analysis						
Форма: 6 Form: 6		Код по ГОСТ / АТА: 26-21-00					МТS	
Номер работы (пункт РО, ТК)		Содержание работы	Метод ТЭ	Кат. важности	Периодичность выполнения работы	Зона	Доступ (№ люка)	Примечания (эффективность работы)
1		2	3	4	5	6	7	8
262100-201		Визуальная проверка и инспектирование электропроводки системы пожаротушения	ТЭО	3	2400 ч или 12 месяцев		323-А	Проверка на отсутствие повреждений, состояния разъемов
262100-202		Утилизация пиропатрона	ТЭР	2	10 лет		323-А	Срок службы рекомендован изготовителем
ИСПОЛНИТЕЛЬ: ИВАНОВ И.П. Analyst:		Рабочая группа: №1, 12/08/09 Working Group:	Одобрено МКК: 13/05/09 ISC Approval:	Вариант: окончательный Revision:	ДАТА: 15/05/09 DATE:		Стр.: 24 из 25 Page:	

Таблица 13. Данные для формирования первоначальных требований к объемам планового ТО ВС

Форма: 7 Form: 7 Номер работы (по ГОСТ 18675)	Категория	Код работы	Периодичность	Применимость		Содержание работы	Кандидаты в зонный осмотр
				Модель	Двигатель		

5.3 Методика выбора периодичности работ по ТО

5.3.1 Общие принципы

Периодичность плановых работ по ТО устанавливается таким образом, чтобы минимизировать естественное ухудшение заложенного в конструкцию уровня безопасности и надежности ВС, его систем и элементов, не допуская выхода уровня летной годности ВС за пределы, установленные нормами летной годности.

Объем планового ТО ВС определяется рабочими группами, включающими представителей авиакомпаний и Разработчика и представляется для утверждения.

В процессе анализа должны быть рассмотрены все модификации ВС.

При определении периодичности работ по ТО ВС рассматриваются типовые режимы его эксплуатации: средняя продолжительность типового полета (ЭД 0820), среднегодовой налет (ЭД 0790).

5.3.2 Определение периодичности ТО систем, силовой установки и вспомогательной силовой установки

Эксплуатационная документация ВС должна содержать рекомендации Разработчика по составу работ и периодичности видов (форм) планового оперативного и периодического ТО («Форма А», «Форма С» и т.д.).

Периодичность планового ТО устанавливается в тех единицах наработки (часах налета, циклах, календарном периоде), которые наилучшим образом определяют физическую природу воздействия режимов эксплуатации на техническое состояние ФС и конструкции ВС.

Данные о результатах эксплуатации аналогов могут быть получены от членов рабочих групп, от поставщиков ПКИ (по надежности и ЭТ), а также из отчетной документации авиационных властей по проблемам ТО и безопасности полетов. Для установления периодичности ТО элементов систем используются результаты стендовых испытаний, инженерные оценки, а также опыт работы над другими подобными проектами и данные из авиакомпаний.

Важным при определении периодичности ТО является выбор расчетных режимов эксплуатации. В обоснованных случаях имеет смысл установить периодичность и в часах налета (наработки), и в виде календарного периода (сутки, месяцы, годы) в зависимости от того, что наступит раньше.

Для каждой работы по ТО должен быть выбран максимально допустимый интервал, на который может отклоняться значение периодичности ее выполнения от целевой базовой периодичности. Все расчетные параметры (часы налета, летные циклы, календарный период) должны быть приведены к расчетному среднегодовому налету.

В общем случае при установлении периодичности работ по ТО рассматриваются три основные группы работ:

- 1) целевые работы по контролю технического состояния;
- 2) целевые работы профилактического характера (смазка, очистка, мойка);
- 3) вспомогательные работы по обеспечению доступа.

Периодичность работ по обеспечению доступа однозначно определяется периодичностью работ первых двух групп.

Периодичность профилактических работ выбирается в основном традиционным экспертным способом с учетом следующих факторов:

1. Имеются ли опытные данные для аналогичных элементов ФС, позволяющие прогнозировать эффективную периодичность плановых работ?
2. Проводились ли конструктивные усовершенствования элементов, планируемых к установке на ВС, которые были направлены на увеличение периодичности выполнения плановых между работ по ТО?
3. Каков массив собранных статистических данных по эксплуатации ВС-аналогов, которые позволили бы определить сроки выполнения работ?
4. Наличие оснований для выбора (по опыту эксплуатации и др.) некоторой "типовой" периодичности работ?
5. Наличие и характер рекомендаций Разработчика (Поставщика) элемента по периодичности работ на основании результатов стендовых испытаний и/или специального инженерного анализа или моделирования?
6. Существуют ли нормативные требования или правила, устанавливающие периодичность выполнения определенных видов работ?
7. Является ли планируемая периодичность экономически эффективной в смысле удельных затрат труда, времени и средств на ТО?

Определение периодичности работ по контролю работоспособности резервированных элементов ФС производится в часах налета с использованием расчетно-аналитических методов.

Видам отказов изделий, периодичность контроля работоспособности которых рассматривается при анализе, присваиваются порядковые номера от 1 до В.

Определение оптимальной периодичности τ_{β} ($1 \leq \beta \leq B$) контроля технического состояния (в часах налета), в которое переходит ФС при возникновении β -го вида отказа (короче – периодичности контроля β -го вида отказа), производится при следующих предположениях:

- 1) вероятности видов отказов элементов, эксплуатируемых методами ТЭО и ТЭР, определяются принятыми в исходных данных интенсивностями (параметрами потока) видов отказов;
- 2) вероятности видов отказов элементов, эксплуатируемых методом ТЭП (если есть возможность применения этого метода ТЭ), равны их нормативным значениям, которые устанавливаются на основании значений Q''_{α} путем распределения последних между вероятностями видов отказов элементов, а периодичности контроля работоспособности этих элементов считаются равными продолжительности типового

полета (то есть в каждом полете подтверждается либо работоспособность, либо отказ элемента).

Для определения оптимальной величины τ_β необходимо знать зависимости

$$Q_\alpha = f(\tau_1, \dots, \tau_\beta \dots \tau_n)$$

вероятностей видов отказов ФС за типовой полет от периодичностей τ_β

Данные зависимости определяются с учетом положений действующих нормативно-методических документов (ОСТ 1 00132 и др.). При этом возникает задача определения коэффициентов корректировки функций отказности с учетом периодичности выполнения выбранных на предыдущих этапах анализа плановых работ по контролю резервированных элементов ФС (с последующим неплановым устранением выявленных отказов). Эти коэффициенты K_α представляют собой постоянные множители, определяемые величиной τ_β и включаемые в слагаемые функций отказности, например,

$$Q_\alpha = q_1 + K_1 \cdot q_3^2 + K_2 \cdot q_2 \cdot q_4 \cdot q_5 + \dots \quad (4)$$

Коэффициенты корректировки определяются по формулам, приведенным ниже в табл. 14.

Таблица 14. Коэффициенты влияния периодичности контроля работоспособности изделий на безотказность ФС (для случая расчета безотказности методом логических схем по ОСТ 1 00132)

Макс. значение m_β	Совокупность отказавших элементов	Вероятность возникновения совокупности отказов элементов		Коэффициент корректировки (влияния периодичности контроля), K_α	Область применения формул ($n_\beta = \tau_\beta / \tau_n$)
		при полной работоспособности перед вылетом	с учетом периодичности контроля и восстановления		
1	2	3	4	5	6
1	1	q_1	q_1	1	
2	1, 2	$q_1 \cdot q_2$	$K_2 \cdot q_1 \cdot q_2$	$(n_1 + n_2) / 2$	
3	1, 2, 3	$q_1 \cdot q_2 \cdot q_3$	$K_3 \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot q_3$	$1/12$ $[3(n_1 \cdot n_2 + n_1 \cdot n_3 + n_2 \cdot n_3) + 2n_1^2 + n_2^2]$	$n_1 \leq n_2 \leq n_3$
4	1, 2, 3, 4	$q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4$	$K_4 \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4$	$1/24$ $[3(n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 + n_1 \cdot n_2 \cdot n_4 + n_1 \cdot n_3 \cdot n_4 + n_2 \cdot n_3 \cdot n_4) + 2n_1^2(n_2 \cdot n_3 \cdot n_4) + n_2^2(2n_1 + n_3 + n_4) + n_3^2(n_1 + n_2)]$	$n_1 \leq n_2 \leq n_3 \leq n_4$

Примечание: Здесь q_β – средняя вероятность отказа за типовой полет продолжительностью τ_n .

Однако для сочетаний более, чем 2 отказов, возникает вопрос о соотношении величин τ_β для отказов, входящих в каждое из рассматриваемых сочетаний, поскольку есть ограничения на применение формул, приведенных в табл. 14. При рассмотрении неявных отказов следует указать, какой из них будет выявляться и устраняться раньше, а какой позже (см. графу 6 табл. 14). Для этого необходимо в случае $m_\beta > 2$ произвести ранжирование неизвестных величин τ_β .

Примем в качестве такого критерия ранжирования ранг R_β для работы, направленной на выявление β -го вида отказа, определяемый трудоемкостью работы, вероятностью отказа и уровнем резервирования

$$R_\beta = m_\beta \lg (T_\beta / q_\beta), \quad \beta = 1 \dots B, \quad (5)$$

где T_β - трудоемкость плановой работы по выявлению (контролю) β -го вида отказа, а m_β - максимальный параметр функциональной значимости β -го вида отказа.

Значения параметра m_β находится на основе анализа информации, помещенной в графе 1 табл. 14. Если при плановой проверке контролируется несколько видов отказов элементов, то используется величина параметра m_β , максимальная из всех значений m_β , соответствующих контролируемым совместно видам отказов элементов, а вместо значения вероятности единичного вида отказа в знаменателе выражения (5) записывается сумма вероятностей видов отказов элементов, контролируемых совместно. Трудоемкость плановых работ по контролю T_β устанавливается на основании исходных данных и результатов анализа по формированию состава плановых работ по ТО ВС.

Предлагаемое правило ранжирования периодичностей τ_β заключается в том, что если ранг $R_\beta \leq R_{\beta+k}$, то $\tau_\beta \leq \tau_{\beta+k}$, то есть, чем больше ранг, тем больше неизвестная пока величина периодичности соответствующей работы по контролю. Если ни для одного из видов отказов элементов m_β не превышает 2, то в ранжировании периодичностей работ нет необходимости.

Коэффициенты корректировки функций отказности зависят от того, какие скрытые отказы резервированных элементов вошли в то или иное сочетание (произведение) вероятностей, которые входят как слагаемые функций отказности. Параметр n_β в данном случае представляет собой число типовых полетов, которое будет выполнено в течение выбранной плановой периодичности работы по контролю данного резервированного элемента или, иначе, – максимально возможное число τ_β / τ_n типовых полетов с отказом резервированного элемента до момента его планового контроля с последующим восстановлением.

После расчета коэффициентов K_α определяются зависимости (4). В дальнейшем изложении будем считать эти зависимости установленными.

Для обеспечения требуемого уровня безотказности ФС величины τ_β должны удовлетворять неравенствам

$$Q_\alpha = f(\tau_\beta) \leq Q_\alpha^* \quad \alpha = 1 \dots A, \quad \beta = 1 \dots B. \quad (6)$$

Поскольку на практике часто имеется множество вариантов периодичностей τ_β , удовлетворяющих ограничениям (6), то в качестве оптимального варианта из числа удовлетворяющих требованиям принимается тот, при котором удельные затраты на ТО минимальны.

Затраты на ТО определяются следующим образом:

$$K_c = K_{c.об} + K_{c.зам} \quad (7)$$

Здесь $K_{c.об}$ – удельная стоимость ТО (в рублях или иной валюте на 1 ч налета), включающая затраты на плановые работы по контролю работоспособности элементов ФС:

$$K_{c.об} = f \cdot \sum_{\beta=1}^e \frac{T_{\beta}}{\tau_{\beta}},$$

где T_{β} - трудоемкость планового контроля β -го вида отказа элемента;

f - средняя часовая тарифная ставка исполнителя работ по ТО;

$K_{c.зам}$ - удельные затраты на замену отказавших элементов:

$$K_{c.зам} = f \cdot \sum_{\beta=1}^e \frac{T_{зам}}{\tau_{\beta}},$$

где $T_{зам}$ - трудоемкость замены элемента.

В целях упрощения расчетов с учетом допущения о постоянной тарифной ставке f можно вместо K_c использовать суммарную удельную трудоемкость ТО - K_m .

Минимум величины K_c при выполнении ограничений (6) можно найти так:

1) составляется функция Лагранжа

$$L(\tau_{\beta}, U_{\alpha}) = K_c(\tau_{\beta}) + \sum_{\alpha=1}^A U_{\alpha} [Q_{\alpha}(\tau_{\beta}) - Q^H_{\alpha}],$$

где U_{α} - неотрицательные неопределенные множители;

2) составляется система уравнений, являющихся необходимыми и достаточными условиями существования седловой точки функции Лагранжа при выполнении условий ранжирования

$$R_{\beta} \leq R_{\beta+\kappa}$$

$$\tau_{\beta} \leq \tau_{\beta+\kappa}$$

$$\frac{dL}{d\tau_{\beta}} = 0, \beta = 1 \dots B,$$

(8)

$$Q_{\alpha}(\tau_{\beta}) - Q^H_{\alpha} = 0.$$

3) решается система уравнений (8) и определяются значения τ_{β}^* , соответствующие седловой точке функции Лагранжа.

Найденные значения

$$\tau_1^*, \tau_2^*, \dots, \tau_B^*$$

будут обращать в минимум выражение (7) при ограничениях (6).

Рассматриваемая система в общем случае является системой нелинейных уравнений и ее решение может быть получено с помощью итерационных методов на ЭВМ. Однако на практике для одной ФС она, как правило, сводится к достаточно простой системе уравнений и поддается решению даже без применения ЭВМ.

Для упрощения составления и решения рассматриваемой системы рекомендуется следующее.

1. Необходимо определить ограничения (6), неактивные в точке τ_{β}^* , то есть ограничения, для которых заведомо справедливо

$$Q_{\alpha}(\tau_{\beta}^*) < Q_{\alpha}^H$$

Эти ограничения могут быть исключены из рассмотрения при определении значений τ_{β}^* .

2. Целесообразно перед составлением функции Лагранжа максимально упростить зависимости (4) в соответствии с чувствительностью Q_{α} к величинам членов функций отказности, включающих искомые значения τ_{β} в разных степенях.

Если, например,

$$Q_{\alpha} = X \tau_1 + Y \tau_1 \tau_2 + Z \tau_1^3$$

и величины X и Z одного порядка, то членом $X \tau_1$ можно пренебречь без существенного снижения точности получаемого решения системы (8).

5.3.3 Методические рекомендации по определению периодичности контроля предотказного состояния элементов ФС

Определение периодичности контроля предотказных состояний элементов ФС производится в предположении, что величины периодичностей τ_{β}^* определены, исходя из того, что работоспособность элементов, эксплуатируемых методом ТЭП, подтверждается в каждом полете. Рассмотрим теперь вопрос о выборе оптимальной периодичности контроля предотказного состояния элементов ФС. Для ее установления необходимо знать следующие данные:

- 1) параметры, определяющие техническое состояние элементов, их номинальное значение (установленное в технических условиях) и величины упреждающих допусков;
- 2) зависимости значений определяющих параметров и показателей безотказности от наработки элементов ФС.

При наличии указанных характеристик оптимальные величины $\tau_{np \beta}$ периодичности контроля предотказного состояния по β -м видам отказов элементов определяются по критерию минимума удельных затрат на ТО в соответствии с рекомендациями предыдущего раздела, с использованием вместо величин τ_{β} для рассматриваемых видов отказов элемента соответствующие величины $\tau_{np \beta}$. После установления таким образом зависимостей Q_{α} от величины $\tau_{np \beta}$ каждого из элементов, эксплуатируемых методом ТЭП, все расчеты выполняются аналогично определению оптимальной периодичности контроля работоспособности элементов ФС.

Однако в настоящее время зависимости, характеризующие изменение определяющего параметра и надежности элемента с ростом наработки, на практике установлены для очень

ограниченного числа элементов, поэтому определение на этапах создания БСК оптимальных величин $\tau_{np\beta}$ представляется весьма затруднительным.

Для определения величин $\tau_{np\beta}$ из условия обеспечения нормативного уровня безотказности можно воспользоваться приближенной формулой*

$$\tau_{np\beta} = \frac{2T_{np\beta}(T_{o\beta} - T_{np\beta})}{\tau_n} q_{\beta}^n, \quad (9)$$

где $T_{np\beta}$ - средняя наработка до предотказного состояния по β -ому виду отказа элемента;
 $T_{o\beta}$ - средняя наработка до β -го вида отказа элемента при условии, что в процессе эксплуатации предотказное состояние не контролируется.

Эта формула основана на допущении об экспоненциальном распределении наработок до отказа и до предотказного состояния. При этом можно считать интенсивность перехода из предотказного состояния в отказ, не зависящей от времени перехода.

Нормативное значение вероятности q_{β}^n β -го вида отказа элемента определяется нормативной вероятностью Q_{α}^n вида отказа ФС, к которому приводит данный отказ элемента.

Таким образом, если работоспособность (или отказ) элемента, эксплуатируемого методом ТЭП, будет устанавливаться в каждом полете, а его предотказное состояние будет контролироваться с периодичностью, определенной из (8), то вероятность отказа элемента за полет не превысит нормативного значения.

Значение средней наработки до отказа (ЭД 0570) определяется для рассматриваемого элемента как величина, обратная интенсивности (параметру потока) вида отказа, по которому контролируется предотказное состояние (приведена в табл. 14).

Средняя наработка до предотказного состояния (ЭД 1660) определяется путем испытаний, математического моделирования или по опыту эксплуатации элементов-аналогов.

Поскольку описанная выше методика расчета периодичности ТО достаточно сложна в реализации и требует не всегда доступных исходных данных, в Приложении 1 приводится альтернативная упрощенная (приближенная) методика такого расчета.

5.3.4 Определение периодичности ТО конструкции планера

Сроки плановых работ по конструкции планера обусловлены ожидаемыми условиями его эксплуатации, правилами назначения периодичности выполнения выбранных работ по ТО, основанными на ожидаемых значениях характеристик усталостной прочности, конструктивно-схемных характеристиках конструкции планера, рекомендациях разработчиков и поставщиков составных частей (элементов) и опыте эксплуатации аналогичных типов ВС.

Периодичность планового ТО конструкции планера определяется для каждой работы с учетом анализа и/или опыта эксплуатации. Некоторые интервалы могут быть определены в циклах, другие могут быть определены по календарным срокам.

В случае назначения периодичности для работ планового ТО в нескольких единицах вводится требование - «что наступит раньше».

5.3.5 Определение периодичности зонных осмотров

Сроки работ по зонным осмотрам определяются, прежде всего, самым коротким интервалом, назначенным для общих визуальных осмотров. При этом следует придерживаться следующих правил.

1. Работы по осмотрам конструктивно важных элементов, основных силовых элементов, элементов защиты от молнии и электромагнитных полей высокой интенсивности могут охватываться Программой зонных осмотров, если им присвоен статус «общего визуального осмотра».
2. Периодичность зонных осмотров должна соответствовать периодичности общего визуального осмотра, выполняемого в той же зоне. В случае, если для элементов, размещенных в одной зоне, задается периодичность в часах (циклах) и в календарном периоде, то эти периодичности могут быть заданы и для интервалов зонных осмотров, например, зонный осмотр конструкции с периодичностью 4 года и проверка функционирования систем с периодичностью 8000 часов могут иметь периодичность зонного осмотра с интервалом «4 года или 8000 часов (что наступит быстрее)».
3. В зонные осмотры не включаются работы по ТО систем и силовой установки, которые определены, как влияющие на безопасность полетов.

5.3.6 Группировка выбранных работ в плановые виды ТО

После выбора состава работ и назначения (оптимизации) рекомендуемой периодичности каждой из работ формирование требований к плановому ТО ВС можно считать завершенным. Вместе с тем, ряд заказчиков бывает заинтересован в рекомендациях разработчика ВС по построению так называемой пирамидальной структуры ТО ВС в виде базовых плановых видов ТО увеличивающейся периодичности (как оно и принято в исходных данных для проводимого анализа), в связи с чем возникает задача группировки работ в виды ТО (оперативные и периодические (регламентные) виды (формы) ТО), которая повлияет и на рациональную плановую периодичность каждой из работ. Этот случай может быть рассмотрен по желанию заказчика, и определение рациональной периодичности может быть произведено в основном в соответствии с приведенной выше процедурой.

5.4. Методика планирования ТО по MSG-3

В данном разделе кратко описана методика формирования требований к плановому ТО по АТА MSG-3 [15]. 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 ВС, данных об эксплуатации аналогов, о результатах испытаний и реальной эксплуатации ВС.

Методика представляет собой поэтапный логический анализ элементов конструкции (функциональных систем ВС, силовой установки) и их видов отказов, следовательно, основными исходными данными для нее являются результаты структурного, функционального анализа (ЛСФ и ЛСИ) и результаты АВПКО.

5.4.1 Выбор объекта анализа

Объектом анализа 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. Так как процедура MSG-3 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 ВС)?

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

5.4.2 Порядок анализа

Для проведения анализа используется логическая диаграмма, содержащая вопросы, которые задаются относительно разных объектов анализа. Ответы на вопросы (ДА/НЕТ) приводят к определению категории последствий отказа (ЭД 0990), вида плановой работы (ЭД 2230) или к следующему вопросу диаграммы.

Диаграмма анализа состоит из двух уровней (рис. 17 и рис. 18):

- **на 1-ом уровне** (вопросы 1, 2, 3 и 4) требуется оценить каждый **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ОТКАЗ** для определения **КАТЕГОРИИ ОТКАЗА** по MSG-3, 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 ТО.

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 скры-

того 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 диаграммы, 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.

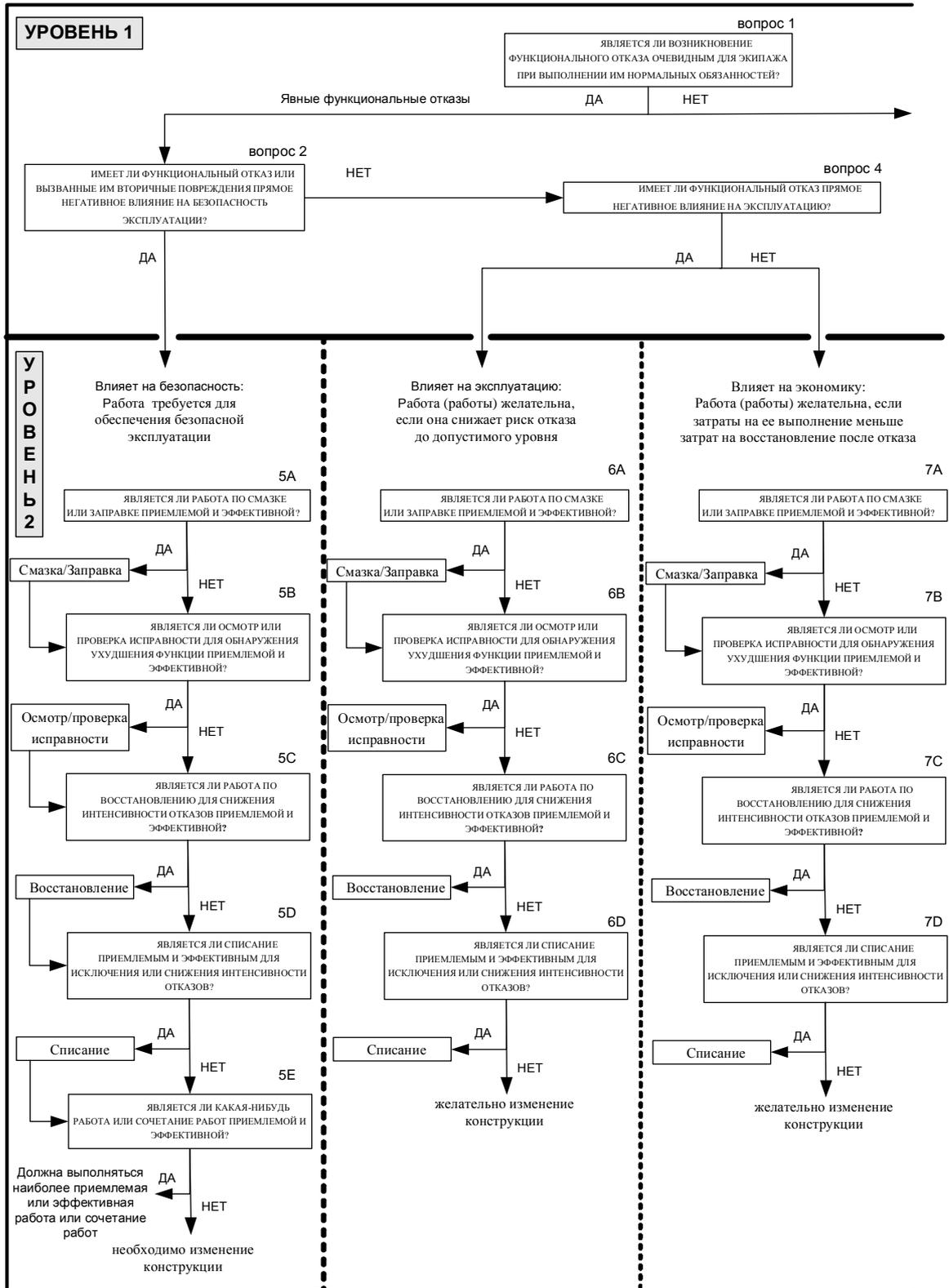


Рис. 17. Диаграмма анализа по MSG-3

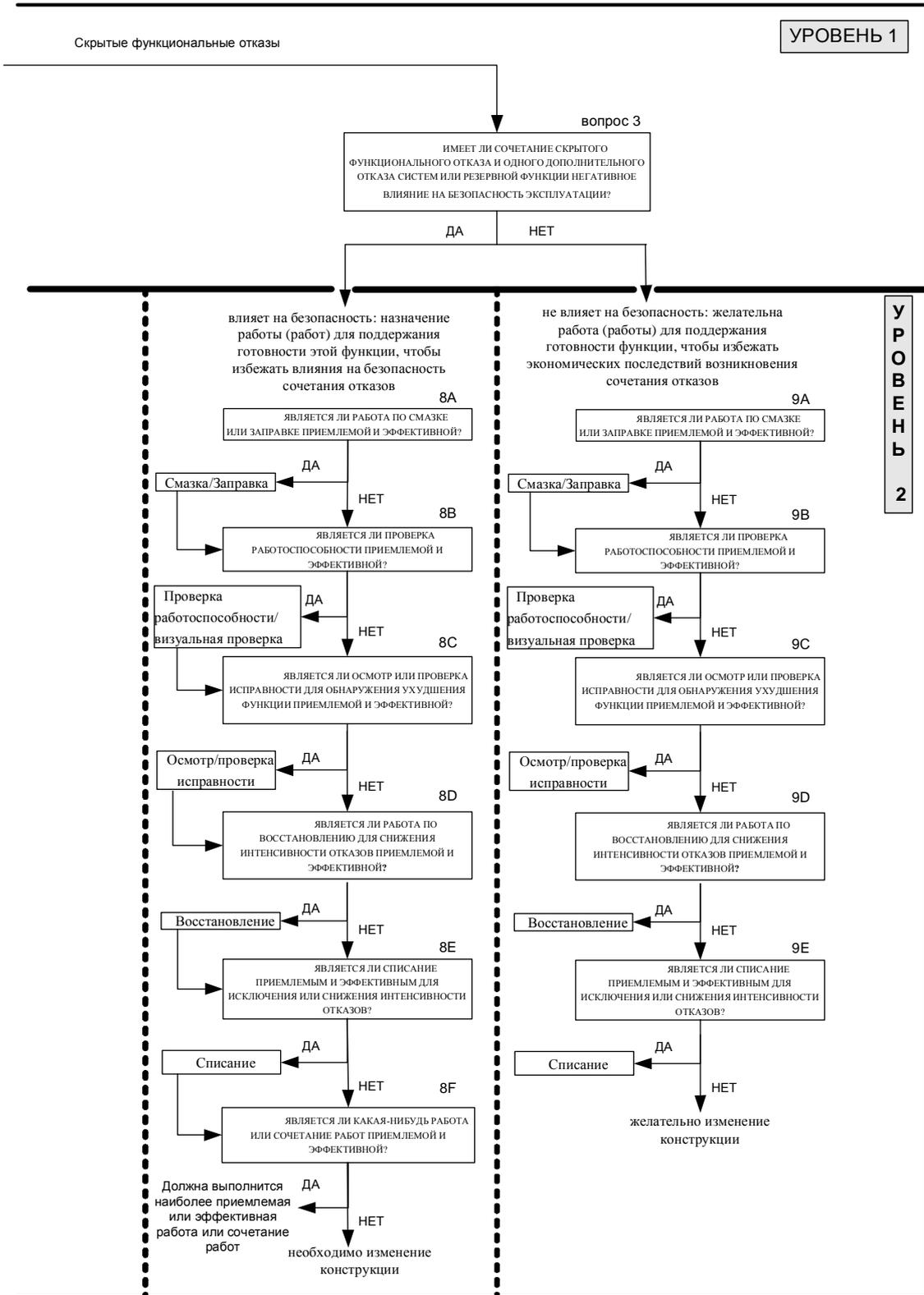


Рис. 18. Диаграмма анализа по MSG-3 (продолжение)

5.4.3 Первый уровень диаграммы (определение категории отказа)

На 1-ом уровне диаграммы задаются 4 вопроса по отношению к каждому функциональному отказу выбранного функционального блока.

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 ВС, описанные, большей частью, в руководстве по летной эксплуатации. Если существуют проверки, не включенные в руководство, но которые могут выполняться летным экипажем для обнаружения отказа, то при анализе следует отметить этот момент, а также необходимость включения данной процедуры в руководство, в этом случае отказ может быть отнесен к «явным». Если в будущем будет принято решение не включать данную проверку в руководство, 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.

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 ВС).

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

В данном контексте **эксплуатация:** период времени, в течение которого экипаж находится на борту с целью совершения полета.

Вопрос 3: Имеет ли сочетание скрытого функционального отказа и одного дополнительного отказа системы 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 дополнитель-

ный отказ является тем событием, ради которого была разработана система или оборудование.

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, не оказывающему прямого негативного влияния на безопасность. Ответ может зависеть от режима эксплуатации. Оценка влияния или отсутствия влияния на эксплуатацию может потребовать обращения к MMEL (Типовой минимальный перечень) и/или к другим документам, регламентирующим методику эксплуатации. Так как документы, необходимые для оценки влияния на эксплуатацию, обычно недоступны во время начальной стадии проведения анализа MSG-3, при рассмотрении вопроса 4 ответ дается 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 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 диаграмме 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 диаграмме 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 этой категории может быть желательной работа (работы) для поддержания готовности функции, чтобы избежать экономических последствий возникновения сочетания отказов. Анализ причин отказа по диаграмме 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.

5.4.4 Второй уровень диаграммы (определение состава работ)

Определение состава работ выполняется почти одинаково для всех пяти категорий отказа. Для определения состава работ нужно провести анализ причин функционального отказа с помощью логической диаграммы 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 неинструментальными 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: Являются ли осмотр или проверка исправности для обнаружения ухудшения функции приемлемыми и эффективными?

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. Могут 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 5C, 6C, 7C, 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 5E: 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.

После определения состава работ по ТО их периодичность может быть определена по методике, описанной в разделе 5.3.2.

6 Методика расчета параметров материально-технического обеспечения (МТО)

6.1 Общие указания

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:

- объем 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 (ЭД 0520);
- объем минимального запаса A_{min} , который должен обеспечить требуемый коэффициент готовности в течение времени поставки заказанной партии запчастей на склад (ЭД 0530);
- объем партии поставки Q при пополнении запаса (ЭД 0540).

6.2 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 (0290) – 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. 19 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.

- 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 объема начального запаса это продолжительность начального МТО ($t_{нач}$), для объема 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 соответствующий временной интервал, можно найти средние значения определяемых параметров МТО: средний объем начального запаса a_{max} , средний объем минимального запаса a_{min} и средний объем партии поставки q по формулам:

$$\begin{aligned} \alpha_{max} &= \tilde{\lambda} \cdot n \cdot (t_{нач} + t_n), \\ \alpha_{min} &= \tilde{\lambda} \cdot n \cdot t_n, \\ q &= \tilde{\lambda} \cdot n \cdot t_3, \end{aligned}$$

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. 20.



Рис. 20. 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. 21 приведен график «накопленной» вероятности появления от 0 до m отказов деталей одного типа.

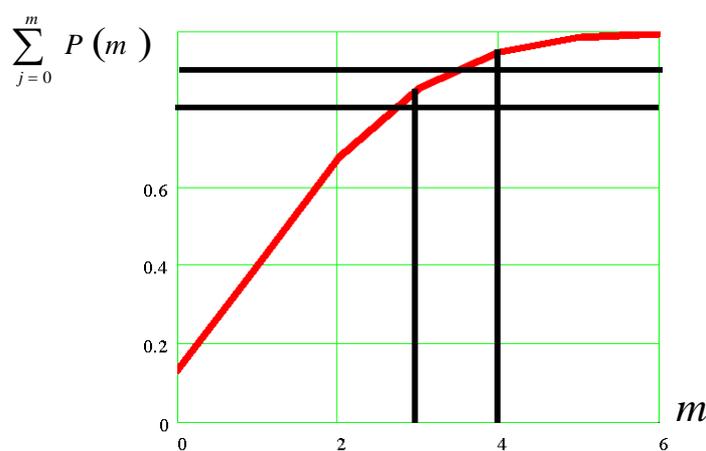


Рис. 21. «Накопленная» вероятность появления от 0 до m отказов для $\mu=2$

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. 21 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

$$1 - R \leq \sum_{j=0}^m \frac{\mu^j}{j!} e^{-\mu} \quad (10)$$

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. 21. 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 $(A_{max})_{\text{непл}}$, $(A_{min})_{\text{непл}}$ и $Q_{\text{непл}}$ можно найти, подставляя в неравенство (10) вместо μ средние значения a_{max} , a_{min} и q соответственно. Решая неравенство (10) при этих значениях, получим для заданного уровня R :

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

Для описанного способа организации управления запасами предполагалось отсутствие «страхового» запаса деталей, т.е. при определенных условиях возможно появление дефицита запчастей (рис. 19). Во избежание таких ситуаций, следует ввести понятие неснижаемого уровня запаса, за который в рассмотренной модели можно принять объем минимального запаса $(A_{min})_{\text{непл}}$. 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.

7 Разработка регламентов и технологий ТО в процессе АЛП

7.1 Общие указания

Одной из основных целей АЛП является выработка рекомендаций по созданию эффективной СТЭ изделия. В ходе подготовки таких рекомендаций на основе результатов решения описанных выше задач АЛП, разрабатываются описания всех работ по ТО, технологии их выполнения, выбираются и документируются необходимые ресурсы. Вся созданная в ходе этого процесса информация помещается в БД АЛП. Плановые работы по ТО могут быть сгруппированы в плановые виды ТО, соответствующие принятой для конкретного типа ВС структуре видов (форм) оперативного и периодического ТО.

В результате создается большой объем данных, которые затем должны быть включены в эксплуатационную документацию на изделие. Для этого должна быть предусмотрена возможность автоматического получения из БД АЛП необходимых процедурно-технологических (по терминологии, принятой в международной спецификации [6]) модулей данных, т.е. МД, описывающих упомянутые регламенты и технологии работ по ТО.

С целью гармонизации отечественной терминологии с терминологией, используемой в [6], в дальнейшем изложении приняты следующие соглашения о терминах.

Термин, принятый в отечественной практике	Эквивалентный термин из международной спецификации [6]	
	Англоязычный	Перевод
Работа по ТО	Maintenance task	Задача обслуживания (ЭД 3220)
Регламент ТО	Maintenance procedure	Процедура обслуживания (ЭД 3180)
Операция (в составе работы по ТО)	Step [of maintenance task]	Шаг [в составе задачи обслуживания] (ЭД 3250)

Далее в тексте приведенные выше термины полагаются равнозначными и используются в зависимости от контекста. В частности, в иллюстрациях используются термины из [6].

7.2 Формирование состава работ по ТО

Состав плановых работ формируется по методике разд. 5.

В результате создаются описания плановых работ по ТО (задач обслуживания), связанных с соответствующими компонентами ВС.

Работы по ТО (задачи обслуживания) отображены в примере, представленном на рис. 22. Цифровой индекс перед наименованием задачи обслуживания «21-31-55-001» и «21-31-55-002» – обозначение задачи, сформированной в процессе анализа по методике разд. 5. Обозначение задачи содержит код стандартной системы нумерации анализируемого функционального блока и порядковый номер.

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

Рис. 22. Работы по ТО (задачи обслуживания) компонентов функциональной системы ВС

Работы по неплановому ТО формируются в процессе логического анализа по определению состава плановых работ, исходя из следующих принципов:

- если в процессе эксплуатации компонента возможно возникновение отказа, с вероятностью, превышающей некоторую установленную (заданную) величину, то для такого компонента необходимо предусмотреть работу по устранению отказа;
- если при описании технологии плановой работы по ТО компонента выясняется, что при обнаружении неисправности компонент необходимо заменить, то предусматривается соответствующая работа по замене (демонтаж и монтаж). Например, если ТО компонента выполняется по состоянию, то описывается как работа по плановому осмотру, так и неплановая работа по замене.

При этом необходимо указать, при возникновении каких видов отказов будет выполняться описанная работа непланового обслуживания. Виды отказов определены ранее в процессе выполнения АВПКО.

Если одна и та же работа (например, замена) может выполняться как плановая, так и неплановая, то она описывается в БД АЛП один раз.

7.3 Формирование плановых видов ТО (процедур обслуживания)

После того, как в БД АЛП внесены все работы по ТО функциональных систем и планера, их требуется сгруппировать по периодичности и/или условиям выполнения. Для этого работы по ТО, которые должны быть выполнены при общих условиях или с общей периодичностью, включаются в состав работ одной периодичности – вид ТО (процедуру обслуживания) в соответствии с принятыми для данного типа ВС типовыми формами оперативного и периодического ТО. Одна и та же работа по ТО может выполняться в рамках различных регламентов (процедур обслуживания), например, осмотр может выполняться перед полетом, после полета или с определенной периодичностью.

Исходя из того, в каких регламентах (с какой периодичностью) выполняется данная работа, а также с учетом планируемой наработки КИ в течение заданного периода, определя-

ется количество плановых выполнений каждой работы по ТО за определенный период, например, за год. Полученное значение используется для определения и уточнения потребностей в ресурсах для обслуживания, а также при расчете СЖЦ.

Регламенты (процедуры обслуживания) описываются для основных систем/подсистем. На рис. 23 приведен пример процедуры периодического обслуживания «Форма Ф1», содержащей перечень входящих в нее задач (работ по ТО).

№	Наименование	Вид задачи	Элемент	Уровень ТО
1	Программное устройство ПМК-21ТВ - Визуальный о		30-11-01 :: Коробка (п	
2	Автомат отключения фаз АОФ-ЭМ-10/100 А - Осмот...	В :: испытание	30-11-03 :: Автомат от...	
3	Противообледенительная система предкрылков - К...	В :: испытание	30-11 :: Противооблед...	
4	Противообледенительная система воздухозаборни...	В :: испытание	30-21 :: Противооблед...	
5	Противообледенительная система воздухозаборни...	В :: испытание	30-21 :: Противооблед...	
6	Система обогрева приемника полного давления ПП...	В :: испытание	30-31 :: Обогрев прие...	
7	Блок контроля БКЛД-1 - Визуальный осмотр		30-31-01 :: Блок контр...	
8	Система обогрева датчиков аэродинамических угло...	1 :: проверка функцио...	30-32 :: Обогрев датчи...	
9	Система обогрева стекол кабины экипажа - Визуал...		30-41 :: Система обог...	
10	Стеклоочиститель - Визуальный осмотр		30-42 :: Стеклоочистит...	
11	Стеклоочиститель - Регулировка усилия прижатия ...	С :: текущее обслужив...	30-42 :: Стеклоочистит...	

Рис. 23. Пример процедуры периодического обслуживания «Форма Ф1»

При описании каждой процедуры обслуживания следует указывать:

- систему/подсистему, для которой создается процедура,
- обозначение (ЭД 1270),
- наименование (ЭД 1280),
- вид (процедура) ТО (ЭД 1290) (в соответствии с планом ТО):
 - оперативное ТО,
 - периодическое ТО по календарному времени,
 - периодическое ТО по наработке,
 - специальное (неплановое) ТО;
- условие/периодичность выполнения (ЭД 1300, 1310), определенные в соответствии с результатами анализа по методике разд. 5.

7.4 Разработка технологий выполнения работ по ТО

Технология выполнения работы по ТО представляет собой описание последовательности операций (шагов), необходимых для достижения определенного результата, включая все подготовительные, завершающие и вспомогательные операции. Например, последовательность операций (шагов) при обслуживании узла У1 может быть следующей (рис. 24):

1. Открыть люк Х.
2. Снять узел У2.
3. Снять узел У1.
4. Выполнить операции над узлом У1.
5. Установить [при необходимости - запасной] узел У1.
6. Установить узел У2.
7. Закрыть люк Х.

Все перечисленные операции образуют законченную совокупность – работу по ТО узла У1. При этом следует обратить особое внимание на операцию №4, поскольку результатом ее выполнения может быть решение о необходимости замены узла У1.

После создания перечня операций разрабатывается подробная технология выполнения каждой операции. Очевидно, что такие операции, как «открыть люк Х» и «закрыть люк Х» будут повторяться много раз, как минимум, в работах по ТО элементов, доступ к которым осуществляется через данный люк. Чтобы не повторять многократно описание выполнения этих операций, они могут быть вынесены в отдельную вспомогательную работу. Работа по обеспечению доступа связывается со всей системой в целом. При описании работы по обслуживанию (замене) элемента У1 можно просто сослаться на работу по обеспечению доступа (открытия/закрытия люков).

Аналогично поступают с работой по снятию/установке элементов, препятствующих доступу (узел У2). Описывается работа по обслуживанию узла У2, в которую входят операции по снятию/установке этого узла, объединяемые в одну работу, а в технологии обслуживания (замены) узла У1 просто ссылаются на эту работу (снятие или установка У2).

Таким образом, существует ряд типов работ по ТО:

1. Основная работа, которая может выполняться самостоятельно (в рамках различных регламентов (процедур обслуживания) – замена узла У1 в нашем примере.
2. Вспомогательные работы (по обеспечению доступа и др.) (subtask, согласно [1]) – это остальные работы в нашем примере.

В эксплуатационную документацию на изделие, как правило, включаются только основные работы. Технически любая операция может содержать ссылку на какую-либо другую операцию, но создание таких ссылок второго уровня не рекомендуется, так как при этом труднее проследить взаимосвязи между работами и в дальнейшем сформировать содержание ЭД.

При описании операций с ними связывают необходимые иллюстрации и дополнительную информацию (предупреждения, предостережения и примечания) (ЭД 1140), а также ресурсы, необходимые для выполнения каждой операции. Если операция ссылается на другую операцию, то повторный ввод иллюстраций, дополнительной информации и ресурсов не требуется, так как вся эта информация наследуется от связанной операции.

Ресурсы, необходимые для выполнения работы (операции), подразделяются на:

- средства инфраструктуры,

-
- материальные, такие как вспомогательное оборудование, инструменты, расходные материалы, запчасти, трудовые ресурсы.

Для материальных ресурсов (ЭД 3090) указывается расход ресурса на одно выполнение работы, а для трудовых (ЭД 3100) – количество, специальности, квалификации и занятость исполнителей (чел. час.). Для всех перечисленных видов ресурсов в БД АЛП создаются специальные справочники.

В целом описание работы по ТО включает в себя:

- элемент или ФС, на которых выполняется работа,
- вид работы (ЭД 1030),
- наименование и обозначение работы (ЭД 1010, 1020),
- условия, в которых выполняется работа (ЭД 1300),
- уровень опасности для персонала (ЭД 1070),
- среднее время выполнения (ЭД 1080),
- средняя трудоемкость (ЭД 1090),
- количество исполнителей (ЭД 2460),
- зона и место доступа (ЭД 3050, 3060),
- периодичность выполнения (ЭД 1310).

Периодичность выполнения может быть задана непосредственно для работы или через связь с плановым видом ТО (регламентом), в рамках которого должна выполняться работа.

На ранних стадиях анализа, когда конкретные технологические операции работы еще не известны, в БД АЛП можно ввести прогнозируемые значения продолжительности и трудоемкости ее выполнения. Позднее эти значения будут уточнены на основании более детальной информации о технологии выполнения работы.

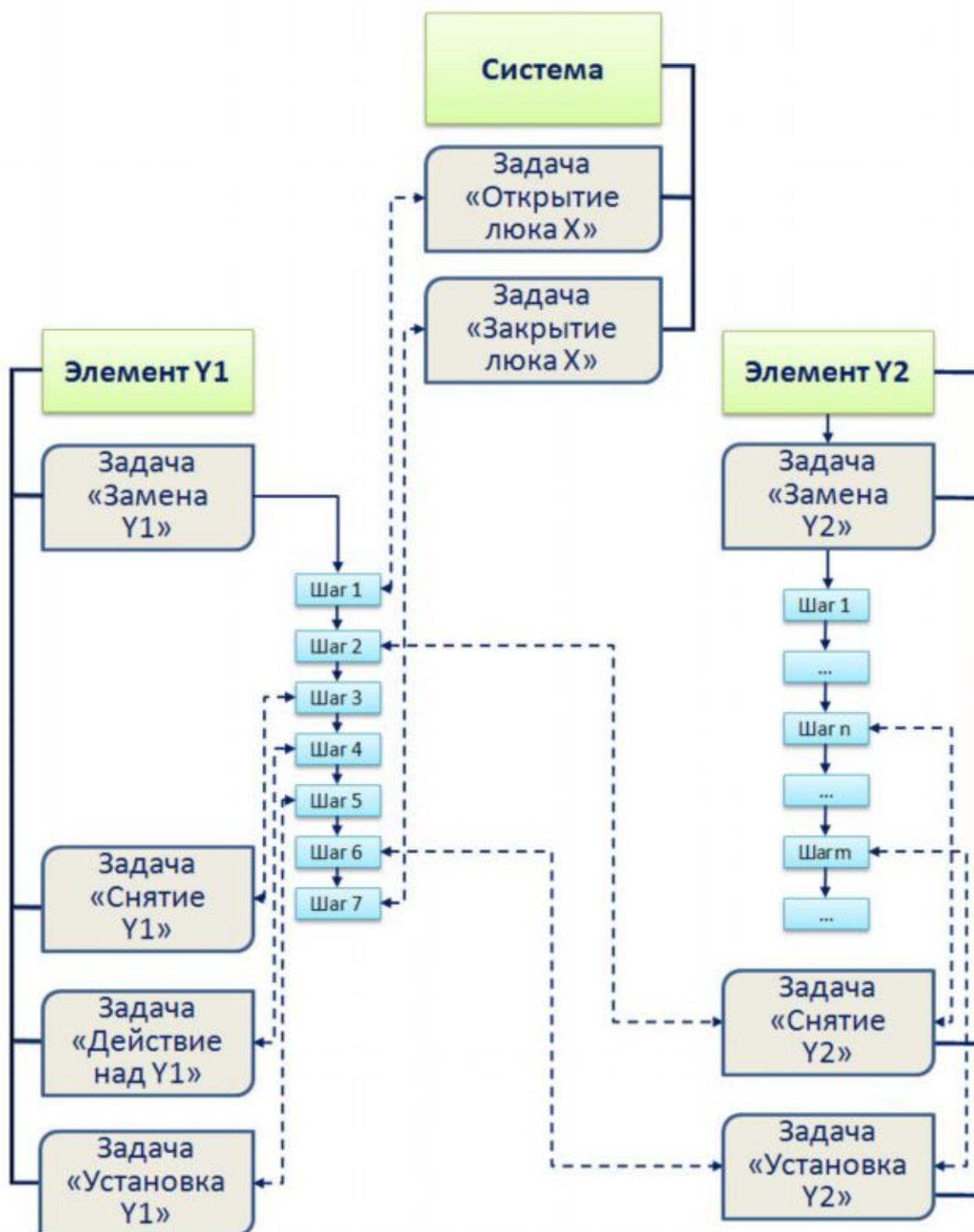


Рис. 24. Формирование работ по ТО с использованием ссылок на составляющие работы (работа≡ задача согласно соглашению о терминах, см. разд 7.1)

8 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 (отличная от эксплуатационной) на изделие, в том числе чертежи и схемы изделия и его составных частей;
- описания функций изделия и его составных частей;
- описания состава работ (регламентов) и технологии ТО;
- другие документы, формируемые в процессе проектирования изделия.

Требования по подготовке эксплуатационной документации на сложные изделия определены стандартом [6], представляющим собой новую версию известного в авиации стандарта АЕСМА 1000D. Стандарт [6] используется при создании документации в процессе разработки воздушного судна 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 эксплуатационной документации, в соответствии с [6] и [8] является *модуль данных* (ЭД 3280). 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 МД, входящих в комплект эксплуатационной документации. Этот перечень является аналогом ведомости эксплуатационной документации и определяет структуру ЭЭД.

Процесс подготовки DMRL включает в себя следующие этапы:

- Подготовка исходных данных.
- Доработка DMRL.

- Проверка и утверждение.

В качестве исходных данных при разработке DMRL используются результаты АЛП изделия.

Источником данных о предварительной структуре ЭЭД служит ЛСИ, в которую включаются все элементы конструкции, для которых в процессе эксплуатации может потребоваться ТО, при этом они группируются по системам/подсистемам в соответствии с принятой ССН (рис. 25).

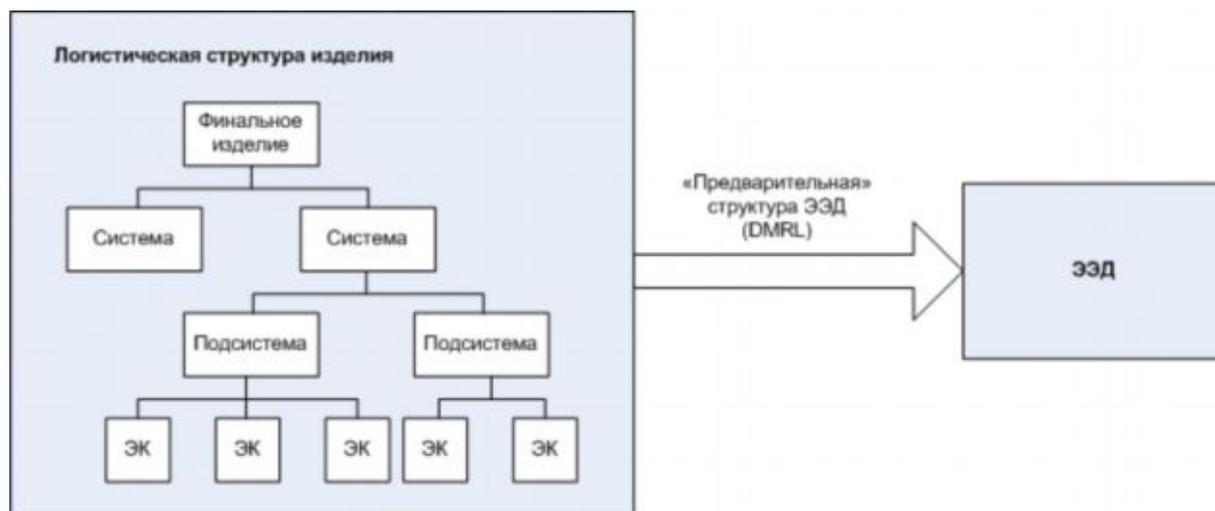


Рис. 25. Связь ЛСИ с ЭЭД

По результатам АЛП в «предварительный» DMRL могут быть включены МД, 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 ТО изделия и его составных частей.
- Информация для планирования ТО – сведения о регламенте ТО 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.

Дальнейшая доработка DMRL ведется в нескольких направлениях:

- Выявление сложных покупных комплектующих изделий (ПККИ), которые потребуют обслуживания при эксплуатации изделия. Для этих ПККИ создаются МД, описывающие их устройство и технологии обслуживания.
- Преобразование DMRL с целью предотвращения дублирования информации. Во избежание дублирования одних и тех же компонентов в рамках разных систем, необходимо отслеживать, чтобы «граничный» компонент был включен только в одну из систем.

В соответствии с требованиями [6] и [8] каждому МД присваивается специальный код (английская аббревиатура: *DMC (Data Module Code)*), который используется для управления МД в Общей базе исходных данных. Код МД может содержать от 17 до 37 буквенно-цифровых символов. Одним из сегментов структуры кода является код ССН (ЭД 0150) (английская аббревиатура: *SNS*), который может быть получен из соответствующего атрибута элемента ЛСИ, связанного с создаваемым МД. На рис. 26 показана структура и приведен пример кода МД. Код МД состоит из сегментов:

- **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 МД, 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 (MICS)**, который используется для обозначения различных ССН, используемых в кодах МД, содержащих различные ССН²³.
- **Код демонтажа (DC)** определяет степень разбиения на составные части сборочных единиц, к которым применяется информация по ТО.
- **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 МД.
- **Вариант информационного кода (ICV)** используется для МД, относящихся к одному изделию и виду информации.
- **Код расположения изделия (ILC)** определяет место выполнения работ по ТО компонента изделия, к которому относится МД.

²³ 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.



Рис. 26. 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 работ и технологий ТО. Эта информация используется при разработке технологических карт и регламентов ТО.
- 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.
- 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 МД, содержащих описания регламентов и технологий ТО, а также МД иллюстрированного каталога, формируется при выполнении АЛП и фиксируется в БД АЛП (рис. 27).

Например, при разработке регламентов и технологий ТО по результатам АЛП создаются плановые работы и их комплексы - виды (процедуры) ТО. Каждый вид (процедура) ТО может быть представлена в БД АЛП как отдельный МД, которому присваивается уникальный код. На базе выбранной в результате анализа технологии выполнения работы по ТО формируется процедурно-технологический МД (технологическая карта), которому присваивается уникальный код.

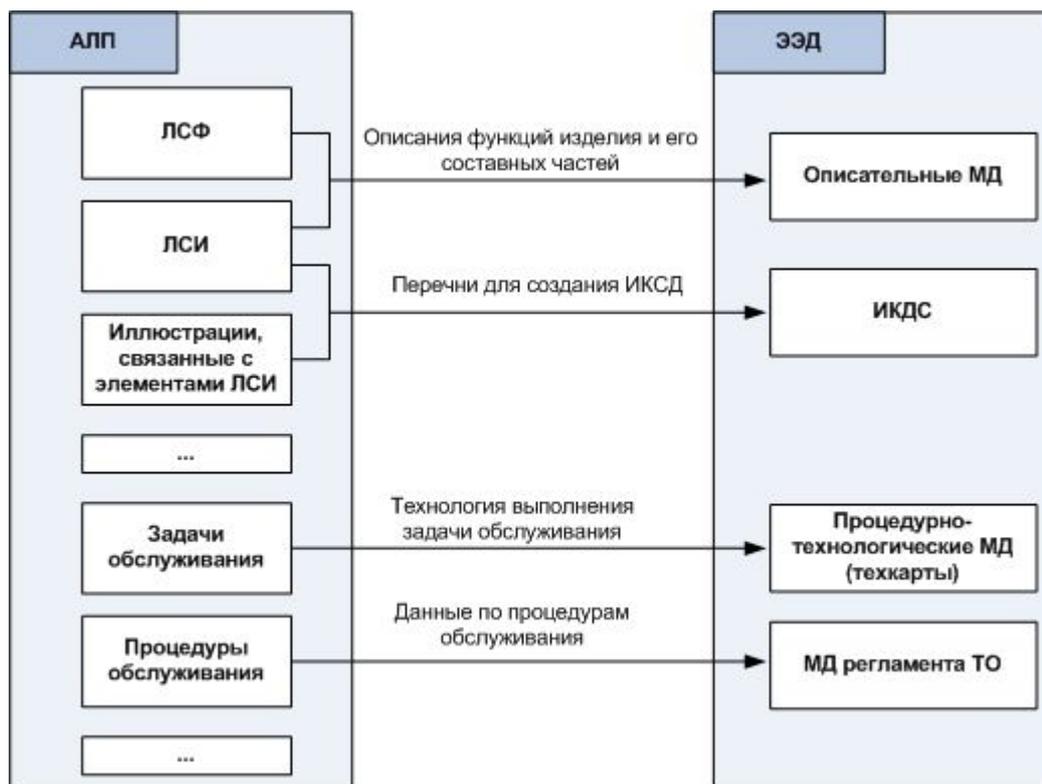


Рис. 27. Связь АЛП и процесса подготовки ЭЭД

Одной из функциональных возможностей программного продукта, автоматизирующего процесс АЛП, должна быть выгрузка из БД АЛП структуры проекта ЭЭД («предварительный» DMRL) в виде обменного файла формата xml.

На рис. 28 представлен примерный вид экранной формы программного модуля «Редактор DMRL». В левой части формы показана структура ССН анализируемой системы кондиционирования воздуха. В правой части – перечень МД, созданных для элемента «21-10-00::наддув»: техкарта и регламент. Эти МД созданы на основании зафиксированной в БД АЛП информации, полученной в результате АЛП системы кондиционирования воздуха, а именно:

- Для анализируемой системы СКВ в программном модуле «Редактор DMRL» разработана структура ССН.
- Разработанная структура ССН связана с ЛСИ. В результате элементам ЛСИ присвоены коды ССН. В примере, представленном рис. 28 после наименования элемента «21-10-00::наддув» в скобках указано количество связанных с ним элементов ЛСИ.
- При разработке процессов ТО системы СКВ созданы работы и процедуры ТО для логистических элементов.

При создании МД в «Редакторе DMRL» описанная в БД АЛП процедура обслуживания элемента ЛСИ, связанного с элементом структуры ССН «21-10-00::наддув», оформлена в виде отдельного МД типа «Регламент», которому присвоен код МД. МД типа «Техкарта» сформирован на основании описанной в БД АЛП работы по ТО элемента ЛСИ, связанного с элементом структуры ССН «21-10-00::наддув».

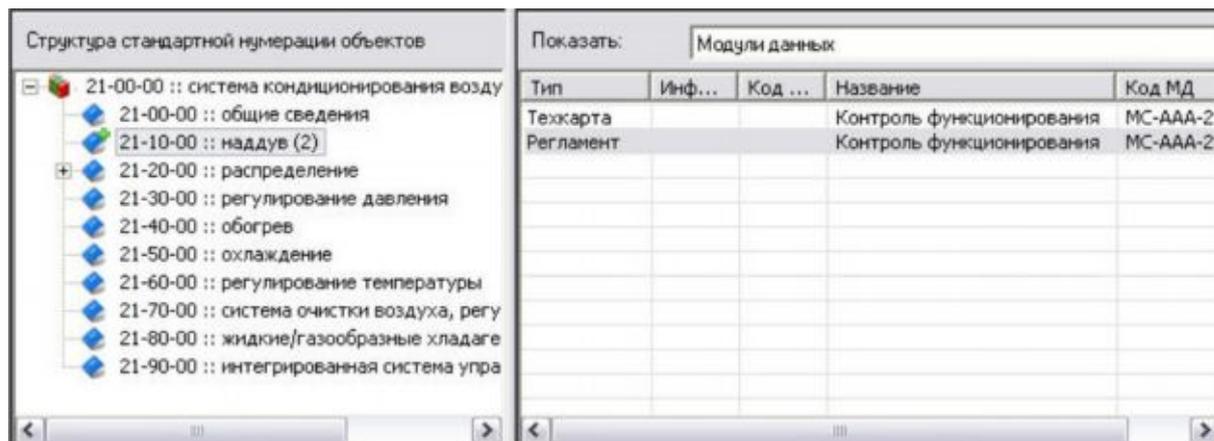


Рис. 28. Пример экранной формы программного модуля «Редактор DMRL»

Сформированный DMRL может быть выгружен в виде обменного файла формата xml, пример которого приведен на рис. 29, для последующей загрузки в систему подготовки ЭЭД.



Рис. 29. Пример обменного файла в формате xml

9 Расчет стоимости жизненного цикла изделия

9.1 Общие указания

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 оценить 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, эксплуатацию и утилизацию изделия. В контексте настоящего данного документе рассматриваются только затраты на техническую эксплуатацию.

9.2 Методика расчета затрат на техническую эксплуатацию

Расчет затрат на техническую эксплуатацию (ЭД 1890) выполняется по следующим статьям расхода:

1. Затраты на персонал.
2. Затраты на расходные материалы.
3. Затраты на запасные части.
4. Затраты на средства ТО, в том числе:
 - 4.1. Затраты на средства ТО специального применения.
 - 4.2. Затраты на средства ТО общего применения.
5. Затраты на инфраструктуру.

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

- затраты на техническую эксплуатацию системы одного ВС за один год;

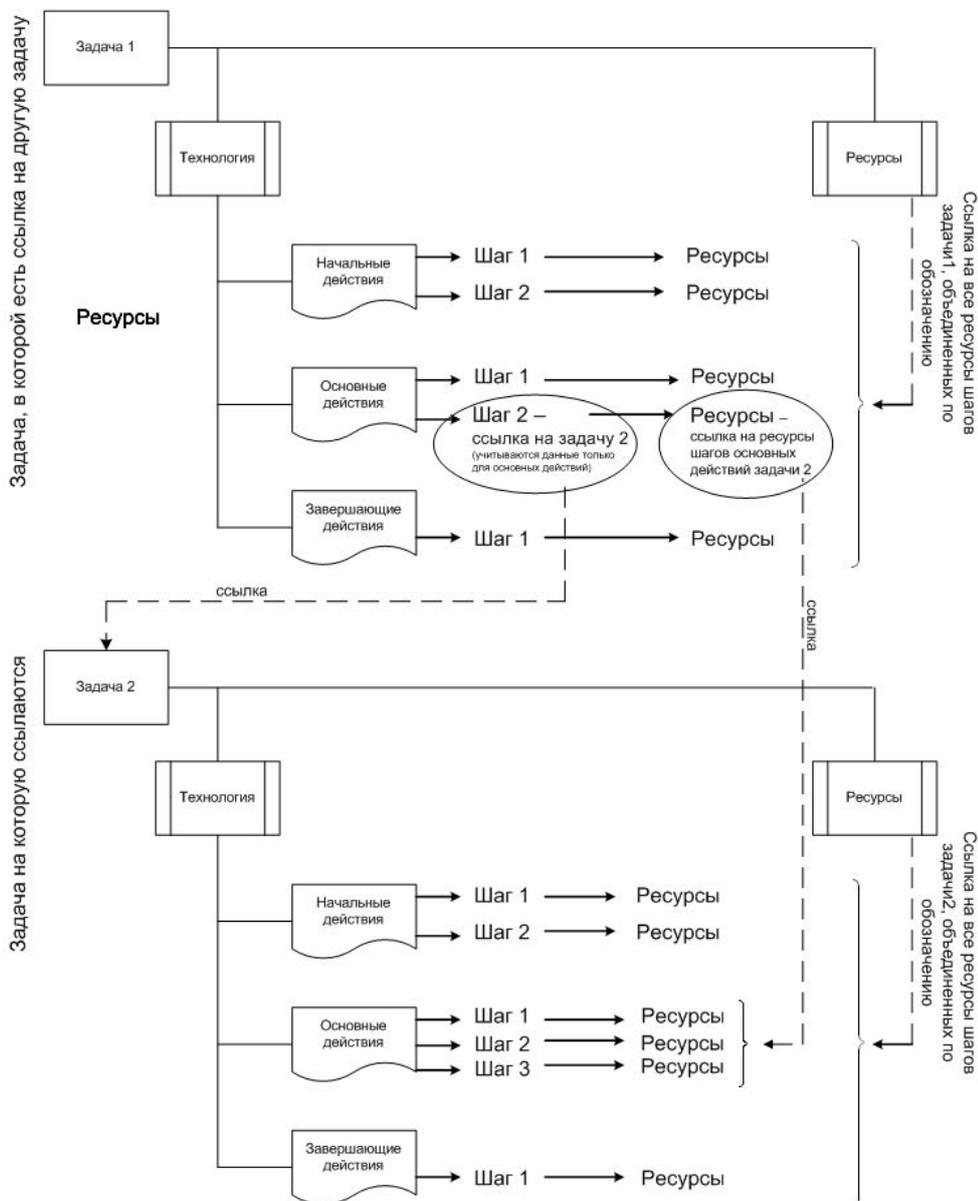
- затраты на техническую эксплуатацию системы одного ВС за расчетный период;
- затраты на техническую эксплуатацию системы за расчетный период по парку ВС;
- удельные затраты на техническую эксплуатацию системы на единицу наработки системы.

Предполагается, что ТЭ системы учитывает плановые работы по ТО, замены агрегатов (плановые, по выработке ресурса), устранение отказов и повреждений, которые описаны в ЭД. Исходными данными для расчета являются сведения обо всех видах ресурсов, необходимых для выполнения работ.

При расчете приняты следующие допущения:

- Цены на материальные ресурсы (ЭД 1900) и ставки заработной платы персонала (ЭД 4170) на расчетный период предполагаются неизменными.
- Если шаг одной из работ по ТО («задача 1») является ссылкой на другую работу («задача 2»), при расчете ресурсов, необходимых для выполнения «задачи 1», учитываются ресурсы для выполнения основных операций «задачи 2» (рис. 30).

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. 30. Взаимодействие задач обслуживания

Расчет затрат на персонал

В рамках этой статьи рассчитываются следующие показатели:

- Затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы одного ВС в год, $S_n^{\text{год}}$.
- Суммарные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы одного ВС за расчетный период, S_{nI} .

- Суммарные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы для парка ВС за расчетный период, S_{mn} .
- Удельные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы, на единицу наработки системы, $S_n^{уд}$.

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

$$T_i^{год} = \frac{\sum_{k=1}^K (T_{ik} \cdot G_k)}{60}, \quad (11)$$

где:

K – количество работ по ТО (задач обслуживания) системы;

G_k – количество выполнений k -й задачи в год (шт) (ЭД 1060);

T_{ik} – занятость i -ой специальности в k -ой задаче (ч-мин), которая рассчитывается как сумма занятостей исполнителей i -ой специальности (ЭД 1210), требуемых для выполнения k -ой задачи, по следующей формуле:

$$T_{ik} = \sum_{r=1}^{R_k^i} (t_{ik})_r, \quad (12)$$

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 смежных задач, на которые ссылаются шаги задачи обслуживания. Все подобные ссылки должны рассматриваться на всю глубину вложенности.

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

$$S_n^{год} = \sum_{i=1}^I T_i^{год} \cdot s_i, \quad (13)$$

где:

$T_i^{год}$ – трудозатраты i -й специальности, необходимые для обслуживания системы ВС в год, рассчитываемые по формуле (11));

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

s_i – стоимость нормо-часа специалиста i -й специальности (руб/ч-час) (3410).

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

$$S_{nI} = S_n^{\text{год}} \cdot L, \quad (14)$$

где:

L – длительность расчетного периода (лет).

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

$$S_{mn} = S_{nI} \cdot N, \quad (15)$$

где:

N – количество ВС в парке.

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

$$S_n^{\text{уд}} = \frac{S_n^{\text{год}}}{t_{\text{год}}}, \quad (16)$$

где:

$t_{\text{год}}$ – средняя наработка системы в год (е.и. наработки) (ЭД 0790).

При расчете затрат на персонал, необходимый для технической эксплуатации ВС, нужно сложить затраты на персонал, необходимый для ТО всех систем ВС, и добавить к ним затраты на ТО, «привязанные» в ЭД не к системам, а к ВС 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 ВС за один год, $S_M^{\text{год}}$.
- Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для ТЭ системы одного ВС за расчетный период, S_{M1} .
- Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для обслуживания системы за расчетный период, по парку ВС, 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 ВС, которое определяется по формуле:

$$R_{Mj}^{\text{год}} = \sum_{k=1}^K R_{Mj}^k \cdot G_k, \quad (17)$$

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 ВС за один год, вычисляются по формуле:

$$S_m^{\text{год}} = \sum_{j=1}^J R_{mj}^{\text{год}} \cdot s_j, \quad (18)$$

где:

$R_{mj}^{\text{год}}$ – количество j -го вида расходного материала, необходимого для выполнения всех задач в год на системе одного ВС, определяемое по формуле (17);

s_j – цена одной единицы j -го вида расходного материала (ЭД 1900);

J – количество видов расходных материалов.

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

$$S_{m1} = S_m^{\text{год}} \cdot L \quad (19)$$

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

$$S_{m\pi} = S_{m1} \cdot N \quad (20)$$

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

$$S_m^{\text{уд}} = \frac{S_m^{\text{год}}}{t_{\text{год}}} \quad (21)$$

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

Затраты на средства наземного обслуживания (СНО) и инструмент складываются из затрат на СНО специального применения (СП) и специальный инструмент (СПИ) и затрат на СНО общего применения (ОП) и стандартный инструмент (СТИ). Алгоритмы расчета этих затрат довольно сильно различаются. СНО СП и СПИ это оборудование, разработанное специально для ВС анализируемого типа и поставляемое вместе с ним. СНО ОП и СТИ не поставляется вместе с ВС, а может закупаться у разных поставщиков и использоваться для разных типов ВС, имеющих у эксплуатанта. Таким образом, затраты на СНО СП и СПИ полностью входят в затраты на эксплуатацию поставляемого парка ВС, а за-

траты на СНО ОП и СТИ – только частично (пропорционально времени использования оборудования).

Затраты на СНО СП и СПИ складываются из следующих показателей:

- Затраты на спецоборудование для обслуживания системы одного ВС в течение года, $S_{sp}^{год}$.
- Затраты на спецоборудование для обслуживания системы, приходящиеся на один год по парку ВС, S_{sp1} .
- Суммарные затраты на спецоборудование f -го типа, необходимого для обслуживания системы Ssp_f (на весь оцениваемый период и парк ВС).
- Суммарные затраты на все типы спецоборудования для обслуживания системы, S_{sp0} (на весь оцениваемый период и парк ВС).
- 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:

$$Ssp_f = C_f \cdot K_{рек.f}, \quad (22)$$

где:

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

C_f – цена f -го изделия.

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 ВС вычисляются по формуле:

$$S_{sp0} = K_{обсл} \sum_{f=1}^F Ssp_f, \quad (23)$$

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 ВС:

$$S_{sp1} = \frac{S_{sp0}}{L_{sp}}, \quad (24)$$

где:

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

Затраты на спецоборудование на систему одного ВС в течение года:

$$S_{sp}^{год} = \frac{S_{sp1}}{N} \quad (25)$$

Затраты на расчетный период по парку ВС:

$$S_{sp} = S_{sp1} \cdot L, \quad (26)$$

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

Удельные затраты на специальное оборудование на единицу наработки системы:

$$S_{sp}^{уд} = \frac{S_{sp}^{год}}{t_{год}} \quad (27)$$

Затраты на СНО ОП и СТИ складываются из следующих показателей:

- 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 ВС, S_{st} .
- 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 ВС за один год рассчитывается по формуле:

$$T_{обf}^{год} = \sum_{k=1}^{K_f} T_{fk} \cdot G_k \cdot n_{fk}, \quad (28)$$

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 СНО ОП или СТИ, используемого в задаче.

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

$$S_{stf} = T_{обf}^{год} \cdot a_f, \quad (29)$$

где:

$T_{обf}^{год}$ – суммарное время использования оборудования f -го типа в год, час – рассчитывается по формуле (28);

a_f – величина амортизационных отчислений для оборудования f -го типа, вал. ед/час (также учитывает затраты на обслуживание оборудования) (ЭД 5720).

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

$$S_{st}^{год} = \sum_{f=1}^{F_{st}} S_{stf}, \quad (30)$$

где:

F_{st} – количество типов СНО ОП и СТИ.

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

$$Sst_f = S_{stf} \cdot N \cdot L \quad (31)$$

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

$$Sst = \sum_{f=1}^{F_{st}} Sst_f \quad (32)$$

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

$$S_{st}^{уд} = \frac{S_{st}^{год}}{t_{год}} \quad (33)$$

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 ВС:

$$S_з = \sum_{m=1}^M S_{з_m}, \quad (34)$$

где:

M – количество типов запчастей;

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

$$S_{3m} = (S_{\text{пр}}^{\text{нач}})_m + (S_{\text{пр}}^{\text{тек}})_m + (S_{\text{хр}}^{\text{нач}})_m + (S_{\text{хр}}^{\text{тек}})_m + (S_{\text{дст}}^{\text{тек}})_m, \quad (35)$$

где:

$(S_{\text{пр}}^{\text{нач}})_m$ – затраты на приобретение начального запаса запчастей m -го типа по всему парку эксплуатируемых ВС (формула(36));

$(S_{\text{пр}}^{\text{тек}})_m$ – затраты на приобретение текущего запаса изделий m -го типа по парку ВС (формула(39));

$(S_{\text{хр}}^{\text{нач}})_m$ – затраты на хранение начального запаса запчастей m -го типа (формула (37));

$(S_{\text{хр}}^{\text{тек}})_m$ – затраты на хранение текущего запаса запчастей m -го типа в течение периода текущего МТО (формула (42));

$(S_{\text{дст}}^{\text{тек}})_m$ – затраты на доставку текущего запаса для изделия m -го типа по парку техники (формула (41)).

Затраты на приобретение и хранение начального запаса запчастей

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

$$(S_{\text{пр}}^{\text{нач}})_m = C_m \cdot (A_{\text{max}})_m, \quad (36)$$

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):

$$(S_{\text{хр}}^{\text{нач}})_m = \frac{T_{\text{нач}}}{2 \cdot 12} \cdot y \cdot V_m \cdot (A_{\text{max}})_m, \quad (37)$$

где:

$T_{\text{нач}}$ – период начального МТО, мес.;

y – стоимость 1м³ помещений для хранения запаса, руб (ЭД 0740);

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):

$$T_{\text{тек}} = 12L - T_{\text{нач}}, \quad (38)$$

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 ВС:

$$(S_{\text{пр}}^{\text{тек}})_m = C_m \cdot (A_q)_m \cdot Q_m, \quad (39)$$

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:

$$Q_m = \frac{T_{\text{тек}}}{(T_{\text{зак}})_m}, \quad (40)$$

где:

$(T_{\text{зак}})_m$ – время между заказами m -го изделия (ЭД 0430).

Затраты на доставку текущего запаса для m -го изделия на весь расчетный период и парк ВС:

$$(S_{\text{дст}}^{\text{тек}})_m = (C_{\text{дст}})_m \cdot Q_m, \quad (41)$$

где:

$(C_{\text{дст}})_m$ – стоимость доставки (ЭД 0450) партии m -ых изделий на склад.

Затраты на хранение текущего запаса запчастей m в течение периода текущего МТО (предполагается, что запас расходуется равномерно):

$$(S_{\text{хр}}^{\text{тек}})_m = \frac{(T_{\text{зак}})_m}{2 \cdot 12} \cdot y \cdot V_m \cdot (A_q)_m \cdot Q_m \quad (42)$$

Суммарные затраты на запчасти

Суммарные затраты на приобретение запчастей на весь расчетный период и парк:

$$S_{\text{зпр}} = \sum_{m=1}^M \left[(S_{\text{пр}}^{\text{нач}})_m + (S_{\text{пр}}^{\text{тек}})_m \right] \quad (43)$$

Затраты на приобретение запчастей в год на 1 самолет:

$$(S_{\text{зпр}})_I^{\text{год}} = \frac{S_{\text{зпр}}}{N \cdot L} \quad (44)$$

Суммарные затраты на хранение запчастей:

$$S_{\text{зхр}} = \sum_{m=1}^M \left[(S_{\text{хр}}^{\text{нач}})_m + (S_{\text{хр}}^{\text{тек}})_m \right] \quad (45)$$

Затраты на хранение в год на 1 самолет:

$$(S_{3_{\text{xp}}})_I^{\text{год}} = \frac{S_{3_{\text{xp}}}}{N \cdot L} \quad (46)$$

Суммарные затраты на доставку запчастей:

$$S_{3_{\text{дст}}} = \sum_{m=1}^M (S_{\text{дст}}^{\text{тек}})_m \quad (47)$$

Затраты на доставку в год на 1 ВС:

$$(S_{3_{\text{дст}}})_I^{\text{год}} = \frac{S_{3_{\text{дст}}}}{N \cdot L} \quad (48)$$

Суммарные затраты на запчасти для 1 ВС (на весь период):

$$S_{3_1} = \frac{S_3}{N} \quad (49)$$

Суммарные затраты на запчасти для 1 ВС в год:

$$S_{3_1}^{\text{год}} = \frac{S_{3_1}}{L} \quad (50)$$

Удельные затраты на запчасти за единицу наработки системы:

$$S_{3_{\text{уд}}} = \frac{S_{3_1}^{\text{год}}}{t_{\text{год}}} \quad (51)$$

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 ВС 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.

10 Методические указания по расчету коэффициента готовности воздушного судна

Настоящие методические указания носят предварительный характер и основаны на статистических данных, подлежащих сбору для уже эксплуатируемого ВС, являющегося объектом АЛП, либо для его аналога, если ВС только разрабатывается.

Согласно [1], **оперативная готовность** A_0 (по ГОСТ 27.002) 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 этого показателя учитывается время нахождения в резерве и время простоя по административным и логистическим причинам.

Величина A_0 рассчитывается по формуле:

$$A_0 = \frac{OT + ST}{OT + ST + TPM + ALDT}, \quad (52)$$

где:

OT – время функционирования за календарный год (час);

ST – время нахождения в резерве за год;

TPM – полная продолжительность планового обслуживания за год;

TCM – 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 (52) можно получить:

$$AD = OT + ST + TPM + TCM + ALDT \quad (53)$$

$$AWT = OT + ST \quad (54)$$

$$ADT = TPM + TCM + ALDT \quad (55)$$

Из (53), (54) и (55) следует:

$$AWT = AD - ADT \quad (56)$$

Подставляя (53) и (56) в (52), получим:

$$A_0 = \frac{AD - ADT}{AD} = 1 - \frac{ADT}{AD} \quad (57)$$

Эта формула позволяет определить коэффициент оперативной готовности по статистическим данным.

Пример:

Для одного из бортов самолета ТУ214 в течении трех лет эксплуатации зафиксированы статистические данные, приведенные в следующей таблице.

Таблица 15. Статистические данные о простоях самолета ТУ214

Виды работ по ТО	Число выполнений за 3 года	Всего дней за 3 года	Средняя продолжительность одной работы, дней	Среднее количество работ в год	Средняя продолжительность одной работы, дней
Оперативное ТО по форме Б через 100 ч	33	122	3,7	11	40,7
Периодическое ТО через 600 ч	5	68	13,6	1,66	22,6
Периодическое ТО через 3000 ч	1	60	60	0,33	20
TPM					83,3
Неплановое ТО (простой из-за отказа)	9	36	4	3	12
TCM					12
Прочие простои	1	3	3	0,33	1
ALDT					1
Итого ADT					96,3

Полагая $AD = 365$, по формуле (57) получим:

$$A_0 = (365 - 96,3) / 365 = 0,736$$

Для получения более достоверных оценок следует брать выборку по парку ВС, 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 ВС за 1 год). Если при этом число бортов, эксплуатируемых в наблюдаемый период, меняется, следует брать в расчет среднее число эксплуатируемых бортов.

Согласно принятой методике расчета коэффициента технической готовности этот коэффициент ($k_{\text{ТГ}}$) определяется как вероятность того, что в произвольный момент времени ВС не будет находиться на плановом ТО и его вылет не будет задержан сверх допустимого времени или отменен из-за его неисправности. Это определение близко по смыслу к приведенному выше определению A_0 .

Коэффициент $k_{\text{ТГ}}$ зависит от двух величин:

- *коэффициента планируемого применения* ($k_{\text{ПП}}$) – вероятности того, что в произвольный момент времени ВС 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 ВС не будет задержан или отменен из-за его неисправности (определяется суммарной продолжительностью устранения случайных отказов).

Тогда

$$k_{\text{ТГ}} = k_{\text{ПП}} * k_{\text{ГВ}} \quad (58)$$

В соответствии с приведенными определениями, эти коэффициенты можно определить через введенные выше параметры:

$$k_{\text{ПП}} = 1 - \frac{\text{TPM} + \text{ALDT}_p}{\text{AD}}; \quad k_{\text{ГВ}} = 1 - \frac{\text{TCM} + \text{ALDT}_c}{\text{AD}} \quad (59)$$

Здесь величины ALDT_p и ALDT_c обозначают время простоев ВС по логистическим и административным причинам при плановом и неплановом обслуживании соответственно.

Подставляя формулы (59) в (58), получим:

$$k_{\text{ТГ}} = \left(1 - \frac{\text{TPM} + \text{ALDT}_p}{\text{AD}} \right) \left(1 - \frac{\text{TCM} + \text{ALDT}_c}{\text{AD}} \right)$$

Раскрывая скобки и приводя подобные члены, получим окончательно:

$$k_{\text{ТГ}} = 1 - \frac{\text{TPM} + \text{TCM} + \text{ALDT}}{\text{AD}} + \frac{(\text{TPM} + \text{ALDT}_p)(\text{TCM} + \text{ALDT}_c)}{\text{AD}^2} \quad (60)$$

Здесь $\text{ALDT} = \text{ALDT}_p + \text{ALDT}_c$.

Если принять во внимание, что третий член (дробь) в (60) много меньше единицы и второго члена, а также учесть, что отбрасывание этой дроби приведет к некоторому уменьшению коэффициента $k_{\text{тр}}$, то

$$k_{\text{тр}} \cong 1 - \frac{ADT}{AD} = A_0 \quad (61)$$

По данным нашего примера величина отбрасываемого члена составляет 0,008, т.е. около 1% от величины A_0 .

Таким образом, в силу изложенного выше, величины A_0 и $k_{\text{тр}}$ являются эквивалентными и могут использоваться в зависимости от того, какая именно величина регламентирована техническим заданием.

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 (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:

$$k_{\text{пто}} \bar{t} = \frac{t_{\text{по}}}{t_{\text{год}}} \cdot \frac{t_{\text{год}}}{k_0 \Phi_{\text{год}}} = \frac{t_{\text{по}}}{k_0 \Phi_{\text{год}}} = \frac{TPM}{AD}, \quad (62)$$

($t_{\text{по}}$ – 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 ВС не должно (не может) летать (отсутствие экипажа, отсутствие топлива, метеоусловия и т.д.).

11 Отчеты из базы данных АЛП

Основной формой представления результатов АЛП являются отчеты, которые должны автоматически формироваться из БД АЛП специальными программными средствами. В таблице 16 приведен фрагмент перечня стандартных отчетов из БД АЛП, рекомендованного стандартом [1].

Таблица 16. Фрагмент перечня отчетов

Номер отчета	Английское название отчета	Русское название отчета
LSA-001	Man-Hours by Skill Speciality Code and Level of Maintenance.	Загрузка специалистов разных профессий и квалификации на различных уровнях ТО.
LSA-010	Spare and Repair Parts Summary.	Сводная ведомость запасных частей и ремонтных комплектов.
LSA-018	Task Inventory Summary.	Сводный перечень плановых работ по ТО.
LSA-036	Provisioning Requirements.	Требования к МТО.
LSA-050	Reliability-Centred Maintenance (RCM) Summary.	Сводный отчет о требованиях к плановому ТО.
LSA-056	Failure Modes Effects and Criticality Analysis (FMECA) Report.	Отчет о результатах анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО).
LSA-058	Reliability Availability and Maintainability Summary.	Сводный отчет по основным ЭТХ : надежности, готовности и эксплуатационной технологичности
LSA-071	Support Equipment Candidate List.	Перечень СНО.
LSA-074	Support Equipment Tool List.	Перечень инструмента.
LSA-126	Hardware Generation Breakdown Tree.	Структура изделия (ЛСИ).
LSA-648	Provisioning (S2000M Related Data) Report.	МТО (информация, регламентированная международной спецификацией S2000M [17]).

Номер отчета	Английское название отчета	Русское название отчета
LSA-652	Illustrated Parts Catalogue Report.	Иллюстрированный каталог деталей и сборочных единиц
LSA-674	Electronic Documentation Requirements Report (S1000D).	Требования к электронной документации (S1000D).

Конкретный состав сведений, включаемых в отчеты, и их формы определяются совместно заказчиком и разработчиком перед началом работ по АЛП. Затем определяется перечень элементов данных, входящих в 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.

12 Порядок проведения АЛП

12.1 Общие указания

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 различаться.

Задачи АЛП выполняются различными подразделениями организации – разработчика изделия АТ в соответствии со своими функциями.

В общем случае в работах задействованы:

- конструкторские подразделения;
- служба надежности и отказобезопасности (могут быть отдельными подразделениями);
- подразделение эксплуатационного контроля (контролепригодность и средства контроля, могут быть отдельными подразделениями);
- подразделение по вопросам технической эксплуатации (ЭТ и СНО, могут быть отдельными подразделениями).

Кроме того, возможна общая координация работ, либо объединение всех указанных подразделений, службой ИЛП. Взаимодействие указанных подразделений строится следующим образом.

1. Конструкторские подразделения представляют в общую базу данных электронного описания ВС сведения о конструктивно-схемных решениях (техническое описание и схемы) ФС, включая, в том числе, сведения о сигнализации экипажу, информацию, необходимую для парирования отказов ФС, а также информацию, регистрируемую средствами эксплуатационного контроля (перечень контролируемых параметров).
2. Подразделения надежности и отказобезопасности на основе материалов по п. 1 и собственного анализа обеспечивают представление в общей базе данных результатов оценки безотказности ФС и последствий возможных видов отказов (отказобезопасности), которые должны содержать перечень возможных видов отказов ФС в целом с оценкой их влияния на безопасность и регулярность полетов, перечень видов отказов элементов и их характеристик, функции отказности, связывающие вероятности отказов ФС в целом с вероятностями отказов ее элементов, а также нормативные значения для ожидаемых отказов ФС в целом, устанавливаемые на основании применяемых норм летной годности (сертификационного базиса) с привлечением, при необходимости, принятых разработчиком ВС методов распределения требований к отказобезопасности ВС между отдельными ФС и возможными видами их отказов.
3. Конструкторские подразделения и (или) поставщики оборудования представляют данные о возможности контроля и прогнозирования технического состояния элементов, необходимые для принятия решения о возможности эксплуатации АТ до предотказного состояния (ТЭП).

4. Подразделения общего проектирования представляют сведения о назначении и схеме применения ВС (виды и продолжительность типовых полетов, число полетов в летный день и др.), а также принятой при формировании требований к плановому ТО структуре (номенклатуре и периодичности плановых видов) ТО.
5. Подразделение контролепригодности на основе материалов по п.п. 1-4 проводит работы по формированию системы эксплуатационного контроля, оценке показателей контролепригодности и представляет соответствующие сведения в общую базу данных.
6. Подразделение ТЭ представляет прогнозируемые характеристики ЭТ (РТ) ВС, его ФС и их элементов (сведения о принципах монтажа и демонтажа элементов, обеспечения доступа для ТО и т.п., а также принятые на каждом из этапов создания АТ оценки продолжительности и трудоемкости различных типовых работ по ТО элементов и ФС). Кроме того, после проведения на основе материалов по п.п. 1-5 работ по формированию требований к плановому ТО в общую базу данных электронного описания ВС вносятся результаты обоснования состава и периодичности плановых работ по ТО (плана или программы ТО для типа ВС).

Отдел СНО формирует перечни СНО СП и ОП и необходимые исходные данные для расчета затрат на ТЭ.

7. На основе результатов работ по п.п. 1-6 проводится поверочный расчет показателей надежности и отказобезопасности. При необходимости уточняются и показатели контролепригодности и ЭТ. Кроме того, службой ИЛП проводится оценка стоимости ЖЦ и других комплексных показателей АТ.

Указанные выше комплекс работ и их взаимосвязь итеративно повторяются на каждом этапе создания АТ, а при необходимости и в процессе сопровождения эксплуатации в интересах обеспечения и оценки количественных показателей и качественных уровней ЭТХ ВС.

Примерное распределение ролей по подразделениям представлено в табл. 17. Названия подразделений – условные (даны для справки).

Таблица 17. Примерное распределение задач АЛП по подразделениям организации

Подразделение	Решаемые задачи АЛП
Конструкторские подразделения	<ul style="list-style-type: none"> • разработка ЛСИ и ЛСФ (для различных анализируемых конфигураций); • выполнение функционального анализа; • ввод некоторых параметров изделия; • подготовка перечней мест доступа (люков, панелей); • другие задачи.
Подразделения надежности и отказобезопасности совместно с подразделениями ТЭ и эксплуатационного контроля	<ul style="list-style-type: none"> • определение параметров надежности и других ЭТХ изделия; • выполнение анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО);

Подразделение	Решаемые задачи АЛП
	<ul style="list-style-type: none"> • проверка рекомендуемых периодов планового ТО изделия.
Подразделение ТЭ	<ul style="list-style-type: none"> • разработка зональной структуры изделия; • выбор состава работ и периодичности ТО; • разработка технологии ТО; • разработка регламента ТО.
Подразделение МТО	<ul style="list-style-type: none"> • сбор данных и подготовка документации для поставок запчастей и расходных материалов (отчетов, перечней, каталогов); • оценка потребностей в запчастях и расходных материалах на заданный период эксплуатации.
Отдел СНО	<ul style="list-style-type: none"> • подготовка перечней применимых средств наземного обслуживания и инструмента; • оценка потребной комплектации.
Подразделение ИЛП	<ul style="list-style-type: none"> • оценка СЖЦ; • формирование системы ИЛП.

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 САД, 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 должно существовать специальное подразделение (далее, для определенности: отдел ИЛП), отвечающее за выполнение АЛП в целом и поддержание БД АЛП. Основными функциями отдела ИЛП 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 ВС представлен на рис. 31.

12.2 Организация работ по этапам АЛП

Процесс АЛП носит итеративный характер и на каждом шаге АЛП возможен возврат к любому из предыдущих шагов и повторное выполнение этапов анализа.

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.
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. 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.

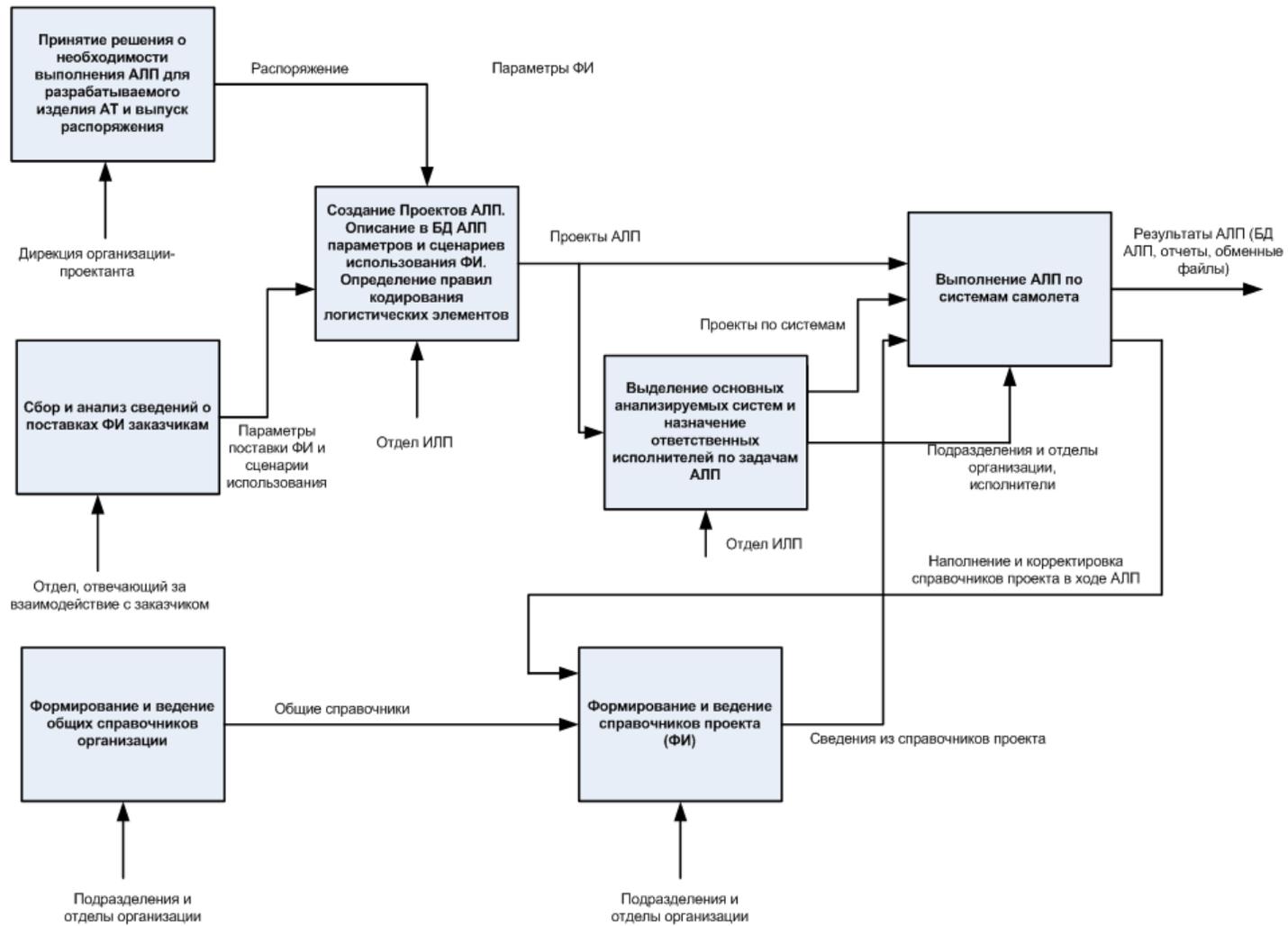


Рис. 31. Выполнение АЛП ВС

5. Выбор элементов-кандидатов на АЛП и создание логистической структуры изделия.

На рис. 32 представлен примерный сценарий выполнения данной задачи АЛП.

В программных системах, предназначенных для выполнения АЛП, рекомендуется отслеживать правильность формирования ЛКН, присваиваемого элементам ЛСИ, по уровням разукрупнения, как это регламентировано в [1].

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.

6. Функциональный анализ изделия: построение ЛСФ, установление связи между элементами ЛСФ и ЛСИ.

Примерный сценарий выполнения функционального анализа ВС представлен на рис. 33.

По результатам функционального анализа проводится корректировка ЛСФ, ЛСИ и перечня ЭК.

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.

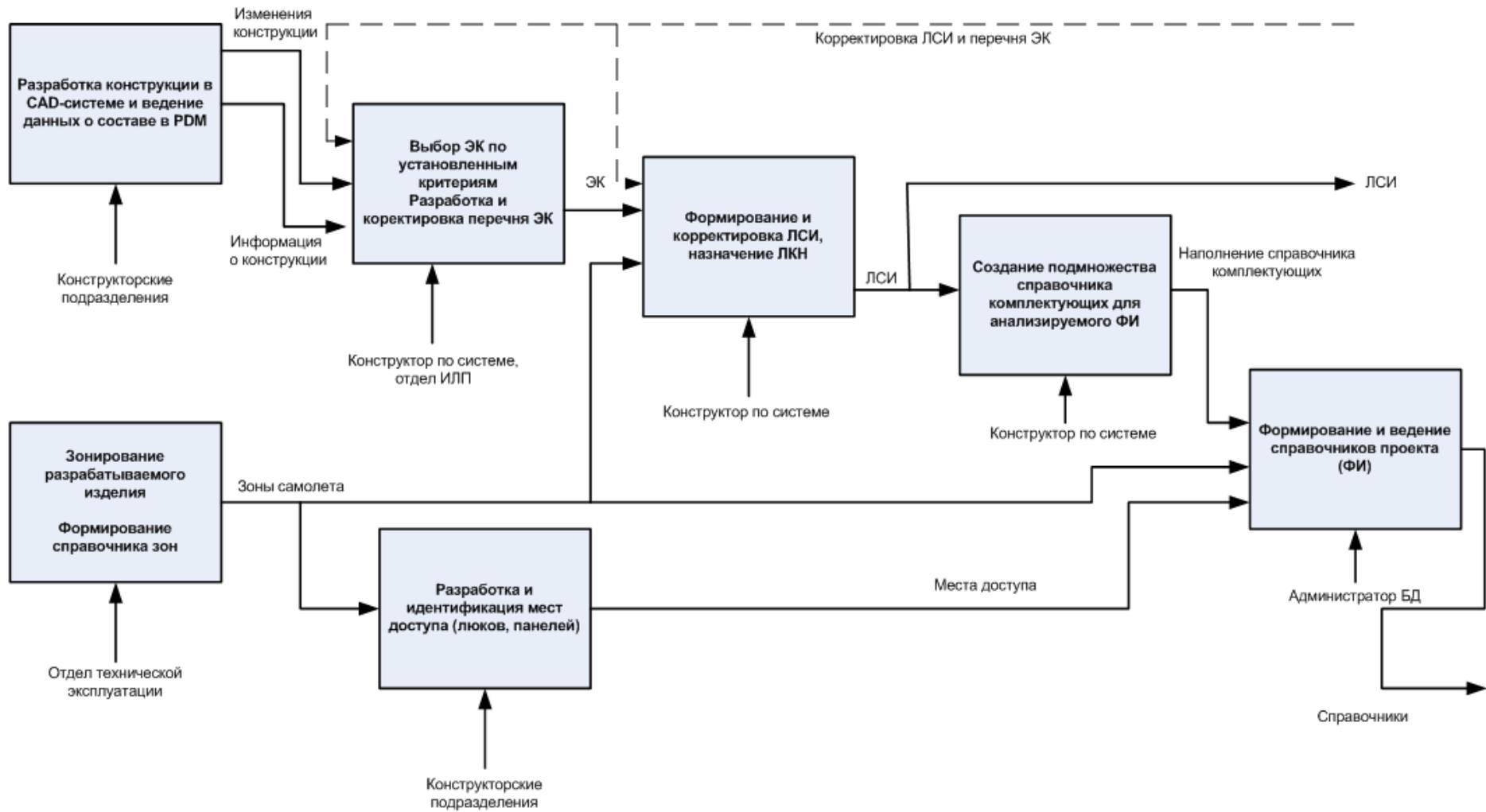


Рис. 32. Выбор ЭК и создание ЛСИ

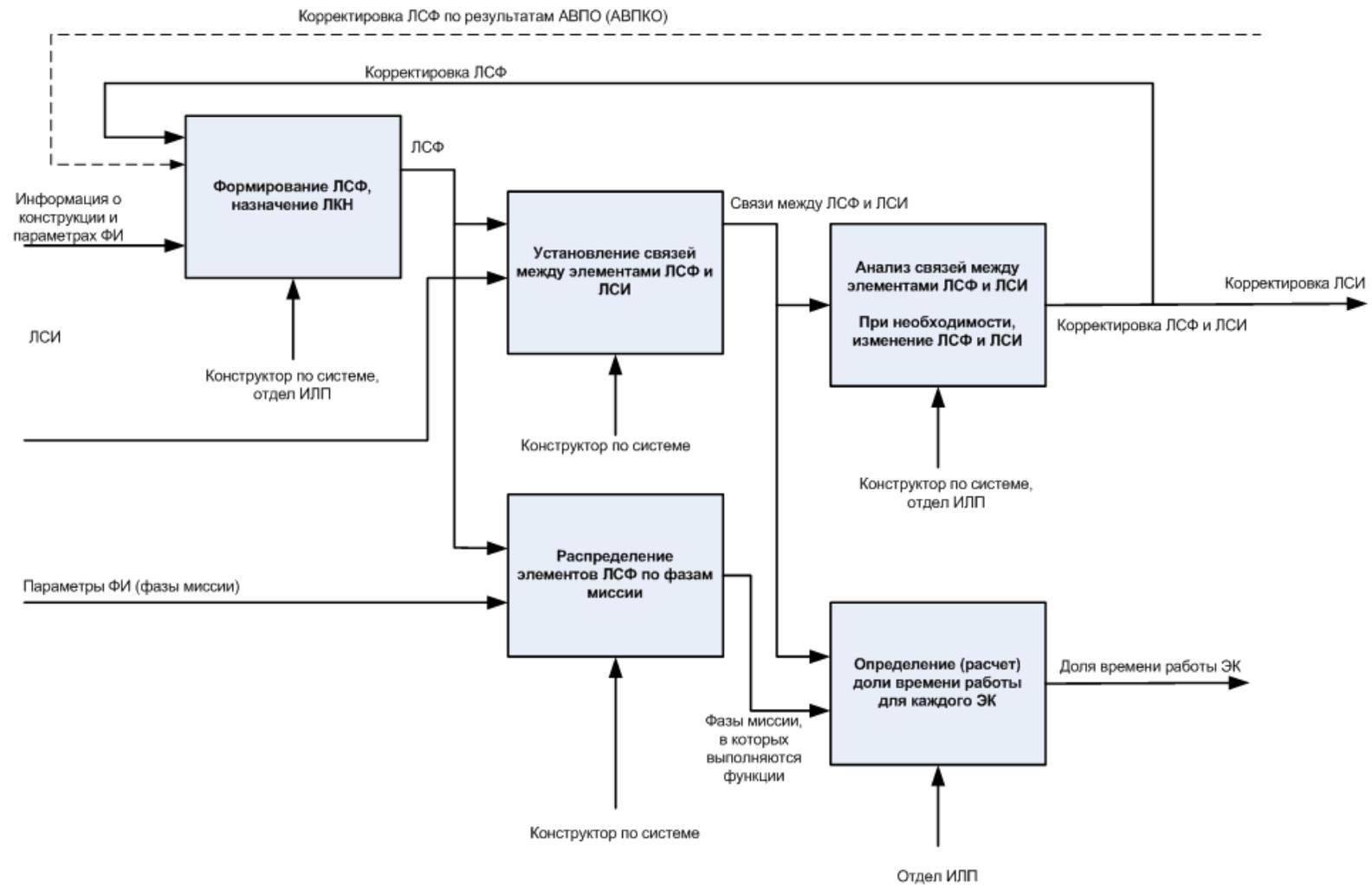


Рис. 33. Выполнение функционального анализа

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 ЭТ:
 - интенсивность отказов,
 - средняя наработка на отказ,
 - средняя наработка на неплановый съем,
 - назначенный ресурс,
 - назначенный срок службы,
 - среднее время восстановления,
 - пригодность к ремонту.
- Результаты функционального анализа.

Результат выполнения задачи:

- Введенные в БД АЛП значения показателей надежности для элементов логистических структур.

8. Выполнение АВПО и АВПКО.

Примерный сценарий выполнения АВПКО системы ВС представлен на рис. 34.

По результатам анализа выполняется корректировка ЛСИ и ЛСФ, после этого необходимо повторить выполнение задач 5-8.

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. Определение состава работ по ТО. Расчет рекомендуемой периодичности планового ТО.

Примерный сценарий выполнения данной задачи АЛП для ВС представлен на рис. 35.

По результатам решения этой задачи АЛП формируется перечень необходимых плановых работ по ТО. При расчете рекомендуемой периодичности планового ТО используются данные справочника стандартных периодов обслуживания.

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.

10. Разработка описаний работ и регламентов ТО

Примерный сценарий разработки описаний работ и регламентов ТО системы ВС представлен на рис. 36.

Исходные данные для выполнения задачи:

- ЛСИ.
- Перечень рекомендуемых плановых работ и периодичность их выполнения.
- Виды отказов ЭК.

Результат выполнения задачи:

- Перечень работ и регламентов ТО.
- Описание технологии выполнения работ по ТО.
- Справочник ресурсов, необходимых для выполнения работ по ТО.
- Исходные данные для формирования ЭЭД.

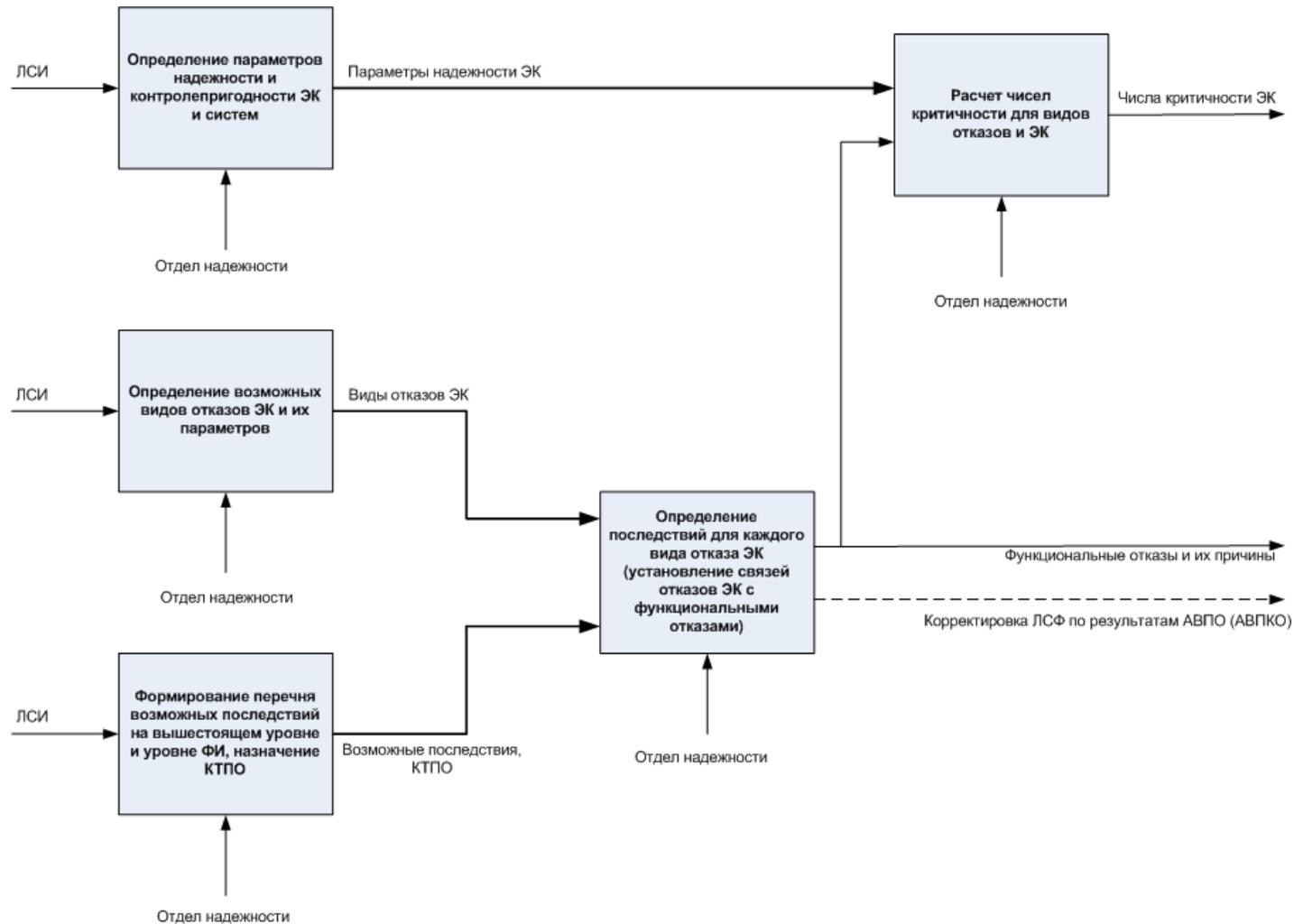


Рис. 34. Ввод параметров надежности и выполнение АВПКО

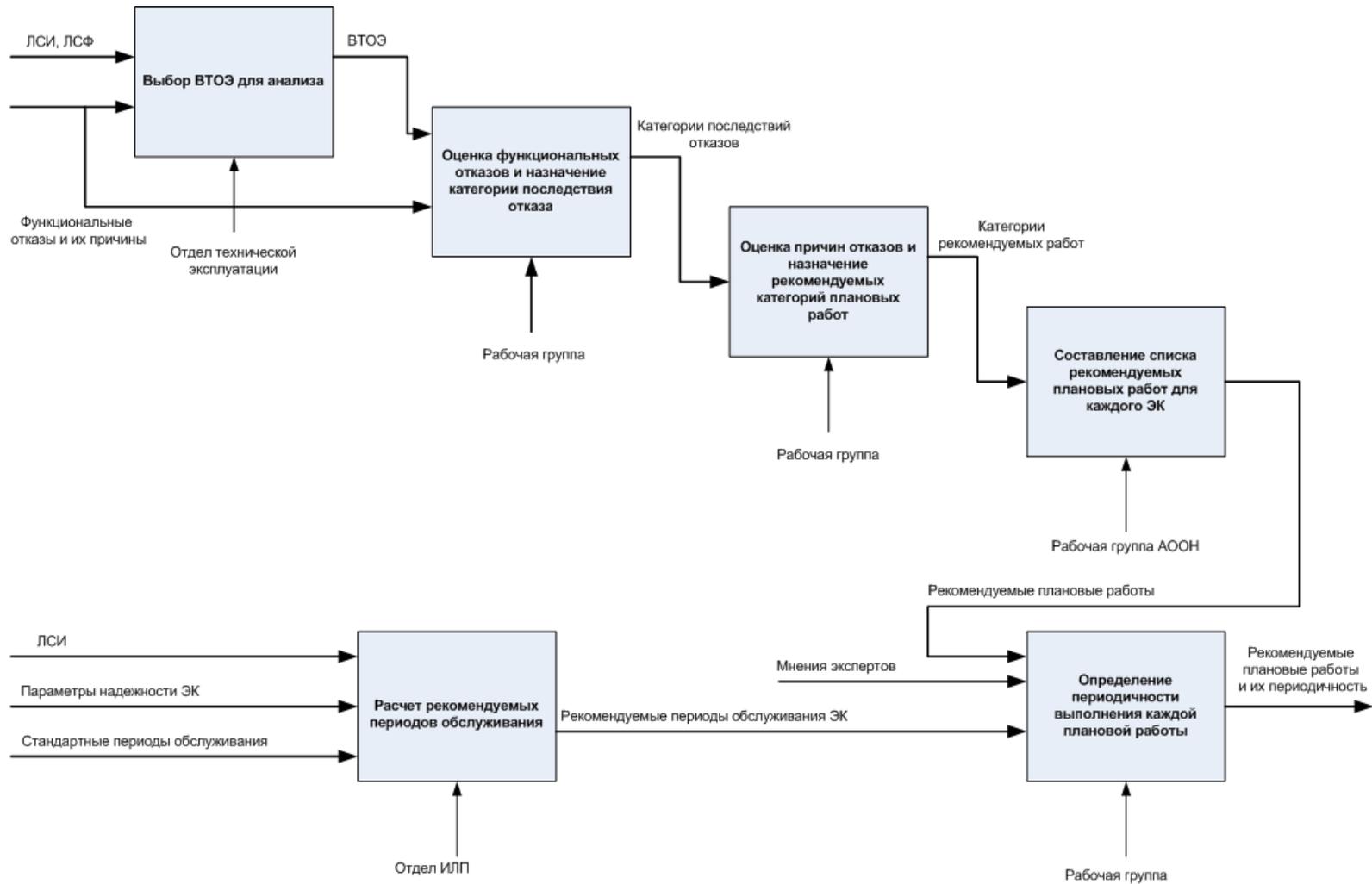


Рис. 35. Определение состава работ по ТО. Расчет рекомендуемой периодичности планового ТО

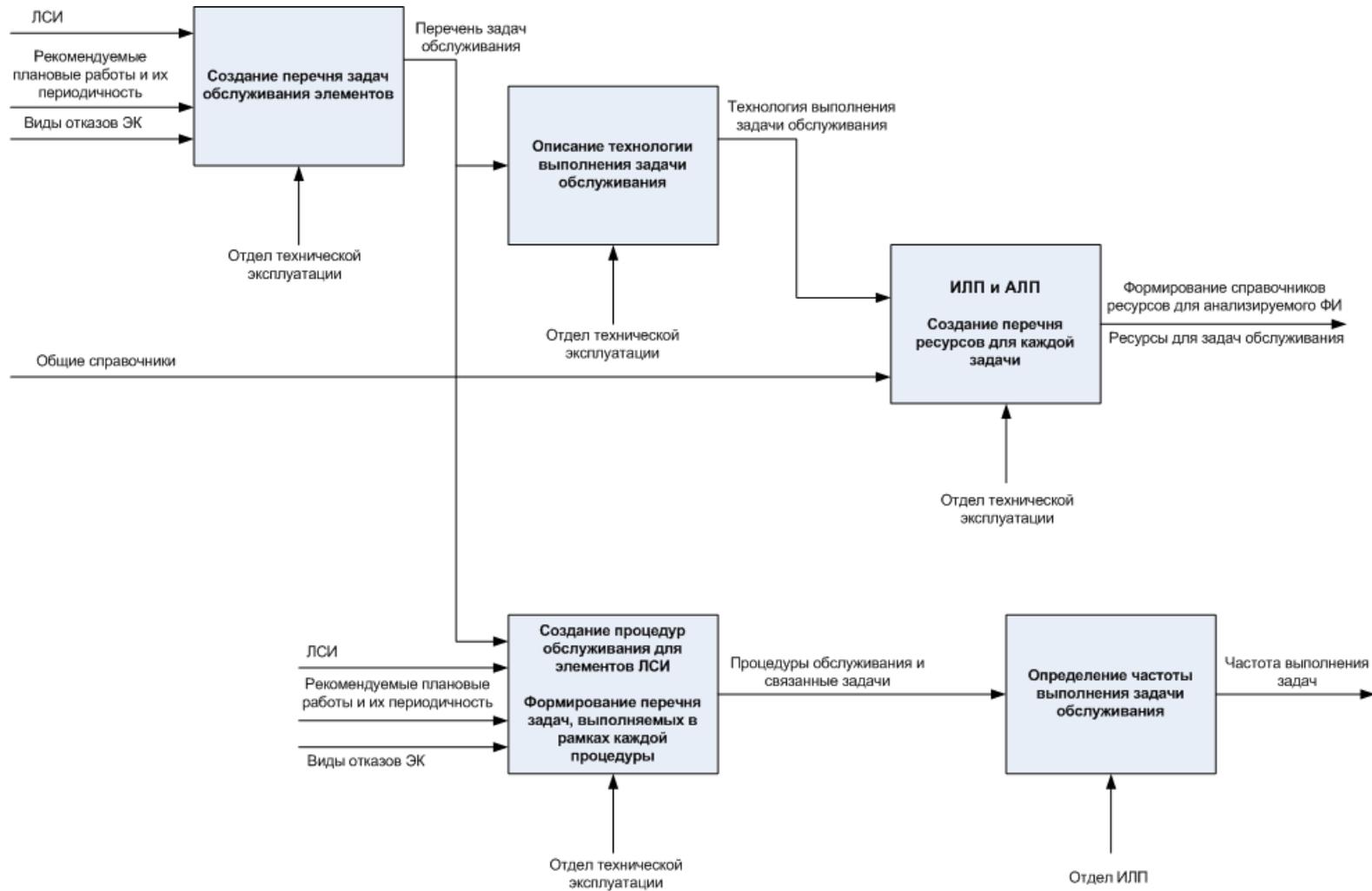


Рис. 36. Разработка описаний работ и регламентов ТО

11. Оценка потребностей в запчастях и расходных материалах на заданный период эксплуатации. Подготовка перечней, каталогов запчастей и расходных материалов.

Примерный сценарий выполнения работ при выборе элементов, рекомендуемых к поставке в качестве запчастей, и оценке их необходимого количества представлен на рис. 37.

Исходные данные для выполнения задачи:

- ЛСИ.
- Параметры надежности ЭК.
- КТПО ЭК.
- Информация о ресурсах, необходимых для выполнения работ по ТО 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 работ по ТО.

Результат выполнения задачи:

- Перечни средств обслуживания и контроля, инструмента и принадлежностей, необходимых для выполнения работ по ТО.

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 описания работ и регламентов ТО и т.д.

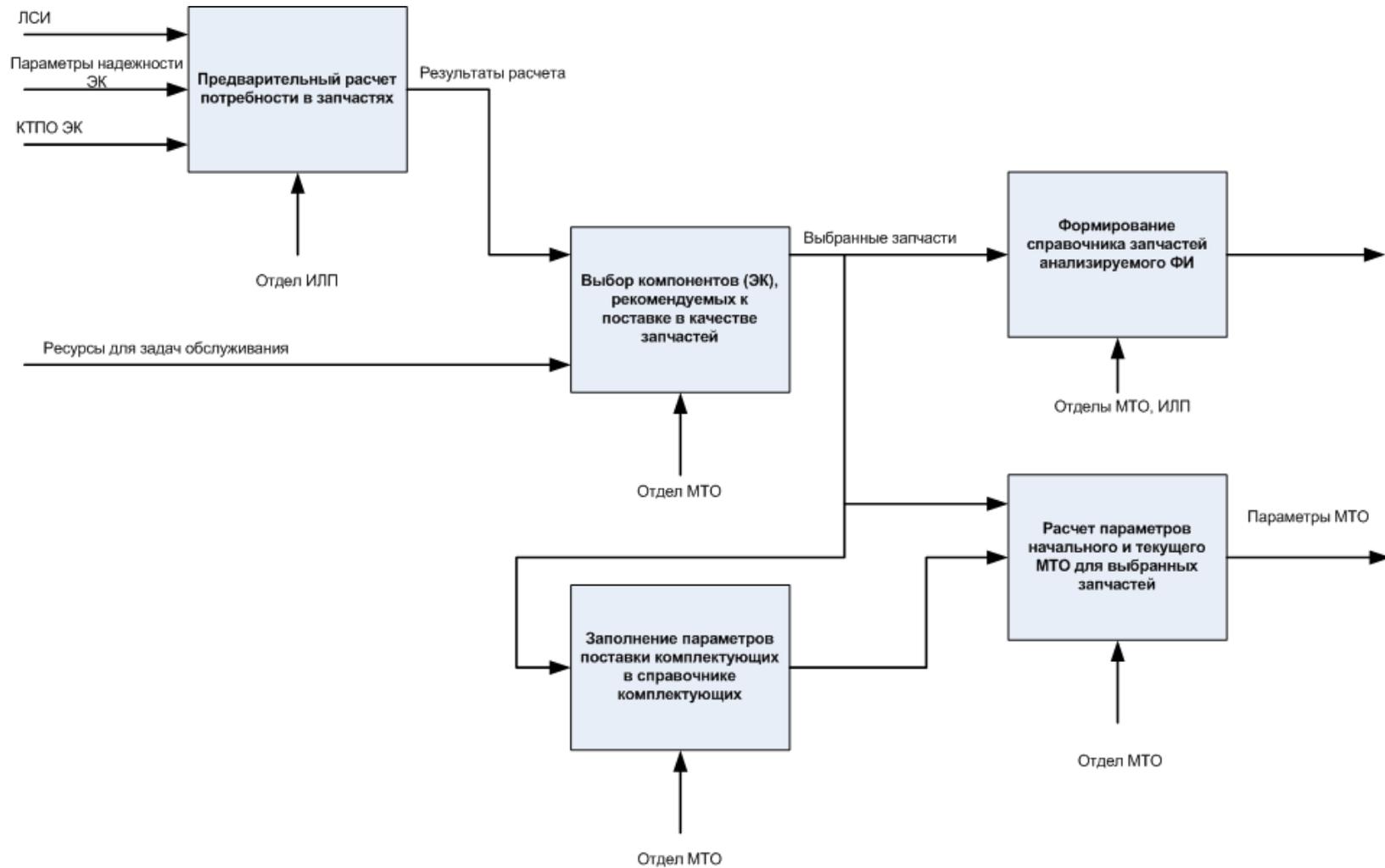


Рис. 37. Выбор элементов, рекомендуемых к поставке в качестве запчастей, и оценка их необходимого количества

14. Оценка затрат на техническое обслуживание в заданных условиях эксплуатации.

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

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

Исходными данными для расчета являются сведения обо всех видах ресурсов, необходимых для выполнения задач обслуживания.

15. Оценка затрат на техническое обслуживания по результатам эксплуатации.

Этот расчет проводится по результатам реальной эксплуатации изделия, зафиксированным в БД АЛП

12.3 Справочники и классификаторы

Общие указания

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 классификаторов 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.

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.

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 МТО.

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.

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 МТО.

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.

Справочник средств наземного обслуживания и инструмента

Данный справочник включает в себя средства наземного обслуживания и инструмент, используемый при выполнении ТО 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 ВС («Набор техника», «Набор для авиационной электрики» и т.п.).

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 не-

обходимости. Например, при экспорте изделия АТ за рубеж, оценки потребностей в персонале и затрат на трудовые ресурсы должны выполняться с учетом номенклатуры специальностей и валюты страны - импортера.

Для каждой специальности указываются:

- код специальности;
- наименование специальности;
- перечень возможных уровней квалификации.

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).

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 ВС;
- при описании технологии обслуживания для указания задействованных при выполнении задачи зон и мест доступа.

Справочник по структуре ТО

Справочник по структуре ТО содержит описание типовых периодов выполнения каждого из видов регламентных работ (видов или форм ТО) на ФИ. Справочник заполняется специалистами по ТО изделия на основании нормативной документации организации на данный тип изделий.

Справочник используется при определении рекомендуемой периодичности планового ТО компонентов ФИ, а также при описании регламентных работ на изделия.

Для каждого планового вида ТО в структуре ТО задается:

- обозначение вида ТО;
- наименование вида ТО;
- стандартная периодичность выполнения вида ТО;
- допустимое отклонение в "+";
- допустимое отклонение в "-".

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Определение периодичности выполнения работ по ТО

1. Общие указания

Необходимо определить наиболее подходящую периодичность каждой выбранной работы по ТО на основе имеющихся данных и инженерной оценки. Пока изделие не войдет в эксплуатацию, достоверные данные по интенсивности отказов и другим характеристикам элементов конструкции часто отсутствуют. В этом случае периодичность каждой работы по ТО систем определяется, в основном, на основе опыта эксплуатации подобных систем и агрегатов.

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

При определении периодичности работ по ТО 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.

Следует оценить начальный интервал для каждой работы по ТО на основе всех имеющихся в распоряжении данных. Как часть такой оценки, следует проанализировать ответы на следующие вопросы:

1. Какой опыт эксплуатации общих/подобных изделий/элементов/систем на других ВС имеется в распоряжении, чтобы определить наиболее эффективную 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?

2 Приближенная методика расчета периодичности ТО

Ниже приведена приближенная расчетная методика для определения периодичности ТО элементов 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 ТО 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, а для элементов с КТПО 3 и 4 – меньше (см. табл. 3, разд.4.4).

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:

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

Наработка может исчисляться в различных единицах измерения: в календарном времени, в часах налета (для ВС), 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 $t_{\text{пр}}$ 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:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2)$$

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

$$Q(t_{\text{пр}}) = (1 - e^{-\lambda t_{\text{пр}}}), \quad (3)$$

а вероятность безотказной работы:

$$P(t_{\text{пр}}) = e^{-\lambda t_{\text{пр}}} \quad (4)$$

В первом приближении предполагаем, что время восстановления работоспособности элемента равно нулю. В дальнейшем будет рассмотрен случай с ненулевым временем восстановления. 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 (3) с новым началом отсчета.

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

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.

Пусть P_0 – заданная вероятность безотказной работы элемента. Тогда с учетом (4) должно быть выполнено условие

$$P(t_{\text{np}}) = e^{-\lambda t_{\text{np}}} \geq P_0 \quad (5)$$

Решая неравенство (5), можно найти

$$\frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}} \leq -\ln P_0 \quad (6)$$

График, построенный в соответствии с (6), представлен кривой 1 на Рис. П.1. 1.

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

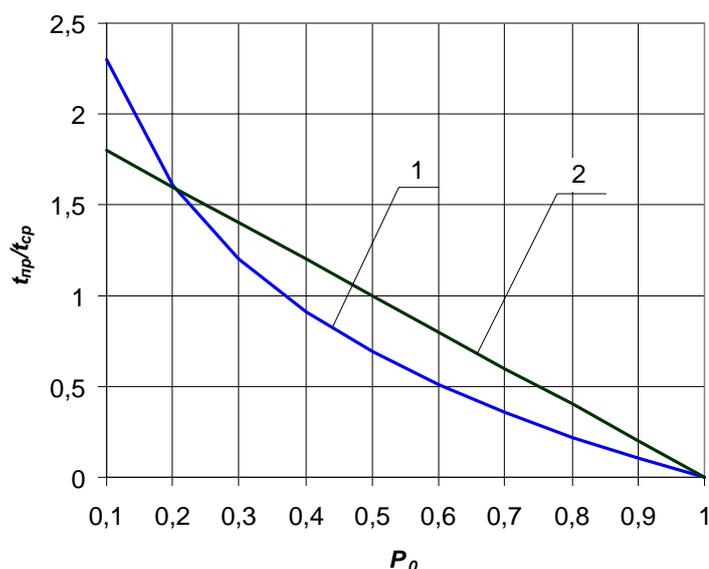


Рис. П.1. 1. График функций (6) и (7)

Более оптимистическую оценку можно получить посредством ряда несложных преобразований в виде:

$$\frac{t_{\text{np}}}{t_{\text{cp}}} \leq 2(1 - P_0) \quad (7)$$

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 (6). График, построенный в соответствии с (7) представлен прямой 2 на Рис. П.1. 1.

На практике (при $P_0 > 0,2$) для выбора величины t_{np} можно пользоваться условиями:

$$t_{\text{np}} \geq -t_{\text{cp}} \ln P_0, \quad (8)$$

$$t_{\text{np}} \leq 2t_{\text{cp}}(1 - P_0) \quad (9)$$

Формулу (8) следует использовать для элементов, отказы которых относятся к КТПО = 1 или 2, для остальных элементов (КТПО = 3, 4) рекомендуется применять формулу (9).

2.3 Определение $t_{\text{пр}}$ при возникновении отказа в интервале между профилактиками

Теперь рассмотрим случай, когда в интервале между профилактическими работами возникает отказ.

Пусть $t_{\text{отк}}$ – момент наступления отказа (время отсчитывается от момента предыдущего восстановления). После отказа также происходит «мгновенное» восстановление, а затем возобновляется процесс эксплуатации с первоначальными характеристиками надежности. Для рассматриваемого интервала $t_{\text{пр}}$ средняя вероятность отказа (при $t_{\text{отк}} = k t_{\text{пр}}$ ($k \leq 1$)):

$$\tilde{Q}_{t_{\text{пр}}} = \frac{t_{\text{пр}}}{2t_{\text{ср}}} \gamma_1, \quad (10)$$

где:

$$\gamma_1 = 2k(k-1)+1 \quad (11)$$

График функции (11) представлен на Рис. П.1. 2 (кривая 1).

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

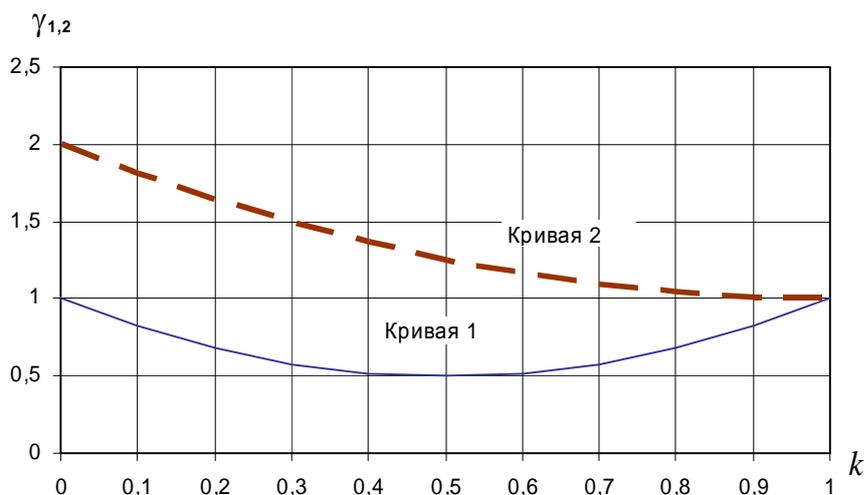


Рис. П.1. 2. График функций (11) и (14)

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 $[0, T]$:

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

Средняя вероятность безотказной работы:

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

откуда:

$$\frac{t_{\text{пр}}}{t_{\text{сп}}} \leq \frac{2(1 - P_0)}{\left[1 - \frac{m}{n}(1 - \gamma_1)\right]} \quad (12)$$

Поскольку $\left[1 - \frac{m}{n}(1 - \gamma_1)\right] \leq 1$, то $\bar{Q} \leq \tilde{Q}$, $\bar{P} \geq \tilde{P}$, т.е. средняя вероятность отказа меньше, а средняя вероятность безотказной работы больше, чем в случае, рассмотренном выше. Это означает, что время $t_{\text{пр}}$, найденное по формуле (12), будет больше, чем то же время, рассчитанное по формуле (7). Так, при $P_0 = 0,9$, $k = 0,4$, $\gamma_1 = 0,52$, $(m/n) = 0,5$, $t_{\text{пр}} = 2 * 0,1 / (1 - 0,5 * 0,48) = 0,263 t_{\text{сп}}$, т.е. при прочих равных условиях время $t_{\text{пр}}$ оказывается на 30% больше, чем рассчитанное по формуле (7).

Когда отказ возникает вблизи правой границы интервала $t_{\text{пр}}$, то нецелесообразно производить замену (восстановление) элемента в конце текущего интервала и имеет смысл отнести ее на конец следующего интервала $t_{\text{пр}}$. В этом случае средняя вероятность отказа на двух смежных интервалах:

$$\bar{Q}_{2t_{\text{пр}}} = \frac{t_{\text{пр}}}{2t_{\text{сп}}} \gamma_2, \quad (13)$$

где

$$\gamma_2 = (k - 1)^2 + 1 \geq 1 \quad (14)$$

График функции (14) – кривая 2 на рис. п.1. 2.

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

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

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

откуда:

$$\frac{t_{\text{пр}}}{t_{\text{сп}}} \leq \frac{2(1 - P_0)}{\left[1 + \frac{2m}{n}(\gamma_2 - 1)\right]} \quad (15)$$

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 $t_{\text{пр}} \leq 2 * 0,1 * (1/1,09) = 0,183 t_{\text{сп}}$, т.е. на 8,5% меньше, чем значение, рассчитанное по формуле (7). 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 (6) и (7).

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

В заключение рассмотрим случай, когда время t_b восстановления работоспособности элемента отлично от нуля, т.е. $t_b > 0$. Естественно предположить, что во время восстановительных работ вероятность отказа равна нулю. Для этого случая средняя вероятность отказа на интервале $[0, T]$ будет меньше, вероятность безотказной работы больше, и, следовательно, время $t_{пр}$ больше, чем рассчитанное по формуле (7). Поэтому расчет по формуле (7) даст результат «с запасом», а общая длительность цикла профилактических работ составит:

$$t^*_{пр} = t_{пр} + t_b \quad (16)$$

2.5 Привязка рассчитанной периодичности к стандартным периодам обслуживания

На практике для любого ВС задаются плановые сроки выполнения профилактических работ. Эти сроки назначаются чаще всего по наработке. Так, например, для некоторых ВС проводить такие работы предписывается через 150, 300, 600, 3000 летных часов и т.д.

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

$$T_{j+1} > t_{пр_{ин}} \geq T_j \quad (j = 1..k) \quad (17)$$

где:

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

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

Согласно (17), i -ый элемент должен подвергаться обслуживанию по достижении срока T_j . Рекомендуется назначать i -ому элементу срок обслуживания T_j при попадании расчетного значения $t_{пр_i}$ в диапазон $T_j \approx \begin{matrix} +5\% \\ -15\% \end{matrix}$. В случае попадания $t_{пр_i}$ в интервал между T_j и T_{j+1} , следует назначать i -ому элементу меньшее значение срока обслуживания (T_j). Для элементов, у которых $t_{пр_i} < T_1$, следует устанавливать особый режим обслуживания, либо должны быть приняты меры к повышению надежности такого элемента. Для элементов, у которых $t_{пр_i}$ больше их срока службы, плановые сроки обслуживания не назначаются.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Пример выполнения АЛП с использованием программного продукта LSA Suite

Рассмотрим пример выполнения АЛП с использованием программного продукта LSA Suite (LSS), разработанного НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». 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 ТО.
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.

С программой LSS поставляются такие классификаторы, как:

- «SNS-коды систем согласно ASD S1000D», 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 ТОиР»,
- 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.

После создания нового проекта по системе открывается главное окно программы LSS, представленное на Рис.П.2. 1. В левой части главного окна представлены разделы, содержащие набор вкладок. При выборе одной из вкладок ее содержимое отображается в правой части окна.

Создание проекта АЛП. Описание сценария использования

Ввод основных параметров проекта

Для ввода основных параметров проекта перейдем на вкладку «**Данные о проекте**».

Скриншот интерфейса программы LSS, вкладка «Данные о проекте». В левой панели меню видны разделы: Проект, Логистическая..., АВПКО, ТОИР. В основной области формы введены следующие данные:

- Конечное изделие: КАФИ: >>>>, Версия: 1.0
- Наименование: самолет
- Параметры проекта: Заказчик: 05: Аэрофлот
- Описание поставки: (пустое поле)
- Вид Вооруженных Сил: (значение не задано)
- Номер контракта на поставку: (пустое поле), Код конфигурации: AAA
- Единица измерения наработки: летные часы, Коэф. для перевода в часы: 1
- Период начального МТО (мес): 24, Номер проекта НМТО: (пустое поле)
- Валюта: RUB: рубль
- Стоимость 1м3 помещений для хранения запаса в год: 5000
- Кодирование элементов:

Структура ЛКН ЛСФ:	1: 3	2: 2	3: 2	4: 2	5: 2	6: 2	7: 2	8: 2	9: 2
Структура ЛКН ЛСИ:	1: 2	2: 1	3: 1	4: 2	5: 2	6: 2	7: 2	8: 2	9: 2
- Структура функций: ЛКН: F28
- Структура изделия: ЛКН: 28

Рис.П.2. 1. Ввод основных параметров проекта и определение правил присвоения ЛКН

На Рис.П.2. 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.

Рассмотрим, как формируется ЛКН для элементов ЛСФ (Рис.П.2. 2):

- ЛКН элемента первого уровня состоит из трех букв или цифр, в нашем примере, «F28».
- ЛКН элемента второго уровня складывается из ЛКН родительского элемента «F28» и двух цифр. Например, значение «F28-01».
- ЛКН элемента третьего уровня складывается из ЛКН родительского элемента и двух цифр. Например, значение «F28-01-10».

Кодирование элементов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Структура ЛКН ЛСФ:	3	2	2	2	2	2	2	2	2
Структура ЛКН ЛСИ:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Структура функций:	ЛКН: F28		Структура изделия: ЛКН: 28						

Рис.П.2. 2. Кодирование элементов ЛСФ и ЛСИ

Описание сценария использования

Для ввода параметров сценария использования изделия и перечня фаз миссии (этапов полета), содержащего все значимые для анализа систем этапы, перейдем на вкладку «Сценарий использования».

В рассматриваемом примере заданы следующие основные параметры сценария использования (Рис.П.2. 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.П.2. 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.

№	Код фазы	Наименование	Доля
1	ЗП	Наземные операции	0.08
2	ЗД	Запуск двигателя и выруливание	3.16
3	ВЗ	Взлет и начальный набор высоты	0.71
4	НВ	Набор высоты	7.1
5	КЗ	Круиз	80.8

Рис.П.2. 3. Описание сценария использования и фаз миссии (этапов полета), выполняемой изделием в рамках сценария использования

Построение логистических структур. Функциональный анализ

Следующий этап выполнения АЛП заключается 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.

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 ВС, 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.П.2. 4 представлена выборка элементов-кандидатов в справочнике изделий.

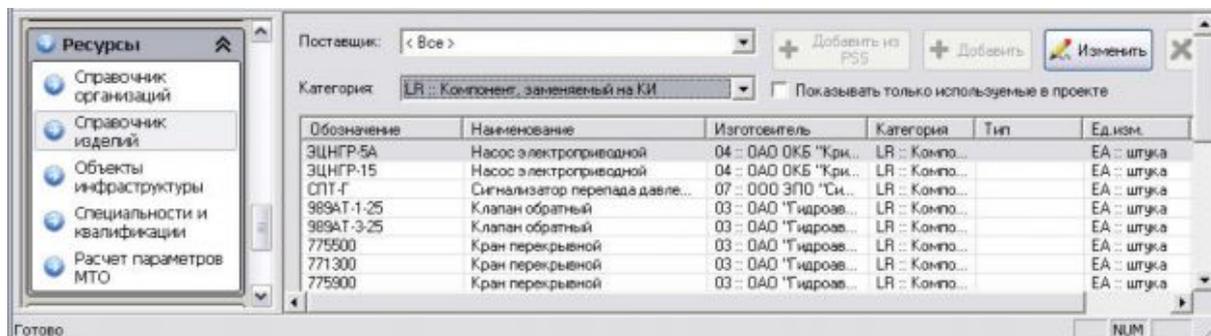


Рис.П.2. 4. Справочник изделий

Построение ЛСИ

ЛСИ в программе LSS строится в виде иерархического графа в соответствии со стандартной системой нумерации объектов ВС 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.П.2. 5).

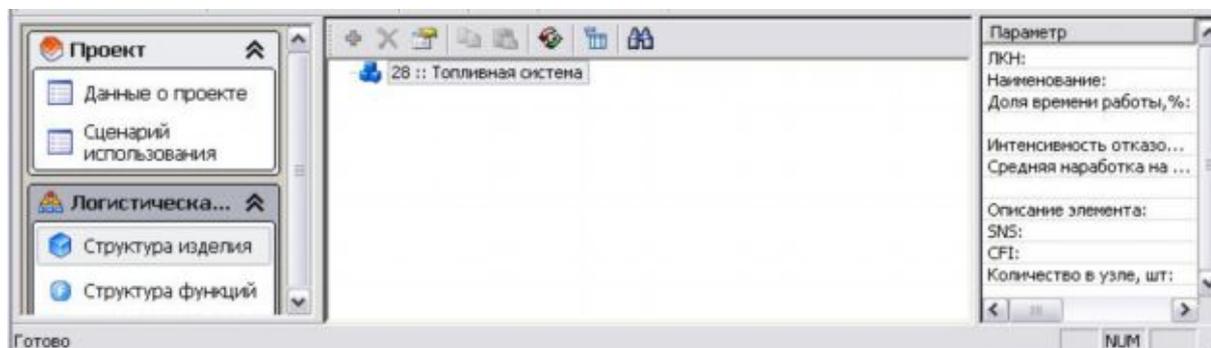


Рис.П.2. 5. Вкладка «Структура изделия»

При построении ЛСИ выполняются следующие операции:

1. Вводятся данные корневого элемента ЛСИ, созданного автоматически. На Рис.П.2. 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.П.2. 6. Окно свойств корневого элемента ЛСИ

2. Создаются дочерние элементы ЛСИ уровней «подсистема», «под-подсистема», «агрегат/изделие». На Рис.П.2. 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.

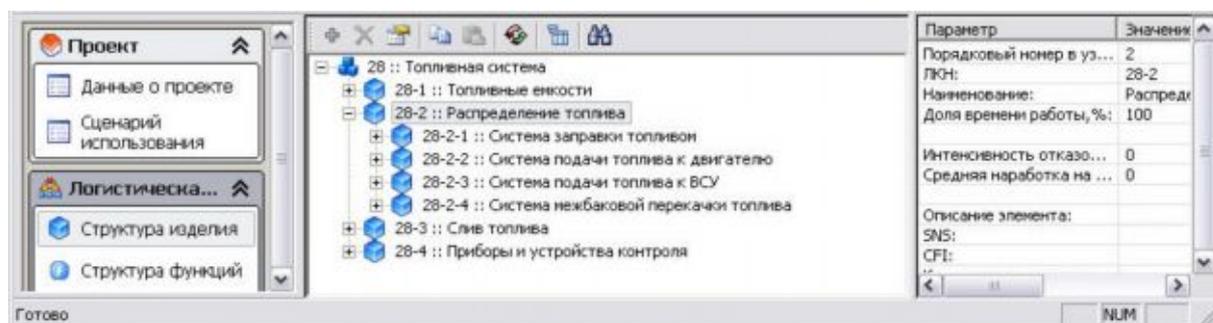


Рис.П.2. 7. ЛСИ

3. Элементы ЛСИ нижнего уровня разукрупняются сопоставляются с изделиями, которыми они реализуются. При этом для каждого элемента ЛСИ указывается количество соответствующих изделий. В примере, представленном на Рис.П.2. 8, элемент ЛСИ реализуется одним изделием «ЭЦНГР-15::Насос электроприводной».

Рис.П.2. 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.П.2. 9, для элемента ЛСИ 28-2-2-03 заданы зона установки и зона доступа «155::Центроплан (слева от ПСС)».

Рис.П.2. 9. Задание зоны и места доступа для элемента ЛСИ

На Рис.П.2. 10 представлена часть ЛСИ системы 28, сформированная в программе LSS. Созданная ЛСИ имеет четырехуровневую структуру вида «система – подсистема – под-подсистема – изделие/агрегат».

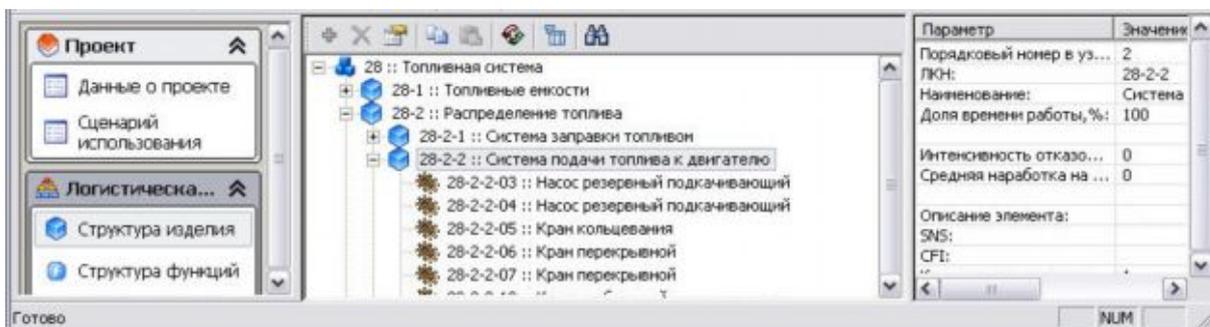


Рис.П.2. 10. ЛСИ

На Рис.П.2. 11 представлен фрагмент отчета «Логистическая структура изделия», содержащего результаты построения ЛСИ.

БД А.П. 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 работки
000	Топливная система	28	00	Р		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.П.2. 11. Фрагмент отчета «Логистическая структура изделия»

Построение ЛСФ

Для построения ЛСФ перейдем на вкладку «Структура функций» (Рис.П.2. 12).

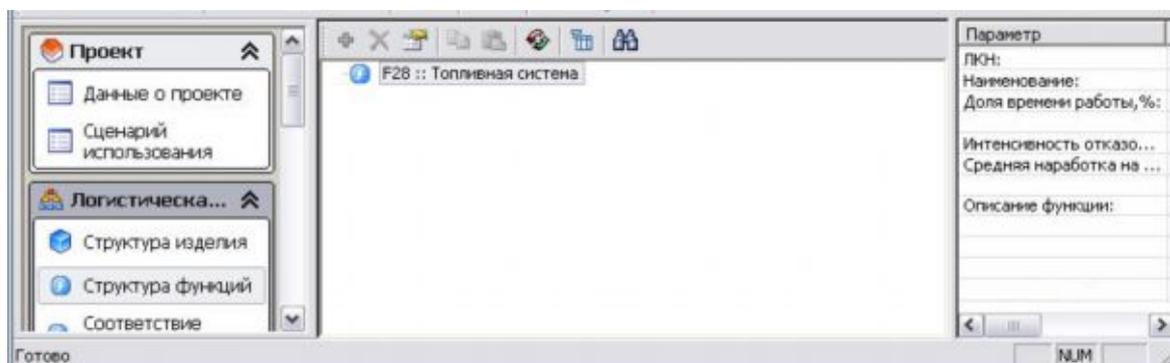


Рис.П.2. 12. Вкладка «Структура функций»

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.П.2. 13).

Элемент ЛСФ - Только чтение

ЛКН: Уровень:

Наименование:

Описание функции:

Доля времени работы элемента (%):

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	Клипз	80.0

Безотказность

Интенсивность отказов, 1/летные часы:

Средняя наработка на отказ, летные часы:

Значение:

Тип значения:

Источник данных:

Функция подлежит анализу MSG-3

Рис.П.2. 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.П.2. 14 представлена созданная ЛСФ анализируемой системы 28.

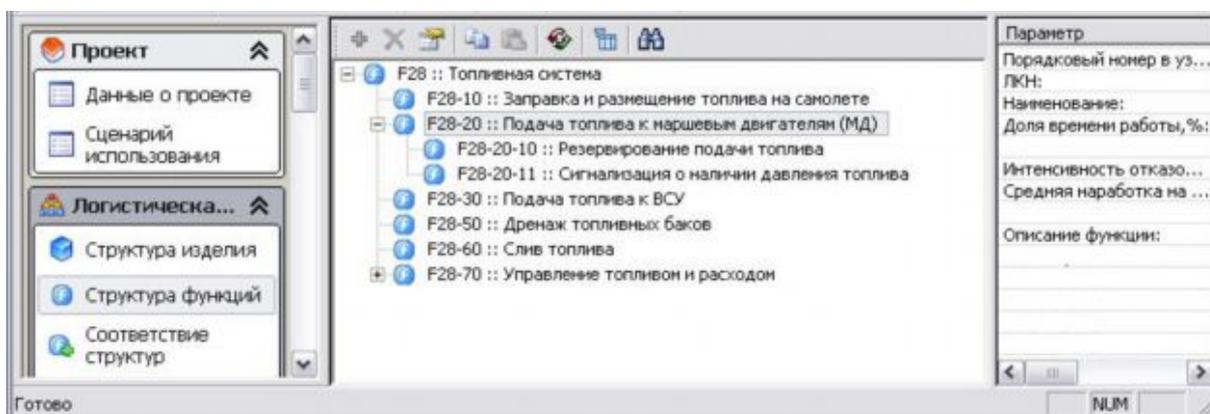


Рис.П.2. 14. ЛСФ

На следующем рисунке представлен фрагмент отчета «Логистическая структура функций».

КАФН	Наименование элемента	Начальный ЛКН	АЛКН	Тип структуры	Конечный ЛКН	Код конфигурации	Вид ВС	ЕИ наработки
000	Топливная система	F28	00	F		AAA		Н : летные часы
ЛКН	Наименование элемента	Описание функции			Доля времени работы (%)	Фазы выписки		
F28	Топливная система				100	Все фазы		
F28-20	Подача топлива к маршевым двигателям (МД)				99.92	ЭД,БЗ,НВ,КЗ,СН,ПТ,ЗР		
F28-20-10	Резервирование топлива				15.74	БЗ,НВ,СН,ПТ		
F28-20-11	Сигнализация о низком давлении топлива				89.57	ЭД,БЗ,НВ,КЗ,СН,ПТ,ЗР		
F28-30	Подача топлива к ВСУ				5.39	ЭП,ЭД,БЗ,ПТ,ЗР		
F28-50	Дренаж топливных баков				94.85	Все фазы		
F28-60	Слив топлива				0.08	ЭП		
F28-70	Управление топливом и расходом				99.92	ЭД,БЗ,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	ЭД,БЗ,НВ,КЗ,СН,ПТ,ЗР		

Рис.П.2. 15. Фрагмент отчета «Логистическая структура функций»

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.П.2. 16. В левой части окна представлена ЛСФ, в правой части – ЛСИ.

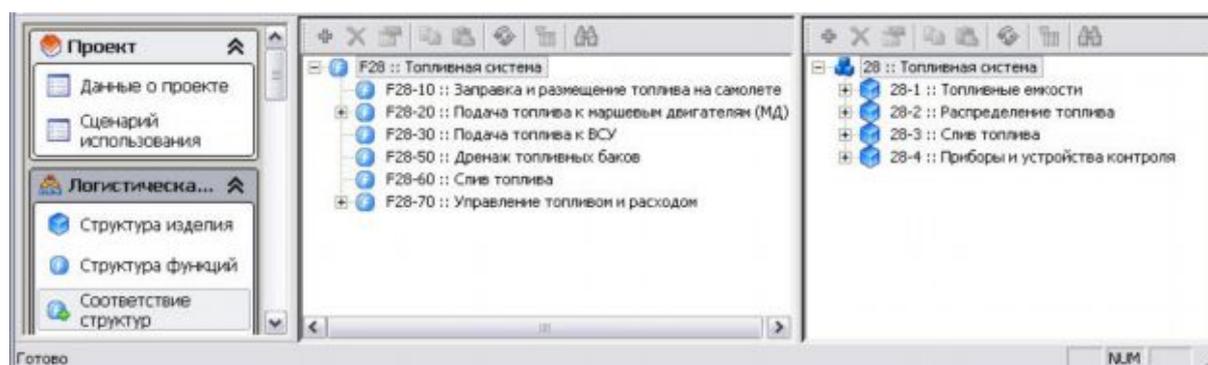


Рис.П.2. 16. Вкладка «Соответствие структур»

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.П.2. 17 в левой части окна под функцией F28-20 появились элементы ЛСИ, реализующие эту функцию.

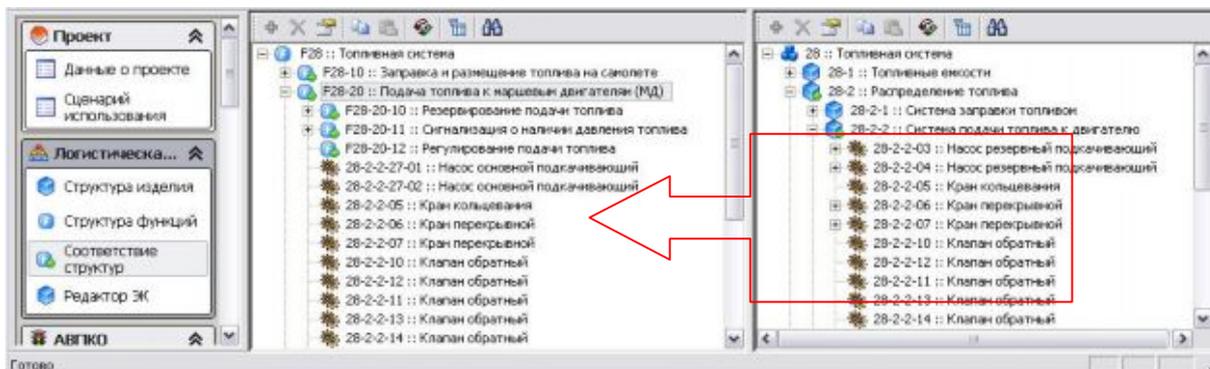


Рис.П.2. 17. Результат установления связей между элементами ЛСФ и ЛСИ

Результаты установления связи между элементами ЛСФ и ЛСИ могут быть получены из БД АЛП в виде соответствующего отчета (Рис.П.2. 18).

БД АЛП		Время 14:25	Дата: 02/09/2008						
Связь между ЛСФ и ЛСИ									
КАФН	Наименование элемента	Начальный ЛКН	АЛКН	Тип структуры	Конечный ЛКН	Код конфигурации	Вид ВС	ЕП	Изм/работки
000	Подача топлива к маршевым двигателям (МД)	F28-20	00	F		AAA		N	новые 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 подключающий	Электроприводной насос переменного тока			
				28-2-2-27-02	Насос основной подключающий	Электроприводной насос переменного тока			
				28-2-2-05	Кран кольцевания	Кран электроуправляемый постоянного тока			

Рис.П.2. 18. Фрагмент отчета «Связь между ЛСФ и ЛСИ»

Присвоение кодов ССН (SNS) элементам ЛСИ

Далее необходимо элементам ЛСИ присвоить коды по стандартной системе нумерации объектов ВС. На этом этапе создается структура ССН объектов проекта по системе в программном модуле «Редактор DMRL», позволяющем сформировать структуру стандартной нумерации объектов согласно стандарту ASD S1000D.

При создании структуры ССН объектов проекта для системы 28:

- Выбрана система «28::Топливная система» по стандарту S1000D. В результате создана структура ССН, состоящая из системы и входящих в нее подсистем (Рис.П.2. 19).

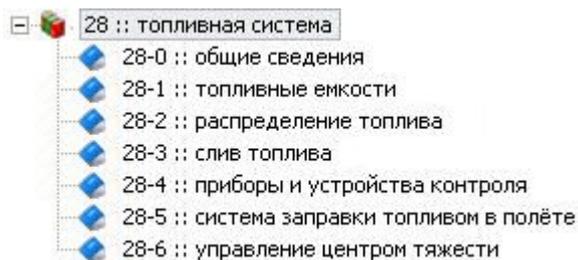


Рис.П.2. 19. Созданная структура ССН объектов системы 28

- Далее в структуре ССН созданы уровни «под-подсистема» и «агрегат/изделие». На Рис.П.2. 20 в левой части окна представлена созданная структура ССН объектов системы 28 вида «система – подсистема – под-подсистема – агрегат».

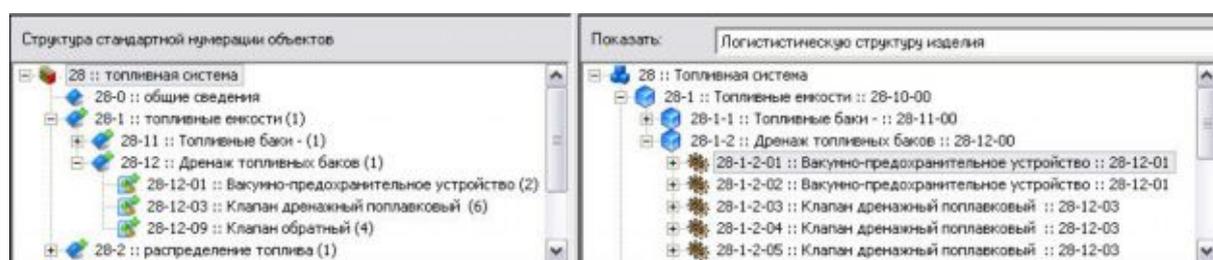


Рис.П.2. 20. Присвоение кодов SNS элементам ЛСИ

Далее элементам ЛСИ присваиваются коды SNS (ССН) посредством функции drag&drop. На Рис.П.2. 20 в правой части окна представлена ЛСИ, в которой после наименования логистического элемента отображается присвоенный код SNS. Кроме этого код SNS отображается в окне свойств элемента ЛСИ (Рис.П.2. 21), в отчетных формах и т.д.

Рис.П.2. 21. Отображение SNS в окне свойств элемента ЛСИ

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.П.2. 22).

БД АЛП													
Время 14:31						Дата: 02/09/2008							
Перечень LRU и SRU													
Конфигурация: 1.0				Система: Топливная система				Пользователь: Administrator					
СГТ	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	Вакуумно-предохранительное устройство			Топливные емкости	NA-50	LRU	560	560	Y		0.00
2-	QM281	28-1-2-02	Вакуумно-предохранительное устройство			Топливные емкости	NA-50	LRU	660	660	Y		0.00
3-	QM281	28-1-2-03	Клапан дренажный поплавковый			Топливные емкости	742600	LRU	571	571	Y		0.00

Рис.П.2. 22. Фрагмент отчета «Перечень LRU и SRU»

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.

Рис.П.2. 23. Параметры надежности изделия

В справочник изделий программы LSS для изделий, связанных с элементами ЛСИ, вводятся значения следующих параметров (Рис.П.2. 23):

- Интенсивность отказов.
- Средняя наработка на отказ.
- Средняя наработка на внеплановый съем.
- Среднее время восстановления.
- Назначенный ресурс.
- Назначенный срок службы.

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.П.2. 24). В представленном на рисунке примере элемент ЛСИ наследует параметры надежности связанного с ним изделия. Если параметры надежности эле-

мента ЛСИ отличаются от параметров надежности связанного изделия, то они редактируются непосредственно в окне свойств элемента ЛСИ.

Рис.П.2. 24. Параметры надежности элемента ЛСИ

В примере, представленном на Рис.П.2. 24, доля времени работы элемента ЛСИ определяется на основании функционального анализа (по долям времени работы функции, с которой связан этот элемент ЛСИ).

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.

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.П.2. 25 – Рис.П.2. 29.

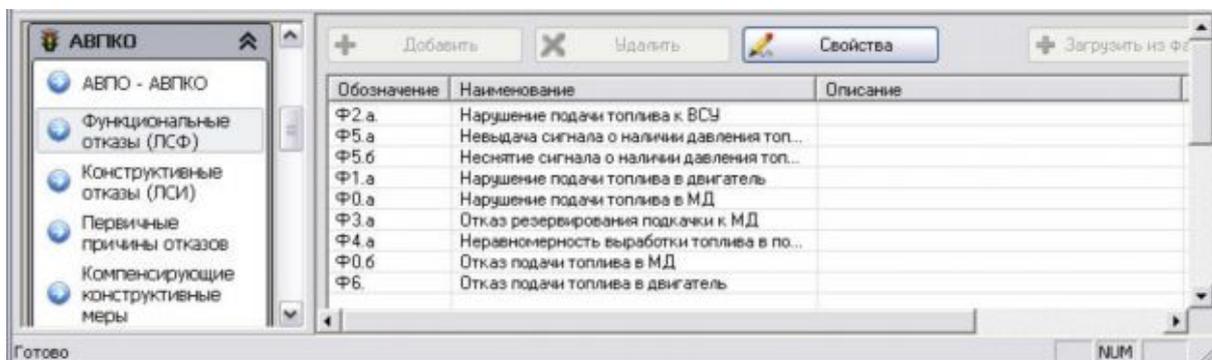


Рис.П.2. 25. Справочник «Функциональные отказы»

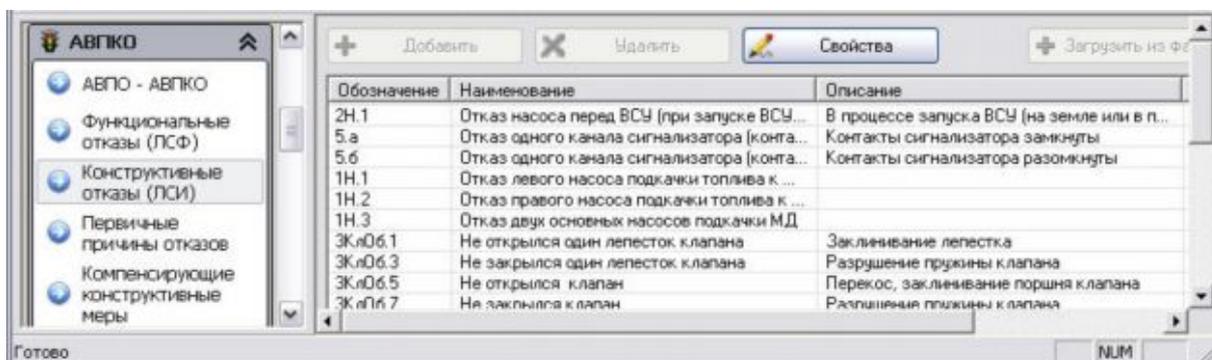


Рис.П.2. 26. Справочник «Конструктивные отказы»

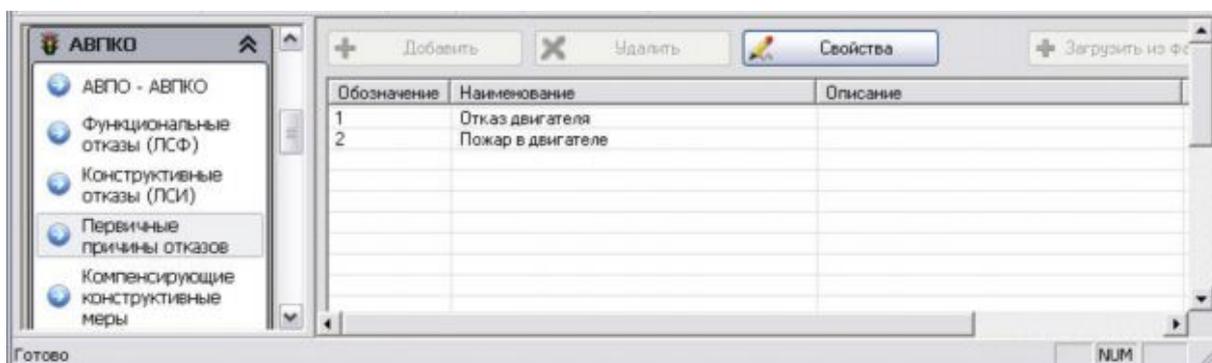


Рис.П.2. 27. Справочник «Первичные причины отказов»

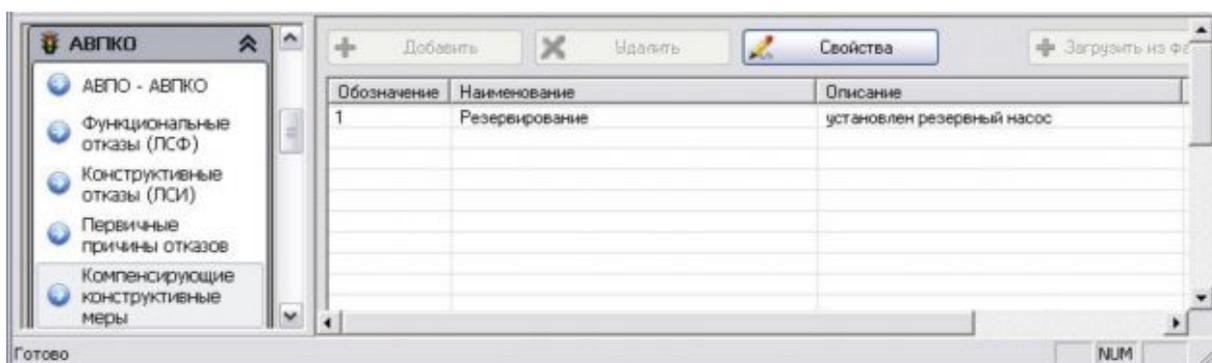


Рис.П.2. 28. Справочник «Компенсирющие конструктивные меры»

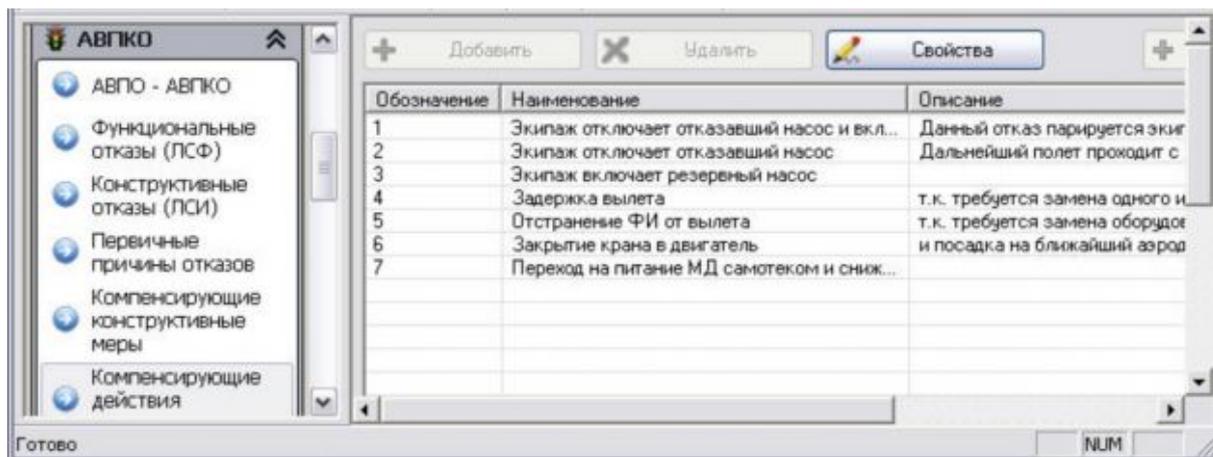


Рис.П.2. 29. Справочник «Компенсирющие действия персонала»

Создание перечня отказов для логистических элементов

Для создания перечня видов отказов логистических элементов предназначена вкладка **АВПО-АВПКО**. Внешний вид вкладки представлен на Рис.П.2. 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.

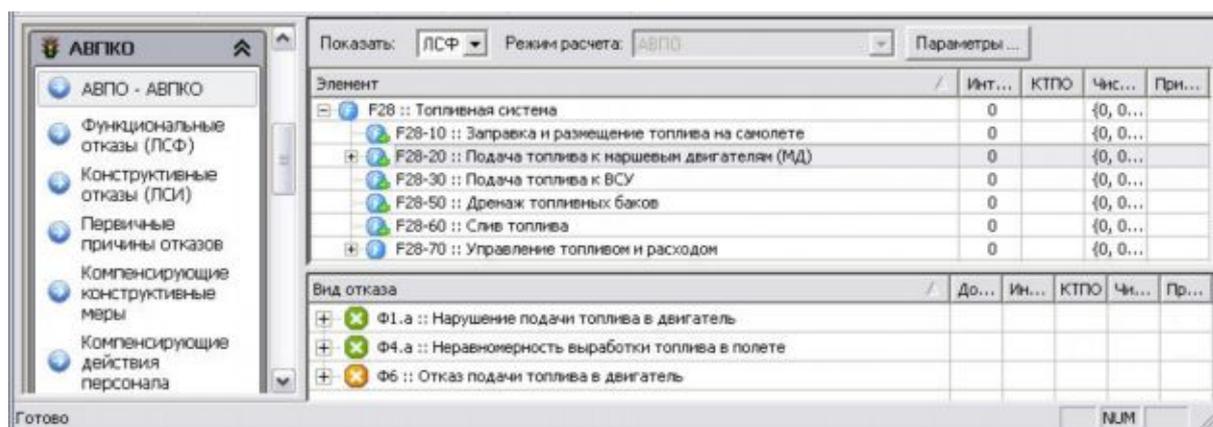


Рис.П.2. 30. Внешний вид вкладки «АВПО-АВПКО»

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.

Создание вида отказа элемента ЛСФ F28-20

На Рис.П.2. 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»,

- b. «Интенсивность вида отказа»,
 - c. «Доля вида отказа».
4. значение параметра «Уровень вероятности отказа», используемого при выполнении анализа критичности качественного;
 5. метод обнаружения отказа и сведения о компенсации отказа.

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.П.2. 31. Окно свойств элемента ЛСФ F28-20

Созданный вид отказа корневого элемента ЛСФ F28-20 отображается в нижнем окне вкладки «АВПО-АВПКО». На Рис.П.2. 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 разжжение топлива на самолете	0		{0, 0...	
F28-20 :: Подача топлива к наршевым 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	Чис...	Пр...
Ф1.а :: Нарушение подачи топлива в деигатель					
Ф4.а :: Неравномерность выработки топлива в полете					
Ф6 :: Отказ подачи топлива в деигатель					

Готово NUM

Рис.П.2. 32. Созданные виды отказов элемента ЛСФ F28-20

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.П.2. 33 приведена экранная форма для ввода данных вида отказа дочернего элемента ЛСФ F28-20-11. На Рис.П.2. 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:

КТРО:

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.П.2. 33. Окно свойств элемента ЛСФ F28-20-11

Показать: ЛСФ Режим расчета: АВПО Параметры...

Элемент	Инт...	КТРО	Чис...	При...
F28 :: Топливная система	0		{0, 0...	
F28-10 :: Заправка и размещение топлива на самолете	0		{0, 0...	
F28-20 :: Подача топлива к паршевым двигателям (МД)	0		{0, 0...	
F28-20-10 :: Резервирование подачи топлива	0		{0, 0...	
F28-20-11 :: Сигнализация о наличии давления топлива	0		{0, 0...	
F28-30 :: Подача топлива к ВСУ	0		{0, 0...	
F28-50 :: Дренаж топливных баков	0		{0, 0...	

Вид отказа	До...	Ин...	КТРО	Чис...	Пр...
Ф2.а :: Невыдача сигнала о наличии давления топлива в трубопроводе п...					
Ф2.б :: Неснятие сигнала о наличии давления топлива в трубопроводе пр...					

Рис.П.2. 34. Созданные виды отказа элемента ЛСФ F28-20-11

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.П.2. 35 представлены созданные виды отказа «5.а» и «5.б» элемента ЛСИ 28-2-2-17.

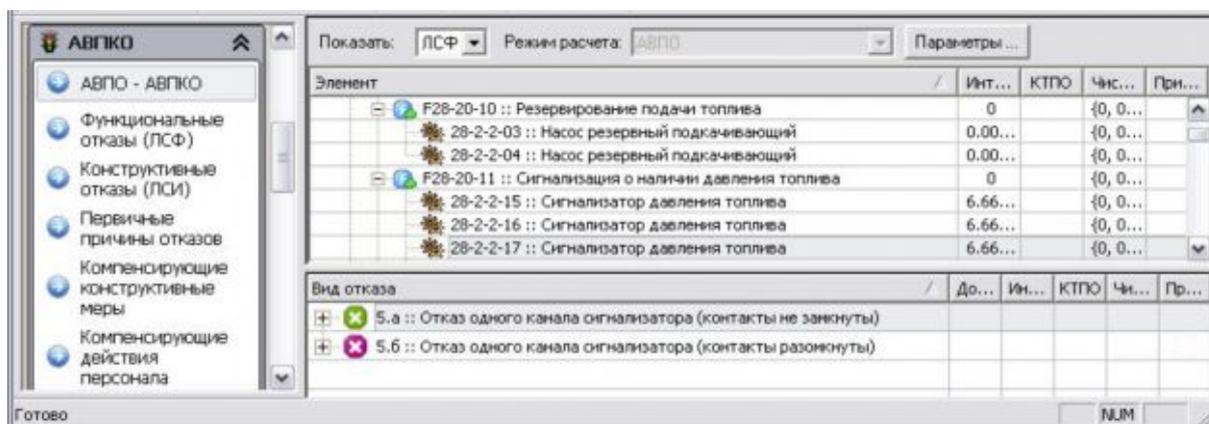


Рис.П.2. 35. Созданные виды отказа элемента ЛСИ 28-2-2-17

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.П.2. 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).

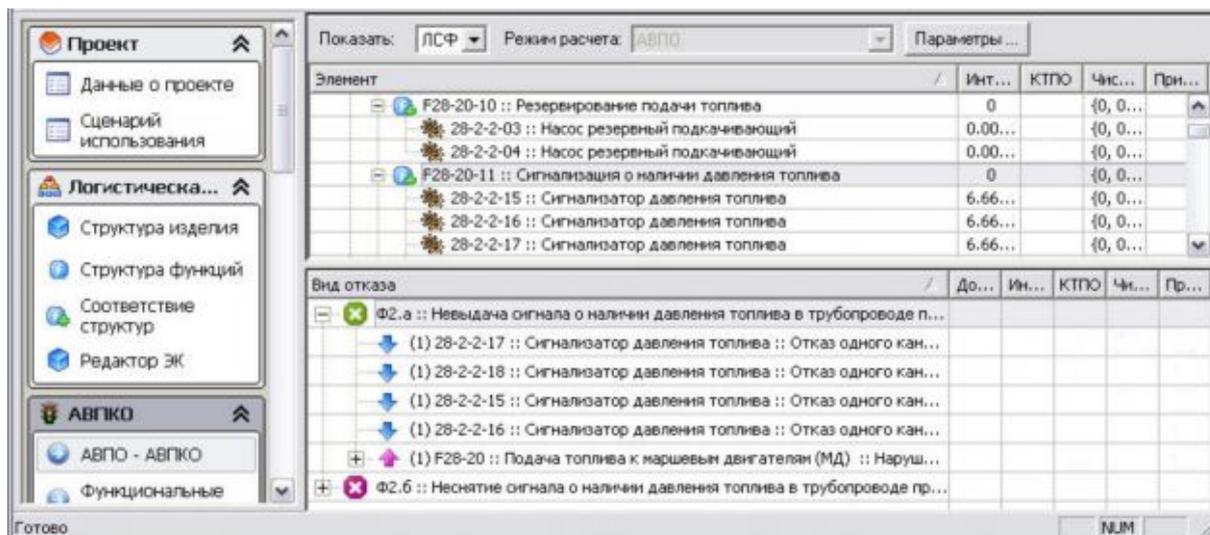


Рис.П.2. 36. Результат установления связей между видами отказов элементов ЛСФ и ЛСИ

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.П.2. 37).

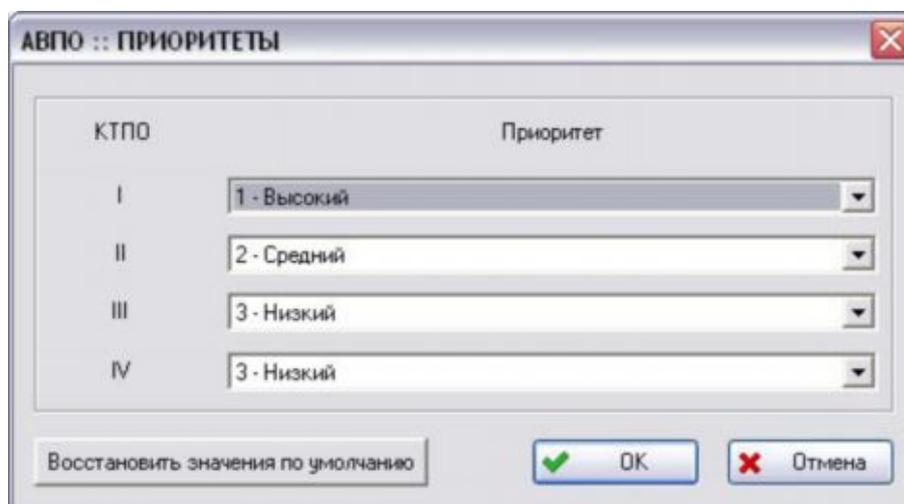


Рис.П.2. 37. Задание параметров расчета показателей АВПО

На следующем рисунке представлен результат расчета показателей АВПО, в результате которого всем видам отказов были присвоены приоритеты в зависимости от КТПО.

Рис.П.2. 38. Результат расчета показателей АВПО

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.П.2. 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									
КАФН	Наименование элемента	Начальный ЛКН	АЛКН	Тип структуры	Конечный ЛКН	Код конфигурации	Вид ВС	ЕИ	Использован
000	Поддача топлива к маршевым двигателям (МД)	F28-20	00	F		AAA			Н : латинские часы
ЛКН	Наименование элемента	Описание элемента	Вид отказа	Последствия отказа			КТПО	Коэффициент воздействия персонала	Коэффициент конструктивной меры
				на данном уровне	на вышестоящем уровне	на уровне КЛ			
F28-20	Поддача 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 расхода топлива в двигателе	F28 : Топливная система : Нарушение подачи топлива в МД	F28 : Топливная система : Нарушение подачи топлива в МД	III			

Рис.П.2. 39. Фрагмент отчета «Сводный отчет по АВПО»

Разработка программы планового обслуживания по методике 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.П.2. 40 представлен внешний вид окна программы LSS, предназначенного для выполнения анализа по 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.

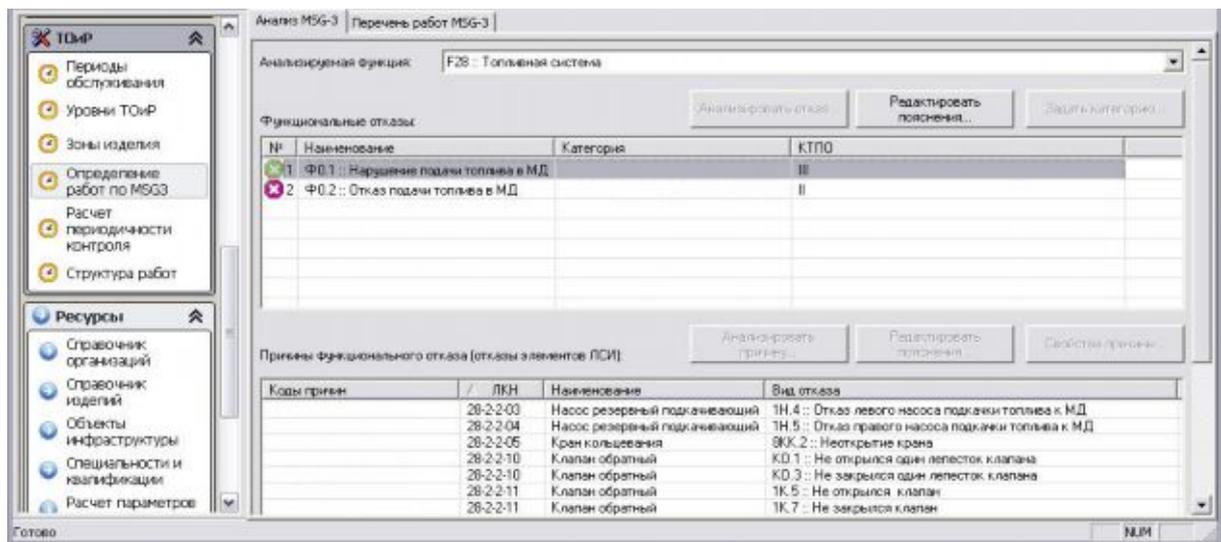


Рис.П.2. 40. Внешний вид окна программы LSS, предназначенного для выполнения анализа по алгоритму MSG-3

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 методике MSG-3, рассмотренной в разделе 5.4. Каждый шаг методики – это определенный вопрос, на который должен ответить пользователь по отношению к анализируемому функциональному отказу (Рис.П.2. 41).

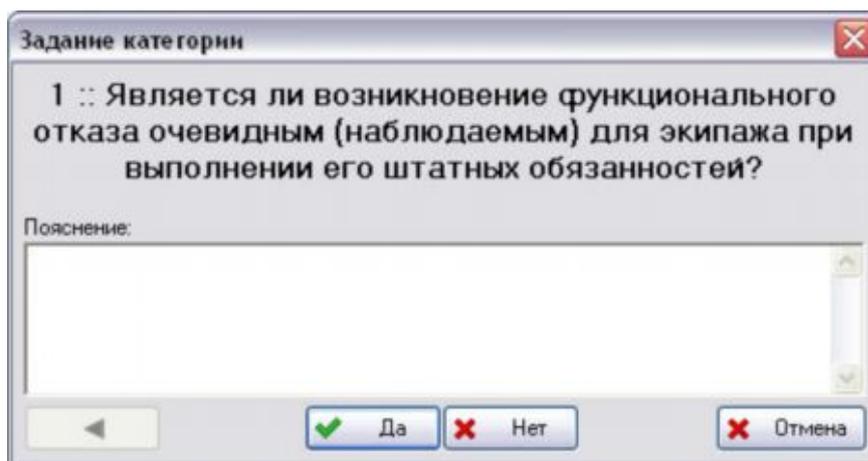


Рис.П.2. 41. Диалоговое окно с вопросом – шагом анализа, по которому определяется категория функционального отказа

При определении перечня плановых работ определяются и анализируются причины функционального отказа по алгоритму MSG-3 (Рис.П.2. 42).

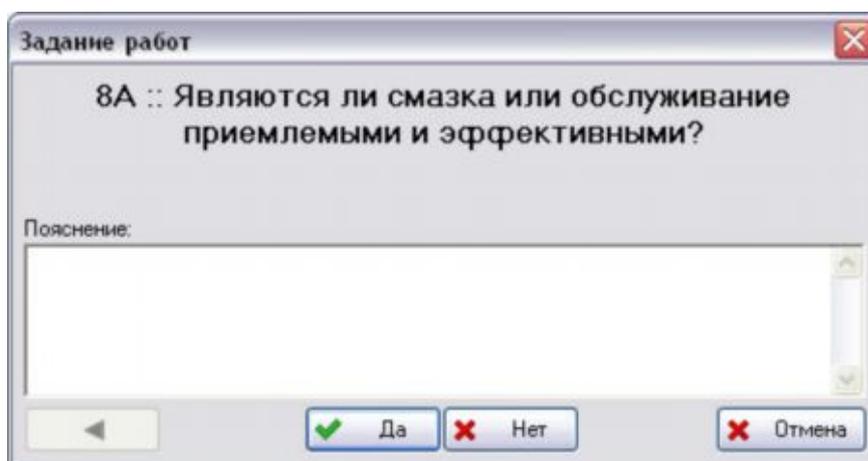


Рис.П.2. 42. Диалоговое окно с вопросом – шагом анализа причин функционального отказа

В результате анализа причин функционального отказа определяются рекомендуемые категории работ, которые необходимо выполнить для предотвращения отказа или снижения тяжести его последствий. На Рис.П.2. 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 MSG-3.

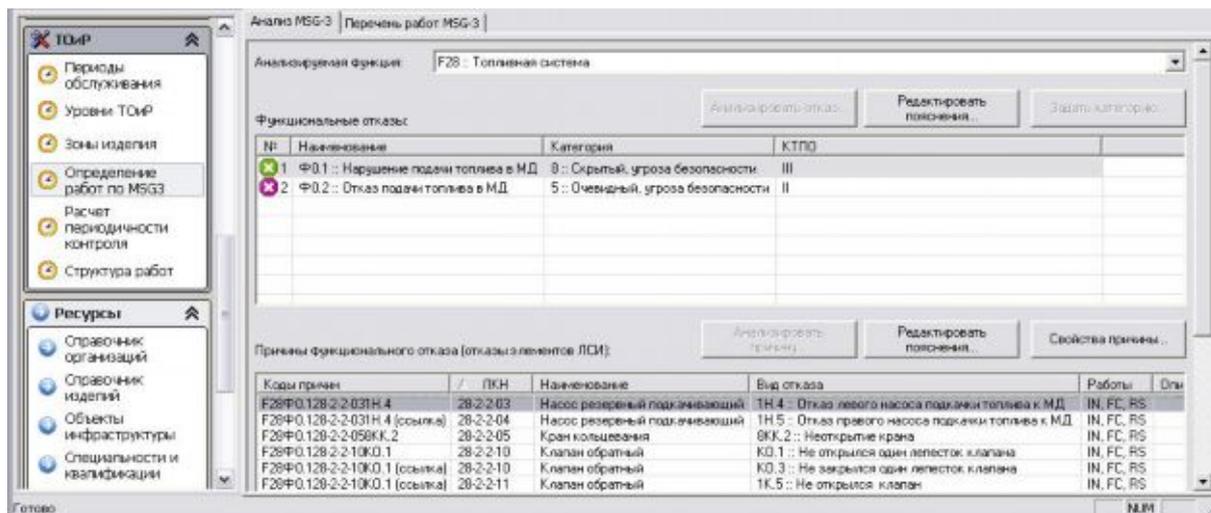


Рис.П.2. 43. Результат анализа причин функционального отказа

Далее для каждой анализируемой причины отказа формируется перечень плановых работ. На Рис.П.2. 44 представлена экранная форма для создания перечня плановых работ для предотвращения (снижения тяжести последствия) отказа по одной из анализируемых причин.

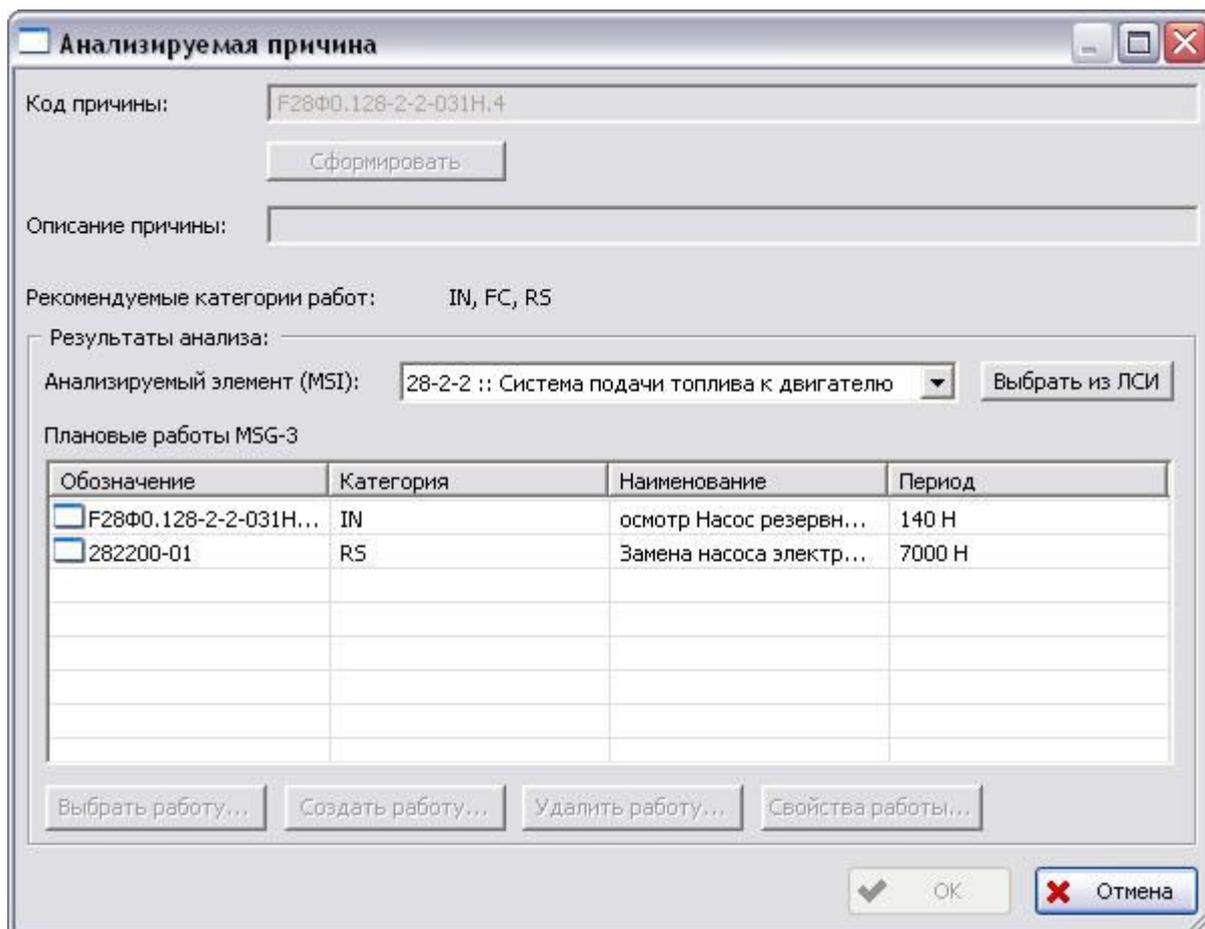


Рис.П.2. 44. Экранная форма для создания перечня плановых работ

На Рис.П.2. 45 представлен перечень плановых работ MSG-3, сформированный для элемента ЛСИ 28-2-2.

Анализ MSG-3 | Перечень работ MSG-3

Анализируемый элемент (MSI): 28-2-2 :: Система подачи топлива к двигателю

Создать | Удалить | Свойства | Импорт | Экспорт

Обозначение	Категори...	Коды причин	Категория	Первое вы...	Повторное...	Наименова...	Вероян
<input type="checkbox"/> F28Ф0.2...	5	F28Ф0.228...	LU	140 Н	140 Н	смазка	0
<input type="checkbox"/> F28Ф0.2...	5	F28Ф0.228...	SV	0 Н	0 Н	обслужива...	0
<input type="checkbox"/> F28Ф0.2...	5	F28Ф0.228...	IN	140 Н	140 Н	осмотр	0
<input type="checkbox"/> F28Ф0.2...	5	F28Ф0.228...	FC	140 Н	140 Н	проверка ...	0
<input type="checkbox"/> F28Ф0.2...	5	F28Ф0.228...	RS	0 Н	0 Н	работы по ...	0
<input type="checkbox"/> 282200-02	8	F28Ф0.128...	RS	15000 Н	15000 Н	Замена кра...	5
<input type="checkbox"/> 282200-03	8	F28Ф0.128...	RS	15000 Н	15000 Н	Замена кла...	2

Готово | NUM

Рис.П.2. 45. Перечень плановых работ MSG-3, сформированный для элемента ЛСИ 28-2-2

Расчет рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ

Для расчета рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ (по приближенной методике, описанной в Приложении 1) перейдем на вкладку «Расчет периодичности контроля». Внешний вид вкладки представлен на Рис.П.2. 46.

Параметры...

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

Элемент	Интенс...	КТПО	Ро - Тр...	Расч.пе...	ОСТ 10...	Приона...	Рекон...	Ресурс...	Срок сл...
28 :: Топлив...	0	2	0.999	15	15	*	15		

Готово | NUM

Рис.П.2. 46. Внешний вид вкладки «Расчет периодичности контроля»

При расчете используются следующие данные:

- Назначенный ресурс и интенсивность отказов заменяемых элементов ЛСИ.
- Средняя наработка КИ в год, заданная при описании сценария использования.
- Результаты расчета АВПКО (значения КТПО).
- Информация справочника стандартных периодов обслуживания²⁴.

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.

²⁴ Рекомендуется заполнение справочника в начале работы над проектом по системе, изменения и дополнения могут быть внесены в справочник в процессе выполнения АЛП.

Для расчета необходимо задать требуемую вероятность безотказной работы для каждого значения КТПО. В рассматриваемом примере значения требуемой вероятности приняты как заданные по умолчанию в программе LSS (Рис.П.2. 47).

Категория тяжести последствий отказа (КТПО)	Требуемая вероятность (P ₀)
I - катастрофический	0.9999
II - критический	0.999
III - граничный	0.99
IV - незначительный	0.95

Оцениваемый период (лет): 10
Оцениваемый операционный интервал (flying hours): 30000

Рис.П.2. 47. Настройка параметров расчета рекомендуемой периодичности контроля

Результаты расчета рекомендуемой периодичности планового контроля элементов ЛСИ представлены на Рис.П.2. 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.

Элемент	Интен...	КТПО	P ₀ - Тр...	Расч.лв...	ОСТ 10...	Призна...	Реком...	Ресурс...	Срок сл...
28 :: Топлив...	0	2	0.999	15	15	*	15		
28-1 :: То...	0	0	0.9	948.2	900.1	*	750		
28-2 :: Ра...	0	2	0.999	15	15	*	15		
28-2-...	0	0	0.9	1580.4	1500.1	*	750		
28-2-...	0	2	0.999	15	15	*	15		
2... 0.00014...	0.00014...	3	0.99	140	70	ОПЕР.ТО		2000	6
2... 0.00014...	0.00014...	3	0.99	140	70	ОПЕР.ТО		7000	15
2... 6.66667...	6.66667...	3	0.99	300	150	ОПЕР.ТО		45000	20
2... 6.66667...	6.66667...	2	0.999	15	15	ОПЕР.ТО		45000	20

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

Рис.П.2. 48. Результат расчета периодичности контроля элементов ЛСИ

На Рис.П.2. 49 представлен фрагмент отчета о рассчитанных значениях периодичности контроля элементов.

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

Количество выполнений в год: 0.0989371 Периодичность выполнения: 0 [] - летние 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

✓ ОК ✗ Отмена

Рис.П.2. 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.П.2. 52 представлено окно свойств процедуры обслуживания «01::Плановые работы 7000 летн.ч.», в котором в таблице «Задачи обслуживания» представлены включенные в процедуру обслуживания задачи.

Процедура обслуживания - Только чтение

Обозначение: 01 Элемент: 28-2-2 :: Система подачи топлива к двигателю

Наименование: Плановые работы 7000 летн.ч.

Тип: Плановое ТО по наработке

Периодичность / условие выполнения

Периодичность выполнения: A-check : 750 (-0, +0)

Другая периодичность: 7000 летные часы

Задачи обслуживания: + Добавить связь X Удалить связь

№	Наименование	Вид задачи	Элемент	Уровень ТОиР
1	Демонтаж элекронасоса	Р :: снятие	28-2-2-27-01 :: Насос о...	ORG :: Линейное техно...
2	Установка элекронасоса	Г :: установка	28-2-2-27-01 :: Насос о...	ORG :: Линейное техно...
3	Демонтаж элекронасоса	Р :: снятие	28-2-2-03 :: Насос рез...	ORG :: Линейное техно...
4	Установка элекронасоса	Г :: установка	28-2-2-03 :: Насос рез...	ORG :: Линейное техно...
5	Демонтаж элекронасоса	Р :: снятие	28-2-2-27-02 :: Насос о...	ORG :: Линейное техно...
6	Установка элекронасоса	Г :: установка	28-2-2-27-02 :: Насос о...	ORG :: Линейное техно...
7	Демонтаж элекронасоса	Р :: снятие	28-2-2-04 :: Насос рез...	ORG :: Линейное техно...
8	Установка элекронасоса	Г :: установка	28-2-2-04 :: Насос рез...	ORG :: Линейное техно...

OK Отмена

Рис.П.2. 52. Окно свойств процедуры обслуживания

На Рис.П.2. 53 представлены созданные процедуры обслуживания элемента ЛСФ 28-2-2.

ТОиР

Периоды обслуживания

Уровни ТОиР

Зоны изделия

Определение работ по MSG3

Расчет периодичности контроля

Структура работ

Ресурсы

Справочник организаций

Справочник изделий

Объекты

Элемент

Элемент	Ср.время в...	Кол-во испо...	Трудоёмкос...
28 :: Топливная система			
28-1 :: Топливные...			
28-2 :: Распредел...			
28-2-1 :: Сист...			
28-2-2 :: Сист...			
28-2-2-03 :: ...			
28-2-2-04 :: ...			
28-2-2-05 :: ...			

Параметр Значени

Порядковый номер в у... 2

ЛКН: 28-2-2

Наименование: Система

Доля времени работы, %: 100

Интенсивность отказа... 0

Средняя наработка на ... 0

КТПО: II

Числа критичности: { 0, 0, 0 }

Относительная величин { 0, 0, 0 }

Процедуры обслуживания Задачи обслуживания

Обозначение	Наименование	Тип	Периодичност...	F
02	Периодическое ТО по форме C-check	Плановое ТО п...	7500 летн.час	
03	Периодическое ТО по форме D-check	Плановое ТО п...	30000 летн.час	
04	Плановые работы 140 летн.ч.	Плановое ТО п...		
05	Ежемесячное ТО	Плановое ТО п...	Ежемесячно	
01	Плановые работы 7000 летн.ч.	Плановое ТО п...		

Готово NUM

Рис.П.2. 53. Процедуры обслуживания элемента ЛСФ 28-2-2

Результаты разработки регламентов (процедур) технического обслуживания могут быть получены из БД АЛП в виде отчетов. На Рис.П.2. 54 представлен фрагмент отчета «Сводные данные по задачам обслуживания», сформированного по результатам разработки регламентов технического обслуживания системы 28.

ЛКН	Код по АТА	Наименование элемента ЛСИ	Обозначение изделия	Изготовитель	СФ	Количество в узле (шт)	Продолж. обл. в год (чел. час)	Трудоемк. обл. в год (чел. час)
28-2-2-03	28-22-01	Насос резервный подрачивающий	ЭДНР-15	04 - ОАО ОКБ "Кристалл"	24-Q253	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 (%-мин.)
28-22-01-000-303	Демонтаж электронасоса	снятие	155	ORG	0.0989371	5.2	5.2
28-22-01-400-303	Установка электронасоса	установка	155	ORG	0.0989371	12	12
28-22-01-603	Смотр электронасоса	проверка функционирования			4.94686	0	0

Рис.П.2. 54. Фрагмент отчета «Сводные данные по задачам обслуживания»

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.П.2. 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.

Элемент ЛСИ - Только чтение

Свойства | Изделие | Иллюстрация | Характеристики

Изделие: ЭЦНГР-15 :: Насос электроприводной

Количество в узле: 1 Категория: LR :: Компонент, заменяемый на КИ

Код обслуживания

Источник: < значение не задано >

Замена: < значение не задано >

Ремонт: < значение не задано >

Списание: < значение не задано >

Рекомендуется в качестве запчасти CFI: Генерировать

Причина: < значение не задано > + / - CFI

Код значимости: < значение не задано > X

Опция

CFI	
1	24-Q282

OK Отмена

Рис.П.2. 55. Окно свойств элемента ЛСИ

В рассматриваемом примере в качестве параметра надежности, используемого при расчете, используется средняя наработка на отказ (Рис.П.2. 56). Допустимый уровень риска задается на основе КТПО Рис.П.2. 57.

Настройка параметров расчета

Для расчета использовать параметр надежности:

Средняя наработка на внеплановый съём (MTBUR)

Средняя наработка на отказ (MTBF)

Задавать уровень риска на основе:

Категории тяжести последствий отказа (КТПО)

Кода значимости (КЗ)

OK Отмена

Рис.П.2. 56. Настройка параметров расчета

Категория тяжести последствий отказа (КТПО)	Уровень риска
I - катастрофический	0.001
II - критический	0.01
III - граничный	0.02
IV - незначительный	0.1

Рис.П.2. 57. Задание допустимого уровня риска

Результат расчета параметров МТО анализируемой системы 28 представлен на следующем рисунке (Рис.П.2. 58).

Элемент	Инте...	КТПО	Кол-...	Доля...
28 :: Топливная система	0	II		100
28-1 :: Топливные емкости	0		1	100
28-2 :: Распределение топлива	0	II	1	100
28-3 :: Слив топлива	0		1	100
28-4 :: Приборы и устройства контроля	0		1	100

Обозн...	Наименование	Изготовитель	Кол-во в системе,шт	Рек.объем нач.запаса	Рек.объем мин.запаса
ЭЦНГР-5А	Насос элект...	04 :: ОАО ...	1		
ЭЦНГР-15	Насос элект...	04 :: ОАО ...	4	6	
СПТ-Г	Сигнализат...	07 :: ООО ...	14	8	1
ОН-12А	Насос струй...	04 :: ОАО ...	4	3	
КТЦ2-1	Блок КУТР-21	02 :: ОАО "...	2	4	

Рис.П.2. 58. Результат расчета параметров МТО

На следующем рисунке представлен фрагмент отчета «Рекомендуемые объемы МТО», сформированного по результатам расчета для всей анализируемой системы (Рис.П.2. 59).

Имя		Поставщик	Кол-во в системе	Цена(рубль)	Габариты (мм)	MTBF	Уровень риска	Горизонт планирования тактов (мес.)	Рекомендуемый объем (шт.)	
Обозначение	Наименование								начального запаса	партии поставки
426100-1030	Штуцер консервации и промывки		3	246.51		40000	0.1	12	1	1
426100-960	Противосифонный клапан		2	612.4		40000	0.1	12	1	1
742600	Уплотн дренажной полиуретановой		6		0.088x0.092x0.183	9000	0.1	12	9	5
771300	Кран переключной		7	7500	0.122x0.11x0.292	15000	0.1	12	4	2
775500	Кран переключной		4	8500	0.112x0.112x0.335	15000	0.0233549	12	5	3
689AT-1-16	Клапан обратный		4	278.6	0.05x0.05x0.07	15000	0.075	12	5	3
689AT-1-20	Клапан обратный		4	288.6	0.056x0.056x0.079	15000	0.1	12	4	2
689AT-1-25	Клапан обратный		8	328.54	0.036x0.036x0.085	15000	0.0674866	12	8	10

Рис.П.2. 59. Фрагмент отчета «Рекомендуемые объемы МТО»

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.П.2. 60.

Полученные при расчете затрат на техническую эксплуатацию системы 28 данные могут использоваться в расчете СЖЦ ВС по методике, рассмотренной в разделе 9.2.

Параметры				Параметр		Значение	
Статья затрат				Период расче...	3		
20 : Топливная система				Средняя нра...	4400		
Затраты на персонал для ТЭ системы				Количество К...	10		
Расходные материалы для ТЭ системы				Валюта:	RUB :: рубль		
Запасные части				Период начал...	24		
Инфраструктура для ТЭ системы							
Наземное оборудование и инструмент							
Специальное наземное оборудовани...							
Стандартное наземное оборудован...							
Заданная стоимость статьи затрат для 1 КИ на 1 год эксплуатации, рубль							
<p> 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 </p>							
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.П.2. 60. Расчет затрат на техническую эксплуатацию

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Перечень терминов

Изделие	Любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии ²⁵ [ГОСТ 2.101-68].
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 стадий, через которые проходит изделие за время своего существования. Стадии ЖЦ, как правило, устанавливаются в нормативной документации [ГОСТ В 15.004].
Интегрированная логистическая поддержка, ИЛП	Совокупность видов инженерной деятельности, реализуемых посредством управленческих, инженерных и информационных технологий, ориентированных на обеспечение высокого уровня готовности изделия (в том числе показателей, определяющих готовность – безотказности, долговечности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности и др.) при одновременном снижении затрат, связанных с эксплуатацией изделия.
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), ремонтнопригодности, эксплуатационной технологичности, а также затрат, связанных с использованием изделия по его служебному назначению.

²⁵ В контексте данного документа изделие может представлять собой достаточно сложную совокупность взаимодействующих между собой предметов, материалов и программных средств, являющуюся результатом деятельности предприятия.

Техническая эксплуатация	Часть эксплуатации, включающая транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт изделия [ГОСТ 25866].
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].
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.
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 анализа конструкции изделия и вариантов построения СТЭ, предназначенная для обеспечения ЭТХ изделия и оптимизации СЖЦ.
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].
Функция [изделия, составной части изделия]	Описание назначения изделия и (при необходимости) режимов его работы,.
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 состав конструктивного элемента более высокого уровня иерархии.
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	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.
Альтернативный логистический контрольный номер, АЛКН	Код, идентифицирующий вариант исполнения или модификацию элемента структуры с конкретным ЛКН. АЛКН присваивается вариантам элемента структуры последовательно.
Элемент логистической структуры (логистический элемент)	Функциональный или конструктивный элемент изделия, выделенный для решения задач АЛП, снабженный ЛКН, а при необходимости – АЛКН.
Критический элемент	Элемент системы, отказ которого может быть критическим (см. «критический отказ») [ГОСТ 27.310].
Функциональный анализ	Последовательное 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 в рамках АЛП является логистическая структура функций.
Вид отказа элемента	Событие, заключающееся в определенном нарушении работоспособности элемента, характеризуемом полной или частичной потерей способности выполнять одну или несколько заданных функций.
Функциональный отказ	Вид отказа системы или подсистемы вследствие отказа одного или нескольких совместных отказов элементов этой системы (подсистемы).

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].
Тяжесть последствий отказа	Качественная или количественная оценка ожидаемого (наблюдаемого) ущерба от отказа .
Категория тяжести последствий отказа, КТПО	Классификационная группа, к которой относится отказ в зависимости от тяжести его последствий.
Категория важности отказа	Классификационная группа, к которой относится отказ элемента в зависимости от его вероятности и влияния на безопасность и экономику эксплуатации.
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 различного 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 [ГОСТ 27.310].
Показатель критичности отказа	Количественная характеристика критичности отказа, учитывающая его вероятность за время эксплуатации и тяжесть возможных последствий ²⁶ [ГОСТ 27.310].
Анализ видов, последствий и критичности отказа, АВПКО	Процедура АВПО, дополненная оценками показателей критичности анализируемых отказов [ГОСТ 27.310].
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].
Модуль данных, МД	Совокупность взаимосвязанных технических сведений по эксплуатации изделия, относящихся к определенной тематике, не допускающая дальнейшего дробления на составные части [ГОСТ 2.601].

²⁶ В зарубежных нормативных документах и технической литературе принят термин «число критичности» («criticality number»).

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	Комплект модулей данных (например, руководство, перечень, каталог и т.п.) для конкретного изделия.
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 публикации электронного технического документа для интерактивного представления конечному пользователю на экране 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) определя-

	ются 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.
Уровень ТОиР	Предприятие (организация, подразделение и т.п.), обладающее совокупностью оборудования, инструментов, инфраструктуры и персонала с необходимыми квалификационными навыками, позволяющей выполнять определенные виды работ по ТО и/или ремонту изделия.
Работа (задача) технического обслуживания (или работа по ТО)	Законченная совокупность операций ТО, представленная в их логической пошаговой последовательности.
Конструктивно-сменный блок (Line Replaceable Unit, LRU)	Конструктивный элемент (как правило, ПКИ), который может быть заменен непосредственно на ВС.
Конструктивно-сменная единица (Shop Replaceable Unit, SRU)	Конструктивный элемент, который можно заменить на изделии только после демонтажа этого изделия с борта ВС.
Инструмент специальный	Инструмент, разработанный и поставляемый вместе с изделием конкретного типа для выполнения отдельных (специальных) видов работ
Инструмент стандартный	Инструмент общего применения (отвертки, гаечные ключи, плоскогубцы и т.п.), в составе набора инструментов, поставляемого вместе с изделием.
Средства технического обслуживания	Технические средства для наземного обеспечения полетов, включающие средства наземного обслуживания общего и специального применения, средства эксплуатационного контроля и инструмент.
Система ИЛП	Информационно интегрированная организационно-техническая система, предназначенная для скоординированной реализации всех видов деятельности по ИЛП конкретного изделия (или групп

пы изделий схожего назначения).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. DEF STAN 00-60. Integrated Logistic Support. Стандарт министерства обороны Великобритании.
2. ГОСТ Р 53393 – 2009. Интегрированная логистическая поддержка. Общие положения.
3. ГОСТ Р 53392 – 2009. Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Общие положения.
4. ГОСТ Р 53394 – 2009. Интегрированная логистическая поддержка. Основные термины и определения.
5. Комплекс стандартов по БНКТ (ЭТХ): ГОСТ В 23743 - номенклатура показателей, ГОСТ В 20570 - порядок задания и контроля требований, ГОСТ В 20436 - комплексные программы обеспечения БНКТ.
6. ASD S1000D. Международная спецификация по подготовке технически публикаций с использованием общей базы данных.
 - а) См. также: АС 1.1.S1000DR-2007. Авиационный справочник (ASD S1000D на русском языке).
7. ГОСТ 2.610. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов.
8. ГОСТ 2.601-95. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.
9. ГОСТ 2.602-95. Единая система конструкторской документации. Ремонтные документы.
10. ГОСТ 2.051-2006. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.
11. ГОСТ 2.503-90. Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений.
12. ГОСТ 2.603-68. Единая система конструкторской документации. Внесение изменений в эксплуатационную и ремонтную организацию.
13. ГОСТ 2.053-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения.
14. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
15. ATA MSG-3. Revision 2007.1. Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development. АТА. - 2007. Руководство по разработке программ технического обслуживания.
 - а) См. также АС 1.1 АТА MSG-3 – 2008 Авиационный справочник (АТА MSG-3 на русском языке).
16. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
17. ASD S2000M Международная спецификация на процедуры управления материально-техническим снабжением при сопровождении авиационной и аэрокосмической техники военного назначения.

18. Судов Е.В., Левин А.И., Петров А.В., Чубарова Е.В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения. – М.: ООО Издательский дом «ИнформБюро», 2006. – 232 с.
19. ГОСТ 18675-79 Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия для нее.
20. ATA Specification 2200 (*iSpec 2200*): Information Standards for Aviation Maintenance
21. Руководство для конструкторов и эксплуатантов по разработке и сертификации программ технического обслуживания и ремонта воздушных судов гражданской авиации (РДК-Э). - ЛИИ им. М.М. Громова, ГосНИИ ГА. - 1993.
22. Авиационные правила. Часть 25: Нормы летной годности ВС транспортной категории (АП-25).