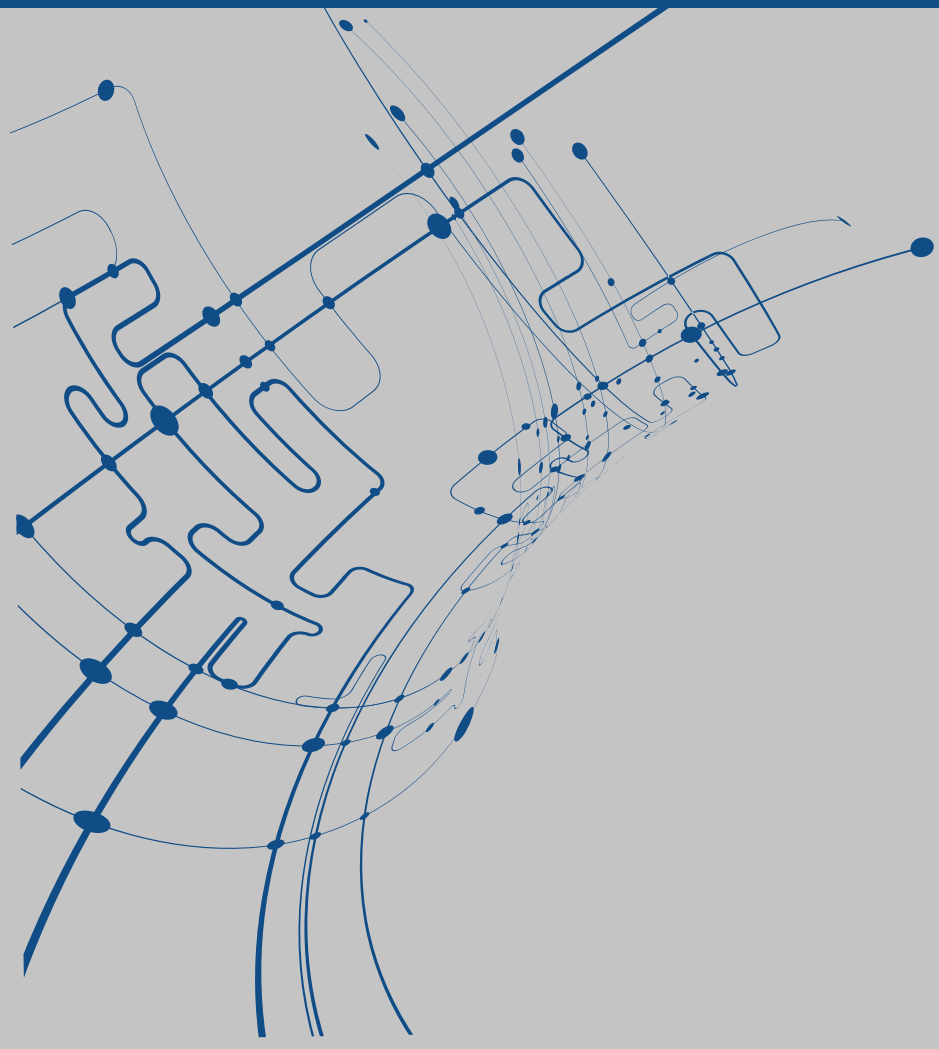
Е.В. Судов, А.И. Левин,

А.Н. Петров, А.В. Петров, Д.Н. Бороздин

Анализ логистической поддержки

Теория и практика



Е. В. Судов, А. И. Левин, А. Н. Петров,
А. В. Петров, Д. Н. Бороздин

АНАЛИЗ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

Теория и практика

Москва
2014

УДК 338.47
ББК 65.40

Судов Е.В.

С 89 Анализ логистической поддержки: теория и практика / А. И. Левин , А. Н. Петров, А. В. Петров, Д. Н. Бороздин — М. : ООО Издательский дом «Информ-Бюро», 2014. — 260 с.

Рассмотрены элементы теории и практические подходы к проведению анализа логистической поддержки как одного из важных направлений деятельности в рамках интегрированной логистической поддержки сложных технических изделий. Целью таких работ является обеспечение высоких эксплуатационных свойств сложных технических изделий, а также — их надежной и безопасной эксплуатации при минимальных затратах труда, времени и материальных средств.

Книга основана на научных работах авторов и обобщении опыта их участия в разработке и внедрении методов анализа логистической поддержки сложных технических изделий в отечественной промышленности. Рассмотрены различные аспекты создания современных систем интегрированной логистической поддержки и послепродажного обеспечения эксплуатации с использованием методов и технологий анализа логистической поддержки.

Книга предназначена для ученых, инженеров и руководителей организаций промышленности, участвующих в создании наукоемкой продукции (авиационной, космической, морской и иной подобной техники). В силу дефицита отечественных публикаций и учебных пособий в рассматриваемой области она будет полезна также преподавателям и студентам высших учебных заведений.

Авторский коллектив: Судов Е. В. (разд. 1.3, 2, 3.4, 6.3, 7.5, 8, 10, 11.3, 11.4, 11.5), Левин А. И. (разд. 1.2, 2, 3.1, 4, 6.1, 6.2, 7, 8), Петров А. Н. (разделы 1.1, 2, 3.2, 3.3, 5.1, 5.2, 8, 9.1, 11.1, 11.4), Петров А. В. (разд. 10, 11.2, 11.4), Бороздин Д. Н. (разделы 5.3, 9.2).

ISBN 978–5–904481–21–6

УДК 338.47
ББК 65.40

© НИЦ «Прикладная логистика»

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопросы повышения конкурентоспособности российской технической продукции являются сегодня актуальными как никогда. Одним из реальных путей обеспечения конкурентоспособности является применение современных технологий управления жизненным циклом изделий. Частью указанных технологий является интегрированная логистическая поддержка изделий, представляющая собой совокупность видов деятельности, выполняемых заинтересованными лицами на разных стадиях жизненного цикла с использованием управленческих, инженерных и информационных технологий и направленных на обеспечение высокого уровня эксплуатационных свойств сложной техники (авиационной, морской и иной подобной) при приемлемой стоимости ее жизненного цикла.

Системообразующим процессом в рамках ИЛП сложной техники является процесс анализа логистической поддержки, предусматривающий:

- анализ ожидаемых условий и целей эксплуатации объекта, а также особенностей системы его технической эксплуатации;
- анализ вариантов конструкции объекта, элементов системы технической эксплуатации и выбор их наилучшего сочетания;
- анализ необходимых изменений элементов существующей системы технической эксплуатации в связи с освоением эксплуатации нового типа техники;
- определение формы, объемов и условий технической поддержки эксплуатанта техники со стороны разработчика (поставщика), включая обеспечение эксплуатации после прекращения серийного производства;
- разработку методического и информационного обеспечения сбора и обмена эксплуатационной информацией (системы мониторинга эксплуатации) для установления обратной связи между эксплуатантом и разработчиком для анализа данных об особенностях техники и проблемах, выявленных в эксплуатации, в интересах совершенствования конструкции объекта, элементов системы его технической эксплуатации и для использования в новых разработках;

- оценку эффективности системы интегрированной логистической поддержки и планирование мероприятий по ее развитию.

Цель такой деятельности — обеспечение эксплуатационно-экономической эффективности как комплексного свойства технической системы (например, типа авиатехники) и системы ее интегрированной логистической поддержки, отражающего уровни эксплуатационно-технических характеристик системы и величину затрат на их обеспечение.

Перед нашей промышленностью (в частности, перед авиационной отраслью) стоит комплекс непростых задач, связанных с необходимостью полномасштабного освоения новых технологий создания сложной техники и ее сопровождения в эксплуатации, подготовкой специалистов, выработкой соответствующей национальной нормативной базы.

Представляемая книга, написанная специалистами, активно работающими в рассматриваемой области, развивает методические и технологические разработки, опубликованные в книге «Интегрированная логистическая поддержка наукоемкой продукции» (2006 г.), и является серьезной научной публикацией, отражающей современное состояние теории и практики анализа логистической поддержки сложной техники на основе опыта, накопленного авторами при решении рассматриваемого круга задач применительно к отечественным авиационным проектам.

Практическая полезность книги определяется рассмотренными в ней конкретными инженерными методиками и технологиями, пригодными для использования в практической работе специалистами отрасли.

Книга может быть полезна не только научным работникам, специализирующимся в области надежности и безопасности сложных технических систем, но и руководителям предприятий при решении задач повышения конкурентоспособности своей продукции, а также инженерно-техническим специалистам, которые найдут в ней ответы на многие актуальные вопросы.

Генеральный директор
ФГУП «Государственный НИИ авиационных систем»,
д.т.н., член-корр. РАН
С.Ю. Желтов

СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

АВПКО – анализ видов, последствий и критичности отказов;
АВПО – анализ видов и последствий отказов;
АЛП – анализ логистической поддержки;
АП – авиационное происшествие;
АС – аварийная ситуация;
АТ – авиационная техника;
БД АЛП – база данных анализа логистической поддержки;
БД – база данных;
БНКТ – безопасность, надежность, контролепригодность и эксплуатационная технологичность;
БП – без последствий;
БСК – бортовые средства контроля;
ВС – воздушное судно;
ВСУ – вспомогательная силовая установка;
ЖЦ – жизненный цикл;
ЗВ – задержка вылета;
ЗИП – запасные части, инструменты, принадлежности;
ЗНР – зависимость от наработки;
ИЛП – интегрированная логистическая поддержка;
ИИС – интегрированная информационная среда;
ИПИ – информационная поддержка жизненного цикла изделия;
ИТ – информационные технологии;
ИЭД – интерактивная электронная документация;
КАФИ – код-акроним финального изделия;
КИ – комплектующее изделие;
КМВ – крайне маловероятное событие;
КС – катастрофическая ситуация;
КТПО – категория тяжести последствий отказа;
ЛКН – логистический контрольный номер;
ЛСИ – логистическая структура изделия;
ЛСФ – логистическая структура функций;
МД – модуль данных;
МТО – материально-техническое обеспечение;
ОБДЭ – общая база данных эксплуатационной документации;
ОК – объект контроля;
ООБД – объектно-ориентированная база данных;

ПКИ – покупное комплектующее изделие;
ПНВ – практически невероятное событие;
ПО – программное обеспечение;
ППО – послепродажное обслуживание;
ПС – предмет снабжения;
РБД – реляционная база данных;
РД – ремонтная документация;
РКД – рабочая конструкторская документация;
РМБП – разработка мер по обеспечению безопасности полетов;
РМВИ – разработка мер по обеспечению возможности восстановления изделия;
РМЗВ – разработка мер по исключению влияния отказа на задержку вылета;
РМКИ – разработка мер по обеспечению контроля исправности;
РМКР – разработка мер по обеспечению контроля работоспособности;
РМПР – разработка мер по обеспечению выполнения профилактических работ;
РМРП – разработка мер по исключению влияния отказа на регулярность полетов;
СВчТ – средства вычислительной техники;
СЖЦ – стоимость жизненного цикла;
СНК – система нумерации и кодирования;
СНО/СНК – средства наземного обслуживания / средства наземного контроля;
СС – сложная ситуация;
СТО – средства технического обслуживания;
СТЭ – система технической эксплуатации;
СУ – силовая установка;
СУБП – система управления безопасностью полетов;
СЧ – составная часть;
ТЗ – техническое задание;
ТМПО – типовой минимальный перечень оборудования;
ТО – техническое обслуживание;
ТСО – технические средства обучения;
ТЭ – техническая эксплуатация;
ТЭО – метод технической эксплуатации до отказа;
ТЭП – метод технической эксплуатации до предотказного состояния;
ТЭР – метод технической эксплуатации по ресурсу;
ТЭС – техническая эксплуатация по состоянию;
ТЭ – техническая эксплуатация;

УВ – умеренно вероятное событие;
УОС – уполномоченный орган по сертификации;
УУП – усложнение условий полета;
ФАП – федеральные авиационные правила;
ФИ – финальное изделие;
ФО – функциональный отказ;
ФС – функциональная система ВС;
ЭД (РД) – эксплуатационная (ремонтная) документация;
ЭТ (РТ) – эксплуатационная (ремонтная) технологичность;
ЭК – элемент-кандидат;
ЭЛД – элемент данных;
ЭТХ – эксплуатационно-технические характеристики;
ЭЭЭ – эксплуатационно-экономическая эффективность;
AD – случайное повреждение (Accidental Damage);
ALI – ограничение летной годности (Airworthiness limitation Item);
ATA – авиатранспортная ассоциация США (Air Transport Association of America);
CMR – сертификационные требования к ТО (Certification Maintenance Requirements);
CPCP – программа предупреждения и контроля уровня коррозии (Corrosion Prevention and Control Program);
DET – детальный осмотр (Detailed Inspection);
ED – повреждение от воздействия окружающей среды (Environmental Damage);
FD – повреждение вследствие усталости (Fatigue Damage);
GVI – общий визуальный осмотр (General Visual Inspection);
L/HIRF – молния/электромагнитные поля высокой интенсивности (Lightning/ High Intensity Radiation Fields);
LCN – логистический контрольный номер (Logistic Control Number);
LRU – конструктивно-сменный блок, заменяемый на борту ВС (в эксплуатирующей организации) (Line Replaceable Unit);
MDT – средняя продолжительность работы по ТО (Mean Down Time);
MMEL – типовой минимальный перечень оборудования (Master Minimum Equipment List);
MSI – элемент, важный в плане ТО (Maintenance Significant Item);
MTBF – средняя наработка на отказ или повреждение (Mmean Time Between Failures);
MTBM – среднее наработка на одну работу по ТО (Mean Time Between Maintenance);

MTBUR – средняя наработка на неплановый съем (Mean Time Between Unscheduled Removals);

MTTR – среднее время восстановления изделия (Mean Time To Repair);

MRB – совет по вопросам ТО (Maintenance Review Board);

NDT – неразрушающий контроль (Non-Destructive Testing);

NPDM – NATO Product Data Model;

PSE – основной силовой элемент конструкции (Principal Structural Elements);

SD – важный участок/место конструкции (Significant Detail);

SRU – конструктивно-сменная единица, заменяемая в производственных условиях (Shop Replaceable Unit);

SSI – конструктивно-важный элемент (Structure Significant Item);

TPS – временная система защиты от коррозии (Temporary Protection System);

α – номер вида отказа ФС, $\alpha = 1 \ldots A$, A – общее число возможных (рассматриваемых при анализе) видов отказов ФС;

β – номер вида отказа элемента ФС, $\beta = 1 \ldots B$, B – общее число рассматриваемых видов отказов элементов;

γ – номер типа элемента ФС, $\gamma = 1 \ldots Г$, Г – общее число типов элементов ФС;

$K_{\text{пос}}$ – категория последствий вида отказа;

$K_{\text{пз.то}}$ – удельные прямые затраты на ТО, например, руб./ч;

$K_{\text{сз.то}}$ – удельные суммарные затраты на ТО, например, руб./ч;

$K_{\text{т.то}}$ – удельная суммарная трудоемкость ТО, чел.-ч/ч;

q_{β} – вероятность β вида отказа элемента;

Q_{α} – вероятность α вида отказа ФС;

m_{β} – параметр функциональной значимости β вида отказа изделия;

$\tau_{\text{i}}^{\text{пто}}$ – периодичность работы планового ТО;

$t_{\text{п}}$ – продолжительность полета по типовому профилю;

$\tau_{\text{г}}$ – средний годовой налет на одно ВС;

$T_{\text{р.п}}$ – проектный ресурс;

$T_{\text{р.н}}$ – назначенный ресурс;

$T_{\text{с}}$ – средний налет на отказ и повреждение;

$T_{\text{то}}$ – средняя трудоемкость i-го вида ТО, например, в чел./ч;

$t_{\text{TO}i}$ – продолжительность выполнения i-го вида планового ТО, ч;

$m_{\text{пто}}$ – количество плановых работ по контролю работоспособности;

$C_{\text{вс}}$ – стоимость (цена) ВС, например, в руб.;

$C_{\text{нч}}$ – стоимость нормо-часа (тарифная ставка исполнителя работ по ТО), например, в руб./ч.

ВВЕДЕНИЕ

Понятие «интегрированная логистическая поддержка» (в англоязычной литературе — Integrated Logistic Support — ILS) широко используется уже не только за рубежом, но и в отечественной научно-технической литературе, в нормативных документах, а также в практике разработки, производства и эксплуатации сложной (наукоемкой) техники. Это связано как с общими тенденциями роста сложности наукоемкой технической продукции и стоимости ее эксплуатации, так и с более широким выходом продукции отечественных предприятий (в первую очередь — оборонно-промышленного комплекса) на внешние рынки, где к такой продукции предъявляются требования, основанные на международных стандартах и нормах национального законодательства промышленно развитых стран.

Современная наукоемкая продукция имеет, как правило, длительный жизненный цикл. Для таких изделий затраты участников ЖЦ (составляющие стоимости ЖЦ) — один из важных параметров продукции. Величина СЖЦ складывается из затрат на разработку, производство, эксплуатацию изделия, включая затраты на техническую эксплуатацию (то есть работы, связанные с поддержанием изделия в работоспособном состоянии и подготовкой к использованию по назначению), и на утилизацию изделия по истечении срока службы.

Для систем, имеющих срок использования 10–20 и более лет, часть СЖЦ, связанная с затратами на техническую эксплуатацию, может быть равна стоимости покупки изделия, а зачастую и превышать ее. При этом, в силу известных экономических причин (инфляция, состояние фондового рынка и др.), доля указанной части СЖЦ со временем возрастает, а доля затрат на приобретение изделия убывает.

Другой особенностью сложной продукции является возможность введения для нее законодательного регулирования хозяйственного оборота. Такое регулирование связано, как правило, с обеспечением государством условий безопасного (для населения и имущества) производства и эксплуатации указанной сложной продукции (например, обязательная сертификация отдельных видов продукции и (или) деятельности по ее разработке, производству

и коммерческой эксплуатации). Подобные государственные требования налагают на разработчика (изготовителя) и эксплуатанта указанного вида продукции дополнительные обязательства и сопутствующие издержки. При этом выполнение таких обязательств сторонами договора поставки продукции зачастую невозможно без взаимной информационной и материально-технической поддержки.

Понятие ИЛП охватывает деятельность, осуществляемую на всех стадиях и этапах ЖЦ изделия и направленную на формирование эффективной системы технической эксплуатации изделия, призванной сократить «затраты на владение» (в англоязычной литературе — Ownership Cost) при поддержании необходимого уровня готовности и высоких эксплуатационно-технических характеристик изделия.

Основным инструментом решения задач ИЛП является инженерная дисциплина, получившая в зарубежной практике название «анализ логистической поддержки». Используемый здесь термин прямо заимствован из английского его варианта (Logistic Support Analysis — LSA) [1], [2]. Будучи не слишком удачным (предмет анализа, на самом деле, не «поддержка», а изделие, процессы и в целом — система его эксплуатации, в первую очередь — технической), термин, тем не менее, прижился и используется во многих областях сложной техники.

АЛП представляет собой комплекс формализованных методов (технологию) исследования изделия в рамках различных вариантов системы его эксплуатации для обеспечения рациональной увязки таких параметров как СЖЦ, ЭТХ изделия (например, надежность, эксплуатационная технологичность, контролепригодность) и целевые показатели применения изделия по назначению (например, коэффициент готовности) с целью удовлетворения требований и ожиданий заказчиков данной продукции.

Потребность в квалифицированных специалистах в рассматриваемой области постоянно растет, что свидетельствует об актуальности рассматриваемых в данной книге проблем, методов и технологий. Она призвана способствовать также переподготовке инженеров, специализирующихся в вопросах обеспечения ЭТХ, организации эксплуатации, технического обслуживания и ремонта различных видов сложной техники, а также — повышению квалификации конструкторов этой техники.

Наиболее значительный опыт в области практического использования методов и технологий ИЛП и, в частности, АЛП накоплен при создании и эксплуатации авиационной техники (включая воздушные суда и их составные

части). Поэтому предлагаемая вниманию читателя книга в значительной степени отражает теорию и практику АЛП именно этого вида сложной технику.

Книга построена следующим образом:

Часть I посвящена изложению теоретических основ анализа логистической поддержки сложных технических изделий. Раздел 1 содержит необходимый читателю минимум сведений о ЖЦ сложной техники, об ИПИ-технологиях (CALS), об ИЛП, АЛП и их влиянии на эксплуатационно-технические характеристики объектов техники и их конкурентоспособность. Разделы 2–5 образуют теоретическую часть книги и содержат общее описание задач АЛП и методов их решения.

Часть II посвящена практическим аспектам АЛП на примере авиационной техники как характерного вида сложной техники и области, где методы АЛП развиваются опережающими темпами. В разделах 6–11 рассмотрены конкретные методики и расчетные формулы, применяемые для решения задач АЛП, приведены примеры выполнения АЛП с использованием специализированных программных средств.

В Приложении приведен словарь терминов, имеющих непосредственное отношение к рассматриваемой проблематике.

Изложение многих вопросов, примеров и иллюстраций применительно к авиационной технике не препятствует распространению основных положений и большинства примеров на другие виды сложной техники (морской, железнодорожной, автомобильной и др.).

ЧАСТЬ I
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Особенности хозяйственного оборота сложной техники

Рассматриваемая в этой книге область знаний связана с техникой — искусством производства значительного числа вещей, образующих искусственную среду существования человека, в особенности машин, призванных использовать различные способы преобразования энергии для решения тех или иных технических и социальных проблем.

При рассмотрении этой предметной области следует сформулировать существенные особенности техники, которые потребовали развития теории и практики АЛП. Эти особенности можно разделить на две группы: 1) особенности правового статуса и 2) особенности конструкции и назначения указанных объектов.

В отношении правового статуса можно отметить, что предметом рассмотрения выбрана наукоемкая продукция или сложная техника, в отношении оборота и использования которой законодательство вводит определенные ограничения.

Изначально концепция ИЛП зародилась и получила развитие в области поставок военной техники. Там одна из заинтересованных сторон — заказчик — сама являлась одновременно регулятором и в договоре поставки отражала все необходимые требования (технические, организационные, экономические).

Однако не только для продукции военного назначения и иных особых видов продукции, зачастую полностью изъятых из гражданского оборота, существуют ограничения, регулирующие оборот. Продукция гражданского назначения, если она является сложной и представляющей опасность при ее производстве или использовании недостаточно подготовленными лицами, также может иметь специальные формы государственного регулирования. В гражданском законодательстве такие предметы обозначаются понятием «сложной вещи»[1].

---

[1] Когда разнородные вещи образуют единое целое, предполагающее использование их по общему назначению, они рассматриваются как одна сложная вещь.

Таким образом, производство, продажа и эксплуатация авторучек, например, осуществляются на условиях свободы договора и никак государством не регулируются (действуют общие нормы гражданского законодательства). Для автомобилей ситуация с организацией производства, продажи и эксплуатации усложняется, появляются дополнительные нормы законодательства о техническом регулировании, а для кораблей и самолетов она становится еще сложнее, поскольку там действует специальное законодательство (морское и воздушное). Таким образом, с усложнением техники усложняются правовые условия, в которых организуется ее производство и эксплуатация, что неизбежно влечет дополнительные издержки участников рынка и повышает стоимость ЖЦ.

ЖЦ сложной техники, как правило, сопровождается «шлейфом» вспомогательного оборудования для обеспечения эксплуатации, обслуживания и ремонта. Эти средства также попадают под специальное регулирование и также порождают дополнительные издержки как поставщика продукции, так и ее эксплуатанта, и юридические вопросы при заключении договоров поставки и послепродажного обслуживания такой продукции.

В качестве примера регулирования оборота сложной техники можно привести воздушное законодательство (Воздушный кодекс РФ и применяемые вместе с ним подзаконные акты — федеральные авиационные правила), регулирующие создание и эксплуатацию авиационной техники различного назначения. Требования ФАП к летной годности ВС, авиационных двигателей, воздушных винтов и охране окружающей среды обязательны для соблюдения федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов РФ, а также юридическими лицами и гражданами, участвующими в разработке, испытаниях, серийном производстве, приемке, эксплуатации и ремонте АТ.

Международные нормы (Чикагская конвенция 1944 г.) предусматривают наличие на борту ВС, занятых в международных полетах, свидетельства о регистрации и сертификата летной годности, подтверждающих соответствие ВС минимальным стандартам летной годности. Сертификат летной годности удостоверяет соответствие конкретного экземпляра ВС утвержденной для ВС этого типа так называемой типовой конструкции. В свою очередь, типовая конструкция утверждается государством, имеющим юрисдикцию в отношении организации разработчика (автора) этой конструкции, на этапах ее создания и сертификации. В ходе такой сертификации подтверждается соответствие типовой конструкции применимым требованиям к летной годности и охране окружающей среды (далее — требования),

которое удостоверяется государством разработчика в рамках процедуры выдачи сертификата типа ВС. Сертификат и сопутствующие ему подробные данные о типовой конструкции определяют эталон типовой конструкции, по которому проверяется каждый экземпляр ВС сначала при выпуске с завода-изготовителя, а затем при периодическом инспектировании летной годности в ходе эксплуатации.

Обеспечение соответствия типовой конструкции АТ действующим требованиям на этапах разработки, испытаний и эксплуатации вплоть до списания возлагается на разработчика АТ, а обеспечение соответствия требованиям каждого серийно производимого изделия АТ — на его изготовителя.

Соблюдение правил эксплуатации АТ, предусмотренных эксплуатационной документацией и обеспечивающих поддержание летной годности, возлагается на эксплуатанта (владельца) ВС, имеющего свидетельство о государственной регистрации ВС. При нарушении эксплуатантом указанных правил, а также при выявлении небезопасного состояния АТ, уполномоченный государственный орган имеет право ввести ограничения на эксплуатацию данного типа либо экземпляра ВС или остановить их эксплуатацию.

Эксплуатанты обязаны предоставлять уполномоченным органам, а также разработчику АТ, информацию о техническом состоянии АТ и об особенностях ее эксплуатации.

Таким образом, законодательство прямо устанавливает ряд обязательств участников авиационной деятельности, связанных с оборотом АТ как одного из видов сложной наукоемкой продукции.

Наконец, нельзя не отметить новую проблему, связанную с введением международных стандартов, предусматривающих внедрение государственных требований к системам управления безопасностью полетов в организациях — разработчиках и изготовителях АТ. Согласно этим требованиям в организациях должна быть создана и эффективно функционировать согласованная с уполномоченным государственным органом система — СУБП, которая как минимум: определяет в процессе разработки АТ потенциальные риски для безопасности полетов; обеспечивает принятие в отношении эксплуатируемой АТ собственной разработки (изготовления) мер, необходимых для поддержания уровня безопасности полетов согласно нормам летной годности; предусматривает мониторинг и регулярную оценку уровня безопасности полетов применительно к эксплуатируемой АТ собственной разработки (изготовления); имеет своей целью постоянное повышение общей эффективности управления безопасностью полетов.

Как можно видеть, ограничения оборота АТ по сравнению с другими видами изделий (компьютерами, бытовой техникой и даже автомобилями) выглядят весьма впечатляюще. Подобный подход реализован и в отношении космической, морской, железнодорожной и иной подобной техники. Соответственно, эффективное использование подобной продукции возможно только при наличии системы поддержки эксплуатанта (владельца) изделия со стороны поставщика этой сложной техники.

Если перейти от проблем юридических к чисто технической стороне вопроса, то здесь тоже существует ряд особенностей сложной наукоемкой продукции, которые усложняют ее хозяйственный оборот и требуют создания новых схем взаимодействия поставщика и эксплуатанта такой продукции.

В современной международной практике большинство покупателей сложной наукоемкой продукции гражданского назначения рассматривают такие изделия как инструмент реализации определенного вида предпринимательской деятельности. В отечественной же практике еще не сложилась новая система взглядов на организацию системы ИЛП сложной техники в изменившихся новых условиях ее создания и эксплуатации. Вместе с тем, за рубежом поставщики сложной техники уже отчетливо представляют, что без заказчика (покупателя) не будет прибыли, необходимой для обеспечения последующих предложений к поставкам. Поэтому формируется соответствующая политика в отношении покупателя продукции (того, кто платит деньги) и эксплуатанта (того, кто использует технику по назначению).

В настоящее время максимально учитываются интересы и потребности заказчика и проблемы поставщика начиная с ранних этапов создания любой наукоемкой продукции. При этом важное значение имеет конкурентный подход в принятии решений, когда разумная конкурентная цена является компромиссом между наименьшей ценой для заказчика и наибольшей для поставщика. Существенным стало развитие партнерских отношений между заказчиком и поставщиком на весь период эксплуатации сложной техники в целях лучшего понимания взаимных проблем, обеспечения своевременной и полной информацией о состоянии парка изделий, укрепления взаимного доверия. Итогом является обеспечение высоких эксплуатационных свойств изделий и снижение эксплуатационных затрат.

Наиболее важные направления, обеспечивающие повышение качества взаимодействия поставщика и заказчика и, соответственно, конкурентоспособности наукоемкой продукции, как раз и прорабатываются в рамках рассматриваемой в настоящем издании дисциплины АЛП.

Таким образом, имеются существенные юридические и технические особенности создания и хозяйственного оборота сложной наукоемкой продукции, в значительной степени влияющие на обеспечения заданных свойств изделия (в частности, его ЭТХ). Это требует системного подхода к ЖЦ продукции и анализа составляющих ЖЦ стадий в их взаимосвязи.

1.2. Жизненный цикл

Тенденции применения информационных технологий в промышленности показывают, что их развитие является все более значимым именно для областей сложной наукоемкой продукции с учетом их рассмотренных выше особенностей. Обязательным условием становится широкое применение ИТ для управления ЖЦ сложной наукоемкой продукции в рамках интегрированной информационной среды конкретного проекта либо определенного продуктового ряда [3].

Необходимость создания такой информационной среды, поддерживающей весь ЖЦ изделия, была полностью осознана к середине 90-х годов XX века. Словосочетание «жизненный цикл» является ключевым в определениях известных технических дисциплин CALS, PLM, PLCS[2] и др., характеризующих современное применение ИТ в промышленности при создании изделий и при управлении состоянием изделий в эксплуатации. Принято считать [4], что PLM есть деятельность по управлению изделием «от колыбели до могилы» или «от рассвета до заката». Эти метафоры призваны подчеркнуть полноту охвата всех процессов, связанных с «жизнью» изделия[3]: от инженерного замысла до утилизации по истечении срока службы[4].

---

[2] CALS — Continuous Acqusition and Life Cycle Support — непрерывная поддержка поставок и ЖЦ продукции; PLCS — Product Life Cycle Support — поддержка ЖЦ изделия; PLM — Product Life Management — управление ЖЦ изделия.

[3] Следует, однако, избегать использования PLM в качестве всеобъемлющего понятия, охватывающего все стороны деятельности человека в сфере сложной техники с использованием новых управленческих и информационных технологий.

[4] Строго говоря, термин «жизненный цикл» представляется не вполне удачным. В фундаментальных науках (физике, механике, химии) понятие «цикл» относится к процессам и явлениям, регулярно повторяющимся, причем так, что конечное состояние процесса или участвующей в нем системы совпадает с начальным состоянием (например, «цикл Карно» в термодинамике, «предельный цикл» в теории автоколебаний). В контексте CALS, PLM, PLCS ЖЦ параметрически уникален для каждого экземпляра изделия, и о повторяемости можно говорить только применительно к идентичным экземплярам в составе единой партии. Понятие ЖЦ просто прижилось на практике, несмотря на неполную его адекватность описываемому предмету.

Сегодня понятие ЖЦ применяется к изделиям различных отраслей промышленности, имеющим длительный срок службы: ВС (самолетам, вертолетам), кораблям, наземному транспорту, технологическому оборудованию и т. д. При этом кажущаяся простота этого понятия сталкивается с весьма разными его толкованиями у различных субъектов хозяйственной деятельности: у маркетологов, производителей, покупателей изделий и др.

С точки зрения производителя ЖЦ можно разделить на пять стадий [4]: замысел, разработка (проектирование), изготовление, поддержка эксплуатации (сервис), снятие с производства (рис. 1–1).

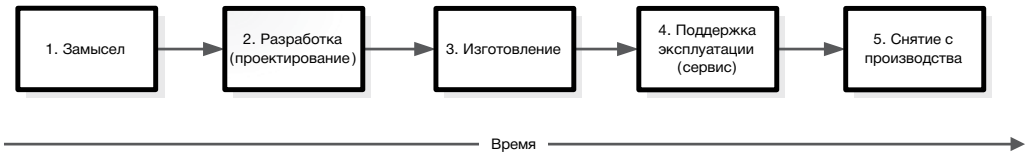


Рис. 1–1 ЖЦ изделия с точки зрения производителя

Следует заметить, что перечисленные стадии могут делиться, например, «замысел» может включать этап «маркетинговые исследования». Кроме того, графическое представление ЖЦ в виде последовательной цепочки является весьма условным, поскольку стадии продолжительны во времени и перекрывают друг друга. Например, стадия эксплуатации и, соответственно, ее поддержка, начинается с поставкой первых изделий и может продолжаться даже после прекращения производства. Эта весьма длительная стадия, поскольку для сложных изделий в эксплуатации нужно производить запасные части, специальное оборудование для обслуживания и т. д.

С точки зрения покупателя (эксплуатанта) ЖЦ изделия также включает пять стадий (рис. 1–2). На первой стадии возникает и формализуется потребность в новом виде изделия. На второй — изделие проектируется, может анализироваться в смысле его качества и полезности, но физически оно еще не существует.

На третьей стадии изделие изготовляется «в металле» и становится доступным для оценки. На четвертой стадии изделие поставляется и эксплуатируется.

В конце срока службы (пятая стадия) изделие снимается с эксплуатации, причем как изделие в целом, так и некоторые его детали и узлы могут быть использованы повторно, переработаны или уничтожены.

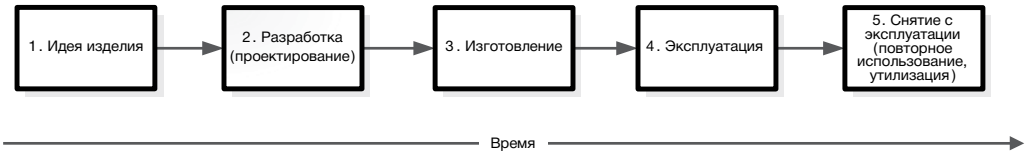


Рис. 1–2 ЖЦ изделия с точки зрения покупателя

Таким образом, первые три стадии едины для поставщика и покупателя изделия по названиям, хотя и отличаются теми ролями, которые отведены производителю и покупателю. Последние два этапа существенно отличаются. В то время как покупатель осваивает и эксплуатирует изделие, производитель занят организацией сервиса, поставкой запасных частей и другими процессами в рамках т. н. послепродажной (послепроизводственной) поддержки.

В дальнейшем производитель может прекратить выпуск изделия и значительно снизить уровень поддержки, вплоть до ее прекращения. Покупатель же продолжает эксплуатировать изделие и может испытывать трудности с его обслуживанием и ремонтом.

Возможна и противоположная ситуация, когда покупатель более не заинтересован эксплуатировать изделие, но производитель продолжает его выпуск и сопровождение до тех пор, пока не осознает необходимость пересмотра объемов поставки запасных частей и услуг.

Чтобы сгладить указанные различия в трактовке стадий ЖЦ производителем и покупателем в [4] предложена схема ЖЦ, представленная на рис. 1–3. Эти различия «маскируются» понятиями «Срок службы» и «Окончание срока службы».

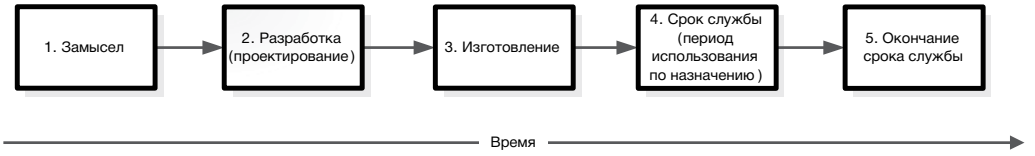


Рис. 1–3 Альтернативное представление ЖЦ изделия

Наиболее подробное описание ЖЦ, его стадий и этапов приведено в [5]. Согласно этому стандарту ЖЦ изделия делится на пять стадий:

- исследование и обоснование разработки;
- разработка;
- производство;
- эксплуатация;
- капитальный ремонт (для капитально ремонтируемых изделий).

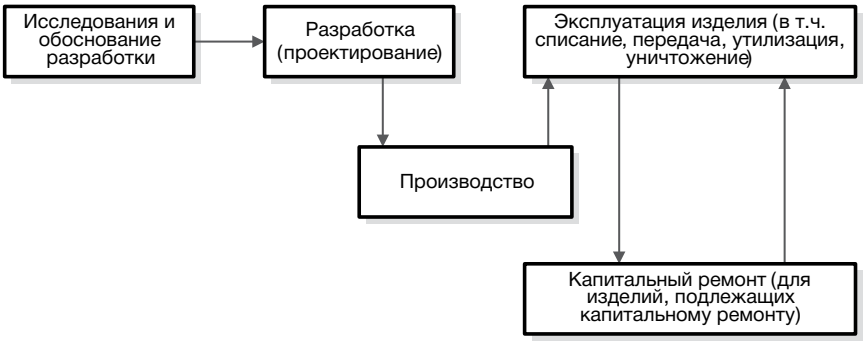


Рис. 1–4 Взаимосвязь стадий ЖЦ по ГОСТ В 15.004.

На рис. 1–4 названия стадий несколько уточнены, в частности, стадия «Разработка» определена как «Проектирование», а в стадии «Эксплуатация» выделены процессы списания, передачи на последующее использование другому владельцу и утилизации. Эти процессы в [5] относятся к понятию «Прекращение эксплуатации».

Стадия ЖЦ, которая в приведенных выше моделях называется «Замысел» или «Идея изделия», здесь оказывается включенной в стадию «Исследования и обоснование разработки», что соответствует сложившейся отечественной практике.

Наиболее существенным отличием структуры ЖЦ из [5] в сравнении с [4] является выделение в отдельную стадию капитального ремонта изделий. Для сложной техники (самолеты, корабли и т.д.) это имеет смысл, поскольку капитальный ремонт — длительный и ресурсоемкий процесс, призванный не только устранить повреждения, но и обосновать возможность продления срока эксплуатации изделия.

Многообразие и связанность процессов ЖЦ требуют активного информационного взаимодействия субъектов, осуществляющих эти процессы. С ростом числа участников растет объем используемой и передаваемой информации. Возникает потребность в создании интегрированной информационной среды (ИИС) для решения задач информационной поддержки ЖЦ изделия. В основе ИИС лежат: использование открытых архитектур и международных стандартов, совместное использование данных и апробированных программных и аппаратных средств. Эти вопросы подробно рассмотрены в работах [6], [7] и др.

В сложных проектах ИИС обеспечивает взаимодействие на всех стадиях

ЖЦ проектных организаций и производственных предприятий, поставщиков комплектующих изделий и др. и конечного пользователя продукции. В проектах, финансируемых или контролируемых государством, к необходимой информации должны иметь доступ также уполномоченные государственные органы.

Внедрение в промышленности ИТ на основе понятия ЖЦ продукции характеризуется следующими принципиальными особенностями [6]:

- в отличие от локальной автоматизации процессов, например в производстве, решаются задачи информационной интеграции всех без исключения процессов ЖЦ;
- решаемые задачи выходят за границы отдельного предприятия, многочисленные участники информационного взаимодействия могут быть территориально удалены друг от друга (располагаться в разных городах и странах);
- совместно используемая информация разнородна: маркетинговые, конструкторско-технологические, производственные данные, данные мониторинга состояния изделий в процессе эксплуатации и т. д.,— что обусловливает стандартизацию способов, технологий представления и интерпретации данных;
- кроме особых случаев, обусловленных требованиями информационной безопасности, основной средой передачи данных служит глобальная сеть Интернет.

1.3. Информационная поддержка процессов жизненного цикла

Работы по созданию интегрированных информационных систем, поддерживающих ЖЦ продукции, были начаты в 80-х годах XX века в оборонно-промышленном комплексе США и ориентировались на управление материально-техническим обеспечением подразделений вооруженных сил США. В результате этих работ появилось понятие CALS, которое в то время расшифровывалось как Computer Aided Logistic Support — автоматизированная логистическая поддержка. В течение ряда лет методы и средства CALS последовательно совершенствовались, дополнялась и, сохранив принятую аббревиатуру, получили новый термин с более широкой трактовкой: Continuous Acqusition and Life Cycle Support — непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла продукции [6].

Первая часть термина — Continuous Acqusition [Support] означает непрерывность информационного взаимодействия поставщика и заказчика в ходе формализации потребностей последнего, формирования заказа, процесса поставки и т. д. Вторая часть — Life Cycle Support отражает поддержку жизненного цикла изделия и означает системность информационной поддержки всех процессов на всем протяжении ЖЦ изделия, в том числе процессов использования по значению, технического обслуживания, ремонта и утилизации. Русскоязычный аналог термина CALS — «информационная поддержка жизненного цикла изделий — ИПИ».

В основу концепции CALS положены следующие идеи:

- системность подхода к информационной поддержке ЖЦ изделия как по охвату процессов ЖЦ (от замысла до утилизации), так и по охвату участников работ (не ограничивая число предприятий и их географическое расположение);
- отказ от бумажного документооборота с переходом к максимально широкому использованию электронных данных с общим доступом к ним;
- организация инженерного труда и производственных процессов на основе современных компьютерных технологий, автоматизированных методов и средств разработки и производства продукции;
- максимальное применение международных стандартов, определяющих форматы представления и методы обработки (преобразования) данных;
- ориентация на преимущественное использование универсальных (не заказных) программных и аппаратных решений, представленных на открытом рынке (т. н. COTS — Commercial Off The Shelf).

Таким образом, изначальная идея автоматизации логистической поддержки превратилась в глобальную стратегию повышения эффективности бизнес-процессов, основанную на постоянно совершенствующихся технологиях электронного оборота данных и информационной интеграции всех процессов на всех стадиях ЖЦ продукции.

В последние годы, широкое распространение получили термины Product Life Cycle Support (PLCS) или Product Life Management (PLM) — «поддержка жизненного цикла изделия» или «управление жизненным циклом изделия». Особенно популярен последний термин, практически вытеснивший из научно-технического обихода термин CALS и «де-факто» применяемый сегодня в качестве универсального обозначения технологий и систем информационной поддержки жизненного цикла изделий.

По мнению авторов, термин PLM, несмотря на его дословный перевод, не следует понимать буквально как «управление жизненным циклом», поскольку для такого управления недостаточно только информационных технологий. Управление жизненным циклом предлагается понимать как как совокупность видов деятельности, осуществляемых с помощью соответствующих управленческих, инженерных и информационных технологий и направленных на обеспечение заданных свойств (характеристик) изделия на всех стадиях его ЖЦ. Управление подразумевает оценку текущих значений характеристик (расчетных, фактических), сравнение их с заданными значениями и осуществление, при необходимости, соответствующих управленческих воздействий.

К числу ключевых технологий управления ЖЦ можно отнести технологию управления конфигурацией [8], интегрированную логистическую поддержку [9], [10] (более подробно см. раздел 2), управление стоимостью ЖЦ и другие.

Общей информационной базой для решения перечисленных задач продолжает оставаться интегрированное электронное описание изделия, поддерживаемое с использованием специализированных систем управления данными об изделии (PDM — Product Data Management). PDM-система накапливает и хранит данные об изделии (его структуру, разнообразные модели, характеристики, документы) с момента начала разработки и до вывода изделия из эксплуатации), обеспечивает хранение необходимых сведений и доступ к ним всех участников ЖЦ изделия, которым это необходимо и разрешено. За рубежом технологии и программные продукты класса PDM получили широкое применение во многих отраслях. В России эти технологии также развиваются, при этом используются как зарубежные, так и отечественные программные продукты.

Одним из краеугольных камней применения технологий информационной поддержки ЖЦ является стандартизация процессов и технологий информационного взаимодействия всех участников ЖЦ изделия на всех его стадиях. Стандартизация исключает ошибки в интерпретации данных, обеспечивает единообразие действий всех участников ЖЦ и возможность многократного использования однажды созданных данных, что существенно снижает затраты на информационную поддержку ЖЦ. В настоящее время за рубежом разработана обширная нормативная и методическая база, в создании которой активно участвуют как международные (например,

ISO, ASD и др.), так и национальные организации по стандартизации США, Великобритании и др.

В России подобные работы по стандартизации, направленные на создание отечественной нормативно-технической базы для применения современных информационных и управленческих технологий CALS (ИПИ), были начаты в конце 90-х годов прошлого века. Эти работы ведутся в четырех основных направлениях:

- корректировка и развитие действующих (ЕСКД, ЕСТД и др.) систем стандартов;
- прямое введение международных стандартов (преимущественно ИСО) путем их перевода и утверждения в качестве ГОСТ Р;
- разработка оригинальных стандартов в рассматриваемой области;
- создание отраслевых нормативно-методических документов и стандартов организаций (корпоративных стандартов).

Анализ развития концепций CALS/PLM показывает, что имеет место эволюционное изменение акцентов: от вопросов информационных технологий акценты смещаются в сторону комплексного применения управленческих, инженерных и информационных технологий, «программно-продуктовых» подходов[5] и использования более сложных моделей изделия и окружающей его среды. Интерес к технологиям управления ЖЦ со стороны промышленности и государства только усиливается [11], что обусловлено все еще недостаточным уровнем качества продукции и высоким уровнем затрат на ее ЖЦ.

Важно отметить, что эти две проблемы (качества и затрат) тесно связаны между собой. Если трактовать качество не только как совокупность свойств продукции, обусловливающих ее конкурентоспособность в области функциональных задач, но и учитывать показатели надежности, эксплуатационной технологичности и др., то становится ясно, что их улучшение связано с ростом затрат на создание и изготовление изделия, в то время как затраты на послепродажное сопровождение будут снижаться. Следовательно, необходимо строить ЖЦ продукции так, чтобы экономия превосходила рост затрат. Это и будет способствовать как повышению качества, так и сокращению СЖЦ.

Рассматриваемые в настоящей книге технологии ИЛП и АЛП входят в состав технологий управления ЖЦ изделия и направлены на обеспечение

---

[5] В авиационной промышленности такие программы именуются Авиационными программами.

заданных эксплуатационно-технических характеристик изделия и его эксплутационно-экономической эффективности.

2. ИНТЕГРИРОВАННАЯ ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЯ

2.1. Понятие ИЛП

До недавнего времени в определениях ИЛП не было однозначности — различные специалисты трактовали это понятие по-своему. С принятием ГОСТ Р 53393–2009 [12], где дается определение ИЛП, ситуация начинает меняться. Преимущественно для читателей, впервые знакомящихся с проблемой, прокомментируем семантику самого термина.

При чтении термина все входящие в него слова могут вызвать вопросы. Например, почему поддержка — логистическая? Под словом «логистика» понимают процессы, связанные с транспортированием, складированием, таможенным оформлением и другими аналогичными действиями. Этим же словом именуют науку об управлении транспортными потоками. В рамках ИЛП эти процессы (впрочем, не все) присутствуют, однако в общем спектре видов деятельности занимают весьма скромное место. В этой связи интересно заметить, что в нормативных документах министерства обороны Великобритании (стандарт 00–600, 2010 г. [13], стандарт JSP 886, том 7, часть 2, 2008 г. [14]) даются определения ИЛП, в которых «логистика» вообще не упоминается.

Так, в стандарте DEF STAN 00–600 говорится:

«ИЛП (ILS) это организованный подход, который влияет на конструкцию изделия и развивает решения по поддержке [изделия], оптимизирующие «поддерживаемость»[6] и СЖЦ; формирует «начальный пакет поддержки» и гарантирует непрерывную оптимизацию решений по поддержке в свете модификаций изделия и изменений в его использовании по назначению и в предъявляемых требованиях».

В стандарте JSP 886 дается следующее определение:

«Интегрированная логистическая поддержка (ИЛП) предусматривает виды деятельности (технические дисциплины), гарантирующие, что на стадии проектирования оборудования выявлены и рассмотрены факторы «под-

[6] В оригинале — «supportability».

держиваемости» и стоимости, влияющие на конструкцию в целях оптимизации СЖЦ (Whole Life Cost — WLC)».

И далее (там же):

«ИЛП должна применяться как гарантия того, что оборудование спроектировано «поддерживаемым», что создана необходимая инфраструктура поддержки и что СЖЦ оптимизирована».

Приведенные цитаты показывают, что упоминание о логистике в ряде определений термина ИЛП отсутствует.

Слово «интегрированная» в составе термина означает, прежде всего, информационную интеграцию всех относящихся к обсуждаемой проблеме процессов, что вполне естественно в контексте стратегии ИПИ (см. подразд. 1.2).

Английское слово «support», буквально переведенное как «поддержка», т.е. некая «помощь» в каком-либо деле, имеет множество хотя и схожих, но все-таки отличающихся значений: «опора», «основание», «техническая поддержка (помощь)» при использовании какого-либо оборудования, «обеспечение», «средства обеспечения» и т.д. Пожалуй, именно последние варианты наиболее полно отвечают сути проблемы. Однако термин ИЛП «прижился» в техническом русском языке (подобно многим другим англоязычным «калькам»). Поэтому ревизовать его мы не будем, ограничившись лишь приведенным выше обсуждением.

Согласно ГОСТ Р 53394–2009 [9] «Интегрированная логистическая поддержка промышленных изделий — совокупность видов инженерной деятельности, реализуемых посредством управленческих, инженерных и информационных технологий, ориентированных на обеспечение высокого уровня готовности изделий (в том числе показателей, определяющих готовность — безотказности, долговечности, ремонтопригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности и др.) при одновременном снижении затрат, связанных с их эксплуатацией и обслуживанием».

ИЛП сложного промышленного изделия включает:

- анализ логистической поддержки;
- планирование и управление техническим обслуживанием и ремонтом изделия;
- планирование и управление материально-техническим обеспечением;
- разработку и сопровождение эксплуатационной и ремонтной документации;
- разработка требований к средствам технического обслуживания (к спе-

циальному оборудованию, необходимому для эксплуатации, обслуживания и ремонта изделия);

- определение требований к численности и квалификации персонала, требований к техническим средствам обучения;
- разработка требований к процессам упаковывания, погрузки/разгрузки, хранения, транспортирования изделия;
- разработку требований к инфраструктуре системы технической эксплуатации;
- поддержку программного обеспечения и вычислительных средств;
- мониторинг технического состояния изделия и процессов на стадии эксплуатации;
- планирование и организацию процессов утилизации изделия и его составных частей.

Приведенное выше определение и схема отражают точку зрения разработчиков стандарта, сложившуюся к 2007 г. в процессе создания стандарта. За истекшие с этого времени годы накоплены новые знания и представления о проблеме, в связи с чем и определение, и иллюстрирующая его схема нуждаются в некоторых уточнениях. При неизменности провозглашаемых указанным определением общих целей ИЛП, нуждается в уточнении содержание объединяемых этим понятием видов деятельности. Приведем такое уточнение применительно к изделиям АТ [15].

На современном уровне знаний предлагается считать, что задачи ИЛП связаны с формированием и обеспечением эффективного функционирования элементов СТЭ как одной из основных подсистем СЭ изделия. К таким элементам относятся: собственно изделие в части его ЭТХ, средства ТО и другие средства обеспечения ТЭ, персонал, техническая и иная документация, определяющая правила эксплуатации изделия и взаимодействия всех элементов СТЭ.

Задачи ИЛП решаются в ходе всего ЖЦ изделия, в том числе:

- на стадии разработки изделия формируются требования к элементам СТЭ и проектируются элементы СТЭ (на этих этапах ЖЦ результаты деятельности в области ИЛП влияют на конструкцию изделия в части обеспечения надежности, эксплуатационной технологичности и других ЭТХ);
- на стадии эксплуатации изделия (вплоть до списания и утилизации) обеспечивается техническая, методическая и информационная поддержка функционирования элементов СТЭ с использованием

постоянно пополняемой базы данных и документов ИЛП, а также периодически проверяется выполнение заданных требований, используемых документов и данных с их актуализацией при необходимости;

- при модификации изделия на стадиях эксплуатации и (или) капитального ремонта (если он предусмотрен) вносятся изменения, связанные с условиями эксплуатации, используемыми технологиями, экономическими факторами и др.

Виды деятельности ИЛП логически и информационно интегрированы в единый комплекс процессов, в который вовлечены как разработчик (поставщик), так и заказчик (эксплуатант). Информационная интеграция процессов обеспечивает обратную связь между процессами: сведения, полученные в ходе эксплуатации, используются для совершенствования конструкции изделия и организации СТЭ. Прямые и обратные связи в системе ИЛП показаны на примере процессов ЖЦ ВС (рис. 2–1).

Укрупненный состав работ в области ИЛП проиллюстрирован на рис. 2–2 и применительно к ВС включает:

- формирование в ходе разработки изделия и элементов СТЭ концепции ИЛП с учетом ожидаемых условий и целей эксплуатации ВС;
- систематизацию сведений о конструкции ВС и его СЧ, необходимых для создания элементов СТЭ, включая данные о надежности и других ЭТХ;
- проведение АЛП с получением необходимых данных и формированием БД АЛП, а также документирование результатов АЛП путем построения отчетов из БД АЛП в необходимых форматах;
- проверку достигнутых уровней ЭТХ ВС в зависимости от характеристик конструкции ВС, системы ИЛП и оценку соответствия показателей ЭТХ заданным требованиям;
- оценку стоимости ЖЦ ВС и его СЧ, в том числе затрат на ТО и МТО;
- оценку показателей эксплуатационно-экономической эффективности (ЭЭЭ), выражающих уровни ЭТХ ВС и значения затрат на их обеспечение.

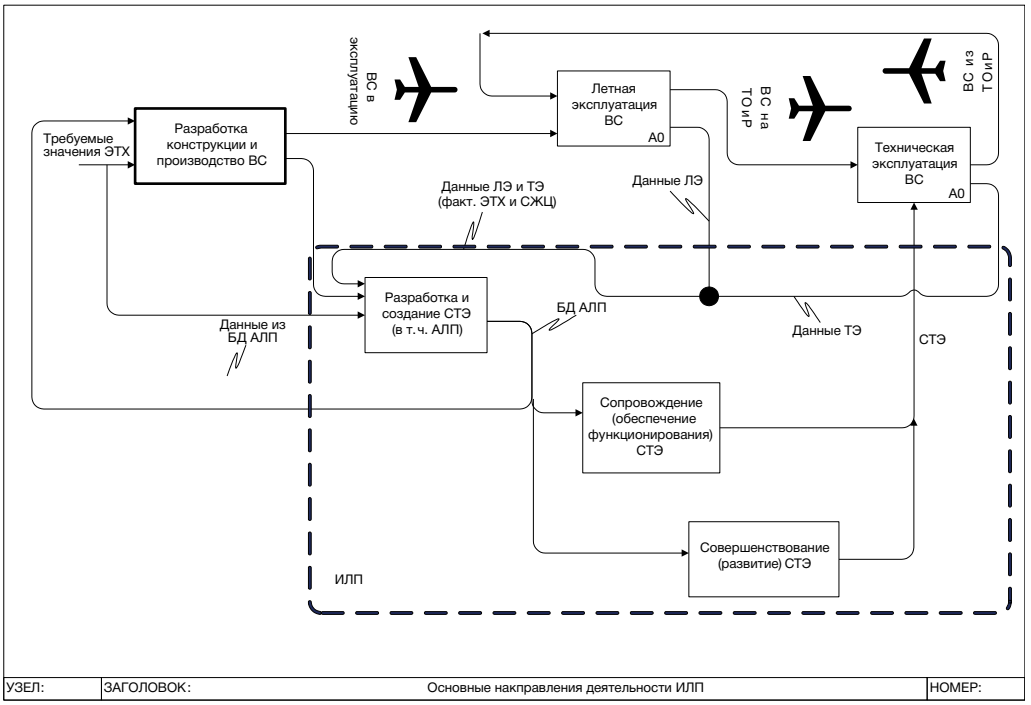


Рис. 2–1 Прямые и обратные связи в процессах ИЛП

Детализированный перечень видов деятельности в области ИЛП (применительно к ВС) и связанных с ними элементов СТЭ представлен в табл. 2–1. Эти виды деятельности осуществляются с помощью взаимосвязанных технологий, каждая из которых представляет собой сочетание специфических для определенной задачи ИЛП методов и инструментальных (программных и аппаратных) средств. При этом используются как специально разработанные, так и представленные на рынке методические, программные и технические решения.

ИЛП ВС реализуется при помощи информационно-интегрированной организационно-технической системы[7], объединяющей совокупность материальных, информационных и человеческих ресурсов, предназначенных для обеспечения ЭТХ ВС и нормального функционирования его СТЭ, включая информационное и материально-техническое обеспечение. Си-

[7] Не следует отождествлять систему ИЛП с организационно-техническими и информационными системами поддержки процессов эксплуатации. Как уже отмечалось выше, результатом ИЛП является информация, необходимая для обеспечения эффективной эксплуатации.

стема ИЛП является частью системы управления ЖЦ ВС. При ее создании обеспечивается взаимосвязь видов деятельности и технологий ИЛП с другими видами и технологиями инженерной и управленческой деятельности, а также с работами по комплексным программам обеспечения ЭТХ ВС и его СЧ.



Рис. 2–2 Типовой состав работ в области ИЛП ВС

Вид деятельности по ИЛП	Элемент СТЭ	Разработка элементов СТЭ	Сопровождение СТЭ	Совершенствование СТЭ
1. Планирование ТО*	План ТО ВС	Разработка требований к составу и периодичности ТО	Рекомендации по адаптации требований к составу и периодичности ТО применительно к условиям конкретных эксплуатантов ВС	Рекомендации по совершенствованию требований к составу и периодичности ТО
2. Планирование МТО	План МТО эксплуатации ВС	Разработка перечней, каталогов, планов и программ МТО	Рекомендации по применению планов и программ МТО	Корректировка планов и программ МТО
3. Разработка ЭД	ЭД в бумажной и электронной формах	Разработка и поставка ЭД (преимущественно в форме ИЭД)	Техническая поддержка ИЭД при эксплуатации ВС	Внесение изменений в ЭД
4. Разработка требований к СНО/СНК	СНО/СНК	Разработка требований к СНО/СНК на основе анализа возможностей использования и необходимости модернизации существующих СНО/СНК	Проверка соответствия СНО/СНК разработанным требованиям, рекомендации по устранению несоответствий	Внесение изменений в требования к СНО/СНК
5. Разработка требований к численности, специализациям и квалификации персонала	Авиационный и технический персонал	Расчетное и (или) экспертное определение требований к численности, специализациям и квалификации персонала	Проверка соответствия персонала разработанным требованиям, рекомендации по устранению несоответствий	Корректировка требований к персоналу
6. Разработка требований к планам и программам обучения, требований к ТСО	Средства обучения	Разработка организационных и методических планов и программ обучения, требований к ТСО, рекомендаций по организации их разработки и поставки	Техническая помощь при реализации планов и программ обучения при освоении ТСО	Рекомендации по совершенствованию организации, методик и программ обучения, а также ТСО
7. Разработка требований к инфраструктуре	Инфраструктура обеспечения эксплуатации	Разработка требований к элементам инфраструктуры на основе анализа возможностей использования и необходимости модернизации существующих элементов	Проверка соответствия инфраструктуры разработанным требованиям, рекомендации по устранению несоответствий	Внесение изменений в требования к элементам инфраструктуры

* Поскольку деление ТО и ремонта для сложной техники является весьма условным и зависит от организации эксплуатации и условий выполнения разных видов работ, то далее по тексту таблицы «техническое обслуживание» и «ремонт» для простоты изложения рассматриваются как единый процесс и обозначаются аббревиатурой «ТО».

Табл. 2–1 Виды деятельности в области ИЛП

Окончание таблицы 2–1.

Вид деятельности по ИЛП	Элемент СТЭ	Разработка элементов СТЭ	Сопровождение СТЭ	Совершенствование СТЭ
8. Разработка требований к процессам и оборудованию для транспортирования, упаковывания и хранения АТ	Средства транспортирования, упаковывания и хранения АТ	Разработка требований (норм) в области транспортирования, упаковывания и хранения АТ	Корректировка разработанных требований с учетом опыта эксплуатации	Корректировка разработанных требований с учетом изменения типовой конструкции и условий эксплуатации АТ
9. Разработка требований по поддержке ПО, используемого в составе бортовых ФС ВС	Средства поддержки ПО и компьютерной техники	Разработка концепции и планов поддержки ПО, определение потребностей в ресурсах и т.д.	Адаптация планов поддержки ПО и средств компьютерной техники	Корректировка концепции и планов поддержки и обновления ПО с учетом изменения типовой конструкции и условий эксплуатации АТ
10. Мониторинг эксплуатации ВС (включая мониторинг технического состояния и ЭТХ АТ)	Средства мониторинга технического состояния и ЭТХ ВС	Разработка методик, алгоритмов, программно-технических средств	Сопровождение системы мониторинга	Развитие системы мониторинга с учетом изменения типовой конструкции и условий эксплуатации
11. Разработка требований к планам и технологии утилизации	Планы и технология утилизации	Разработка требований, планов, технологий утилизации	Адаптация требований, планов, технологий утилизации к условиям конкретного заказчика	Корректировка требований, планов, технологий утилизации
12. Анализ логистической поддержки	БД АЛП, содержащая сведения о ВС и СТЭ, вкл. данные об ЭТХ ВС, показатели ЭЭЭ и др.	Формирование БД АЛП для стадии разработки ВС, оценка ЭТХ ВС и других характеристик ИЛП	Внесение изменений в БД АЛП по результатам эксплуатации ВС	Корректировка требований к ЭТХ и системе ИЛП ВС, в том числе с учетом изменений типовой конструкции и условий эксплуатации АТ

2.2. Анализ логистической поддержки

Многопрофильная инженерная дисциплина, именуемая анализом логистической поддержки, является основным инструментом для решения большинства задач ИЛП. В соответствии с современными представлениями АЛП включает:

- анализ условий и возможных режимов эксплуатации изделия;
- анализ существующей СТЭ;
- анализ вариантов конструкции изделия и СТЭ и выбор их наилучшего сочетания (см. схему анализа на рис. 2–3);
- анализ технического обслуживания, включающий выбор методов и технологий выполнения работ по ТО с оценкой их трудоемкости и продолжительности; определение потребностей в материальных, трудовых (кадровых) и других ресурсах, необходимых для выполнения указанных работ;
- анализ изменений в существующей СТЭ, связанных с вводом в эксплуатацию нового изделия;
- определение формы, объемов и условий постоянной технической поддержки, которую поставщик должен обеспечить заказчику;
- определение содержания «послепроизводственного обеспечения» деятельности поставщика после прекращения производства изделия;
- разработка методического обеспечения системы сбора данных (мониторинга), имеющей целью установление обратной связи от заказчика к поставщику в части информации о ходе ТЭ, выполненном ТО, возникающих проблемах и т.д., с тем чтобы использовать эту информацию в работе по совершенствованию конструкции изделия, возможностей СТЭ и в последующих проектах;
- оценка эффективности разработанной СТЭ в части обеспечения заданных ЭТХ изделия, в том числе повышения готовности, снижения СЖЦ (в том числе затрат на ТО и издержек, связанных с простоями) и, при необходимости, планирование мероприятий по развитию СТЭ.

Полученные результаты накапливаются в базе данных АЛП (БД АЛП) и используются при формировании СТЭ и ее элементов. В частности, описания задач обслуживания представляются в стандартизированном виде и могут, практически без переделок, быть использованы в дальнейшем для подготовки технической документации и средств обучения.

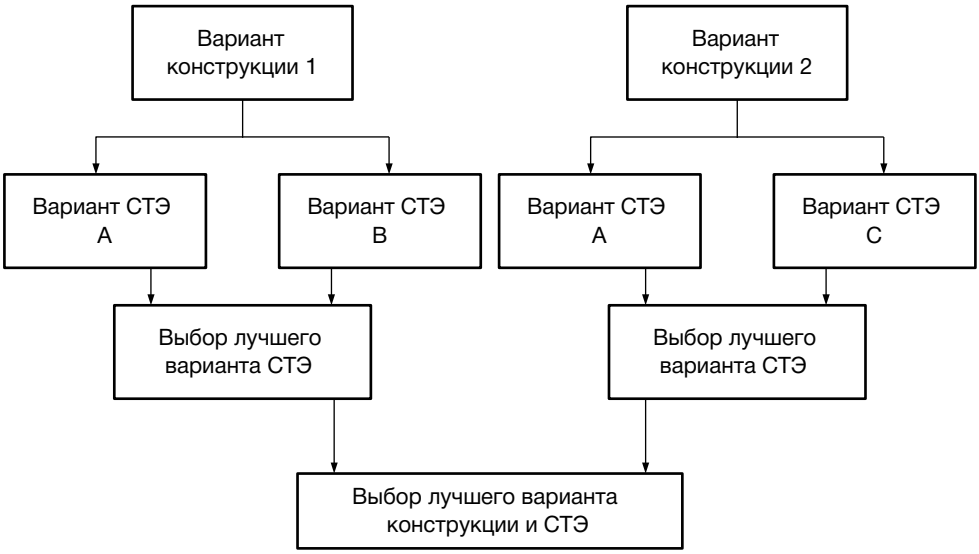


Рис. 2–3 Схема анализа вариантов конструкции изделия и СТЭ и выбора их наилучшего сочетания

Исходные данные и результаты решения задач АЛП, хранимые в БД АЛП, должны сохранять актуальность практически в течение всего срока службы ВС. Поскольку актуальность данных АЛП является критически важным фактором, то в ходе сопровождения БД АЛП должны использоваться методы управления конфигурацией по ГОСТ Р ИСО 10007–2007 [8]. Хранимые в БД АЛП данные и документы (результаты АЛП) подразделяются на две группы:

- данные и документы, влияющие на конструкцию и процесс проектирования ВС и его составных частей (функциональных систем, агрегатов, узлов, крупных деталей и т.д.);
- данные и документы, используемые для создания элементов СТЭ.

Документы получаются из БД АЛП в форме типовых отчетов.

Требования к порядку проведения АЛП устанавливаются для каждого типа ВС индивидуально по согласованию между головным разработчиком и заказчиком. Конкретный состав задач, объем работ, степень детализации анализа и элементов данных БД АЛП, а также исполнителей устанавливают с учетом требований стандарта [16].

2.3. Планирование технического обслуживания

Эта группа задач ИЛП имеет целью разработку типовых планов и программ, обеспечивающих рациональную организацию процессов ТО, позволяющую сократить затраты на ТО и обеспечить заданные показатели готовности изделия, в частности путем сокращения простоев в неисправном состоянии.

В состав работ по ТО включаются работы по текущему ремонту (восстановлению работоспособности).

В ходе создания СТЭ головной разработчик в рамках АЛП проводит анализ требований к организации ТО. При этом анализе в качестве исходных данных используют описания ожидаемых условий эксплуатации, вариантов применения изделия по назначению (сценариев), а также описание структуры и функций организаций в области ТО. Результатом анализа являются уточненные требования к СТЭ, оценки затрат на их выполнение, а также дополнительные требования к конструкции, которые должны быть учтены на последующих этапах разработки. Исходные данные и результаты хранят в БД АЛП.

Одним из важных результатов АЛП является такой документ как План ТО (для ВС — ИПТО[8]), который должен содержать, как минимум, следующую информацию:

- описание рекомендуемых разработчиком методов организации ТО и его составных частей, включая описание разных организационно-технических уровней, на которых будет выполняться ТО;
- рекомендации по составу работ по ТО и их периодичности;
- виды логистических ресурсов для выполнения ТО и прогнозируемая потребность в них (в том числе технологии и исполнители ТО);
- предполагаемые формы участия поставщика изделия в обеспечении ТО;
- виды документации по ТО, основные требования к ее содержанию и оформлению;
- другие сведения по усмотрению головного разработчика и заказчика.

Головной разработчик готовит проект плана ТО в нескольких альтернативных вариантах. Заказчик выбирает и утверждает один из них.

Большие объемы работ по ТО связаны с отказами. Поскольку отказы происходят в случайные моменты времени, а продолжительность их устра-

---

[8] ИПТО — информация для планирования ТО.

нения также является случайной величиной, планирование таких работ носит прогнозный характер, основанный на анализе статистических данных о ВС — аналогах, а также на анализе данных, собираемых в ходе эксплуатации. Реализация оперативных мер по восстановлению работоспособности изделий связана с необходимостью иметь в наличии резервные ресурсы (материальные и трудовые). Определение рациональных объемов таких ресурсов является важной задачей, решаемой в процессе АЛП.

Развитие СТЭ предполагает внесение изменений в планы и программы ТО при изменениях условий эксплуатации, модернизации конструкции изделий и по другим существенным причинам.

2.4. Планирование материально-технического обеспечения эксплуатации

При разработке СТЭ должно быть предусмотрено рациональное планирование объемов материальных ресурсов (запасных частей, расходных материалов и т.п.), обеспечивающее сокращение издержек заказчика, обусловленных дефицитом (и, следовательно, простоями) или избытком этих ресурсов (и, следовательно, омертвлением капитала).

Планирование МТО включает:

- выделение (идентификацию) в конструкции изделия СЧ, являющихся предметом МТО[9];
- кодификацию предметов МТО;
- планирование начального МТО;
- оценку (планирование) объемов запасов, требуемых для рассматриваемых периодов эксплуатации, с их организационным распределением в соответствии с принятой схемой и технико-экономической моделью организации ТО и МТО (см. раздел 10).

Кодификация представляет собой процедуру присвоения предметам МТО уникальных кодовых обозначений для использования службами головного разработчика, заказчика и других участников процессов ИЛП и послепродажного обслуживания. Она выполняется специальным отраслевым или федеральным центром по запросу разработчика.

Планирование МТО осуществляет головной разработчик в ходе выпол-

---

[9] В англоязычной литературе для обозначения данной задачи используется термин «provisioning»;

нения АЛП (при создании СТЭ). При этом в качестве исходных данных используют:

- информацию о предполагаемых сценариях эксплуатации;
- данные об эксплуатации аналогов;
- показатели надежности изделия и его составных частей;
- разработанную программу ТО и др.

Отдельно оценивается потребность в средствах МТО для начального периода (начальное МТО). Результатом планирования начального МТО являются номенклатура и количество запасных частей и расходных материалов, поставляемых вместе с изделием и обеспечивающих его эксплуатацию и ТО в планируемый начальный период. Эти сведения оформляют в виде документа «Перечень начального МТО», который должен быть согласован с заказчиком и другими заинтересованными организациями. При необходимости этот документ включают в комплект эксплуатационной документации на тип ВС.

На основе принятых схем и технико-экономических моделей организации процессов ТО и МТО головной разработчик совместно с другими заинтересованными организациями должен разработать план МТО, включающий, как минимум:

- номенклатурный перечень предметов МТО в согласованной с заказчиком форме;
- описание процедур и источников (поставщиков) приобретения предметов МТО (отдельно для этапов начального МТО и текущего МТО);
- количественные показатели запасов материальных ресурсов для каждого уровня ТО и места их хранения и использования;
- прогнозируемые (рекомендуемые) требования к складским и транспортным мощностям с распределением по организационно-техническим уровням;
- возможности и условия применения эффективных методов идентификации предметов МТО [например, штриховой и (или) радиочастотной идентификации];
- другие данные по усмотрению разработчика.

План МТО разрабатывают в нескольких альтернативных вариантах. Выбор и утверждение приемлемого варианта осуществляет заказчик. Наряду с планом МТО либо в его составе разрабатывают рекомендации по обмену информацией между заказчиком и поставщиками в процессе размещения, обработки и доставки заказов на предметы МТО.

Планирование текущего МТО на стадии эксплуатации осуществляется на основе полученных от разработчика (изготовителя) данных о номенклатуре предметов МТО, выявленной в ходе АЛП. Эти данные предоставляются в форме перечней, ведомостей и (или) каталогов (по ГОСТ 18675 [17] для изделий АТ и ГОСТ 2.610 [18] для других видов машиностроительной продукции), в том числе электронных. При необходимости эксплуатанту может быть оказана методическая помощь в организации планирования МТО со стороны головного разработчика, производителя и других организаций.

2.5. Разработка и сопровождение эксплуатационной и ремонтной документации

Своевременное и качественное выполнение всех работ по ТО и ремонту требует обеспечения персонала достоверной и актуальной технической документацией (преимущественно в электронном виде).

Основные требования к ЭД и РД изделий стандартизованы. Например, для АТ виды и комплектность документации регламентированы ГОСТ 18675 [17], а для других видов машиностроительной продукции — ГОСТ 2.610 [18]. Форму представления документации (бумажная, электронная, то и другое), как правило, устанавливает головной разработчик, который создает ЭД и РД с использованием принятых в отрасли информационных технологий (например, по международным стандартам [19]). При разработке ЭД и РД используют конструкторские данные (в том числе в электронной форме по ГОСТ 2.051 [20]) и данные БД АЛП, связанные с ТО.

При использовании современных информационных технологий результатом разработки ЭД (РД) является специализированная общая база данных эксплуатационной документации по ГОСТ 2.601 [21], содержащая модули данных, из которых формируется и предоставляется заказчику комплект ЭД (РД), соответствующий требованиям стандарта [19] и представляемый преимущественно в форме интерактивных электронных документов. Кроме того, данные ОБДЭ могут быть использованы при информационной интеграции процессов разработки ЭД и РД, планирования и управления ТО и МТО.

Подготовку и внесение изменений в ЭД и РД осуществляет головной разработчик в соответствии с требованиями ГОСТ 18675 [17], ГОСТ 2.503 [22] и ГОСТ 2.603 [23]. Все изменения отражаются в ОБДЭ.

2.6. Обеспечение заказчика средствами технического обслуживания

Для эффективного функционирования СТЭ необходимо измерительное, испытательное и вспомогательное оборудование в стационарном и мобильном исполнении, которым должны быть оснащены организации по ТО. Перечни таких средств, обеспечивающих надлежащее качество работ и повышение производительности труда при эксплуатации и ТО основного изделия, а также технические требования к характеристикам этих средств разрабатывают и предоставляют заказчикам (эксплуатантам) в процессе создания СТЭ.

Перечень средств ТО и требования к их характеристикам определяют в ходе выполнения АЛП (как правило, при планировании ТО). При этом руководствуются принципами стандартизации и унификации и преимущественно используют:

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

Данные, относящиеся к средствам ТО, фиксируют в БД АЛП. В дальнейшем перечень оборудования для ТО и требования к нему уточняют на основе данных, получаемых в ходе АЛП на последующих стадиях ЖЦ.

Специальное оборудование и специальный инструмент применяют только в тех случаях, когда технико-экономическое обоснование показывает возможность значительного снижения СЖЦ ВС, сокращения трудоемкости и продолжительности работ по ТО.

Головной разработчик совместно с разработчиками специального оборудования создает план логистической поддержки, концепцию ТО этого оборудования и поддержки его ПО (при наличии).

2.7. Планирование обучения персонала и разработки технических средств обучения

В процессе разработки СТЭ должен быть спланирован комплекс мер по подготовке (обучению) и переподготовке эксплуатирующего, обслуживающего и ремонтного персонала, гарантирующий уровень квалификации специ-

алистов, обеспечивающий надлежащее качество работ и высокую производительность труда при эксплуатации и ТО. Кроме того, должен быть разработан план разработки ТСО, обеспечивающих эффективность учебного процесса.

Головной разработчик должен подготовить и предложить заказчику комплекс мер, реализуемый в ходе подготовки к вводу разрабатываемого изделия в эксплуатацию и, как минимум, включающий:

- определение номенклатуры специальностей и численности специалистов, подлежащих обучению и переподготовке по каждой специальности;
- определение видов и форм обучения (непосредственно на изделии, в учебных классах, в специальных учебных центрах и т.д.), разработку учебных планов, программ и учебно-методических материалов (в том числе в электронной форме);
- прогнозируемую продолжительность и требуемое опережение обучения по отношению к срокам ввода разрабатываемого изделия в эксплуатацию;
- состав, технические характеристики и сроки разработки и изготовления ТСО: учебных стендов, тренажеров (в том числе компьютерных) и др.;
- разработку методов и программ аттестации и сертификации специалистов, прошедших обучение.

Исходными данными для разработки предложений являются перечни специальностей, уровни квалификации, необходимая численность персонала, которые определяются в ходе АЛП, а также потребности в обучении и требования к обучающему оборудованию. При определении требований к персоналу учитывают нормы безопасности, эффективность эксплуатации и влияние «человеческого фактора».

Учебные планы и программы, учебно-методические материалы, методы и программы аттестации и сертификации специалистов формирует головной разработчик. Содержание указанных документов определяется:

- нормативными документами уполномоченных органов регулирования деятельности в данной области техники и образования персонала;
- квалификационными требованиями к эксплуатационному персоналу;
- перспективами развития техники и достижениями в области технологий профессиональной подготовки.

Процесс обучения персонала для эксплуатации сложной техники выполняется, как правило, в сертифицированных учебных центрах.

При проектировании новых изделий создание учебно-методических материалов (в первую очередь — в форме ИЭД), разработка и изготовление комплексов ТСО (компьютерных учебных классов, стендов, тренажеров и т.п.) осуществляются на основе перспективных планов, начиная с ранних этапов создания ВС. При планировании разработки ИЭД, ТСО и учебно-методических материалов используют информацию (модули данных) из ОБДЭ, сформированной в ходе создания ЭД и РД изделия.

2.8. Поддержка программного обеспечения и средств вычислительной техники

В процессе разработки СТЭ должны быть определены потребности в материальных, трудовых и иных ресурсах и спланировано обеспечение этими ресурсами процессов поддержки ПО и СВчТ, в том числе СВчТ и ПО, встроенных в изделие и (или) его СЧ, а также СВчТ и ПО, используемых для обучения.

Перечень необходимых СВчТ и ПО определяют в ходе проектирования, выполнения АЛП и разработки технологий и системы ИЛП. При этом руководствуются принципами стандартизации и унификации и преимущественно используют СВчТ, коммуникационное оборудование и иные аппаратные средства общего назначения, а также СВчТ, уже имеющиеся в существующей инфраструктуре заказчика. Стремятся максимально использовать ПО, имеющееся на рынке программных средств, если это не противоречит требованиям конфиденциальности информации и другим специальным требованиям.

Головной разработчик создает концепцию поддержки ПО и СВчТ, включающую разделы, посвященные ТОиР аппаратной части и поддержки ПО [выпуск (установка) новых версий ПО, устранение выявленных ошибок, сбоев и т.д.]. Отдельно в концепции рассматривают вопросы обновления (замены) СВчТ и ПО по мере их устаревания.

Данные, относящиеся к ПО, СВчТ и коммуникационному оборудованию, фиксируют в БД АЛП. В дальнейшем эти данные уточняют в процессе эксплуатации изделия.

СВчТ в специальном исполнении, специальное коммуникационное оборудование и оригинальное ПО применяют только в тех случаях, когда технико-экономическое обоснование показывает возможность значительного снижения СЖЦ ВС и обеспечения отказоустойчивости ПО и СВчТ.

2.9. Планирование процессов хранения и транспортирования

Процессы хранения и транспортирования изделия и/или его составных частей, включая процессы упаковывания, погрузки и разгрузки, должны быть спланированы так, чтобы исключить снижение их работоспособности (предотвращение повреждения).

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

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

Для вновь разрабатываемых изделий проводят полный анализ транспортабельности, упаковки и вариантов процессов перемещения, хранения и транспортирования, результаты которого влияют на конструкцию. Для покупных изделий указанные факторы учитывают при оценке применимости этих изделий в финальном изделии.

Все планы, процедуры и документы разрабатывают в соответствии с действующим законодательством, в том числе с учетом требований по охране труда и технике безопасности, а также требований, относящихся к работам с опасными материалами.

2.10. Разработка требований и рекомендаций в отношении инфраструктуры СТЭ

Требования к составу инфраструктуры и характеристикам ее элементов (коммуникаций, зданий, сооружений и т.д.), необходимых для эксплуатации и ТО, определяют в ходе АЛП. При проведении анализа обосновывают необходимость применения тех или иных элементов инфраструктуры и определяют их стоимость. Требования к инфраструктуре фиксируют в БД АЛП.

При создании проектов инфраструктуры для конкретных изделий стремятся к рациональному использованию существующих элементов инфраструктуры. Проекты создания новых элементов и объектов инфраструктуры рассматривают только при отсутствии требуемых в существующей инфраструктуре и при наличии технико-экономического обоснования.

2.11. Мониторинг эксплуатации

Достоверность расчетов, получаемых в ходе АЛП, в значительной степени зависит от достоверности используемых исходных данных.

На начальном этапе АЛП используются нормативные значения либо сведения, полученные путем анализа изделий-аналогов, конъюнктуры, тенденций развития и т. д.

В ходе проектирования изделия и детализации его конструкции для АЛП используются расчетные данные.

Мониторинг эксплуатации нацелен на получение фактических данных об изделии и СТЭ. Решение этой задачи предполагает получение, статистическую обработку, анализ данных о наработке изделия, о надежности (безотказности, долговечности), эксплуатационной и ремонтной технологичности, трудоемкости и продолжительности работ по ТО, о фактическом расходе материальных ресурсов, времени ожидания ТО, о суммарных затратах на ТО и т. д.

Объектами мониторинга являются изделие и его СЧ, технологические процессы ТО и элементы СТЭ. Сравнение фактических и расчетных (проектных) характеристик изделия и СТЭ должно способствовать обоснованию решений, касающихся изменений конструкции изделия, организации СТЭ и (или) планов ИЛП.

Кроме того, в ходе мониторинга контролируются соответствие текущей конфигурации изделия его типовой конструкции, а также степень морального устаревания элементов конструкции (прежде всего — покупных изделий).

Мониторинг обеспечивает обратную связь в системе ИЛП, позволяющую корректировать параметры СТЭ на основе решения задач АЛП с уточненными исходными данными (на основе актуализированной БД АЛП).

Полномасштабный сбор корректных и достоверных данных требует совместной скоординированной работы разработчика, эксплуатирующих организаций, а также организаций, осуществляющих ТО. Сбор данных может осуществляться с использованием различных информационных систем. Важное значение имеет стандартизация форматов и способов информационного взаимодействия участников.

2.12. Планирование процессов утилизации изделия

Планирование в рамках ИЛП эффективной и своевременной утилизации изделия и (или) его составных частей и, как правило, специального оборудования для его поддержки имеет целью выработку мер по снижению затрат на утилизацию после вывода изделия из эксплуатации. Все требования к процедурам утилизации должны быть определены и документированы, а соответствующие затраты оценены.

На этапе проектирования принимают меры по обеспечению технологичности разделки финального изделия и его составных частей и определяют способы утилизации (изъятие драгоценных и (или) радиоактивных материалов). При необходимости для выполнения этих работ разрабатывают ТЗ на специальное технологическое оборудование.

Технология утилизации направлена на снижение общих издержек по всему ЖЦ изделия, включая учет затрат, связанных с поддержанием работоспособности устаревшего оборудования. По завершении утилизации сопоставляют фактические и предполагаемые затраты. Как правило, это делается после вывода изделия из эксплуатации.

При разработке процессов утилизации предусматривают меры, предотвращающие ущерб для окружающей среды.

3. ИНТЕГРИРОВАННАЯ ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРОДУКЦИИ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

3.1. Об оценке конкурентоспособности авиационной техники

Как было показано, виды деятельности в области ИЛП весьма многообразны и охватывают значительную часть ЖЦ изделий вообще и ВС в частности. Однако собственно логистика (в буквальном понимании) занимает в общем спектре видов деятельности ИЛП сравнительно скромное место. Остальные виды деятельности так или иначе имеют своей целью повышение уровня эксплуатационно-технических характеристик ВС и сокращение издержек, связанных с его эксплуатацией. Если трактовать уровни ЭТХ как показатели качества ВС, а издержки — как некую «цену», которую потребитель «платит» за это качество, то можно сделать

вывод, что конечной, обобщенной целью ИЛП является повышение конкурентоспособности АТ.

Согласно ГОСТ В 23743 [24] и ОСТ 1 02785–2009 [25] ЭТХ — суть характеристики безопасности (отказобезопасности), надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности ВС. Каждая из перечисленных общих характеристик, в свою очередь, подразделяется на ряд частных характеристик. Полная номенклатура ЭТХ приведена в [24] и распространяется на ВС военного назначения. Для гражданских ВС применяется подмножество этой номенклатуры (см. подробнее подразд. 11.1).

Многообразие частных ЭТХ позволяет сделать соответствующие показатели измеримыми и использовать их значения в разнообразных расчетах. С другой стороны, для оценки эффективности ВС в целом и его СТЭ применяют ограниченное число интегральных показателей, например таких, как коэффициент готовности, и ему подобных.

Согласно ГОСТ 27.002 [26] коэффициент готовности есть «вероятность того, что объект[10] окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается». На практике коэффициент готовности определяют статистически как отношение времени $T_{\text{рс}}$ пребывания объекта (ВС) в работоспособном состоянии к общему календарному времени T, которое, в свою очередь, предполагается суммой времени $T_{\text{рс}}$ и времени $T_{\text{пр}}$ простоев:

$$K_{\text{г}} = \frac{T_{\text{рс}}}{T} = \frac{T_{\text{рс}}}{T_{\text{рс}} + T_{\text{пр}}}. \qquad (3–1)$$

Из общих инженерных соображений понятно, что время $T_{\text{рс}}$ пребывания объекта в работоспособном состоянии на достаточно длительном промежутке календарного времени T прямо зависит от такого показателя надежности, как наработка на отказ, или от вероятности безотказной работы. То же время находится в обратной зависимости от интенсивности (параметра потока) отказов, либо от вероятности отказа на заданном промежутке времени. Что касается времени $T_{\text{пр}}$ простоев, то оно тем больше, чем хуже показатели

[10] В этом определении под словом «объект» понимается любое самостоятельно функционирующее изделие или совокупность таких изделий, или составная часть (как правило, крупная) изделия. В дальнейшем мы будем, по возможности, избегать применения слова «объект» в подобных контекстах, поскольку оно активно используется в описаниях информационных (информационно-логических) моделей.

эксплуатационной и ремонтной технологичности и контролепригодности, и, напротив, уменьшается с улучшением этих показателей.

Как указывалось в определениях ИЛП из стандартов [13] и [14] (см. подразд. 2.1), критериями эффективности ИЛП, т.е. ее целевыми функциями, являются «поддерживаемость» и СЖЦ, а точнее — та часть СЖЦ, которая непосредственно связана с поддержанием ВС в работоспособном состоянии. В более раннем стандарте министерства обороны Великобритании [2] указывалось, что «поддерживаемость», а точнее — показатель для ее оценки, является комплексным параметром, зависящим от технических и организационных факторов, в том числе:

- от надежности изделия и его СЧ, измеряемой наработкой на отказ (в англоязычной литературе — MTBF/Mean Time Between Failures);
- от среднего времени восстановления (MTTR/Mean Time to Repair);
- от среднего времени восстановления (приведения в работоспособное состояние) после отказа, характеризующего ЭТ изделия (RST/Required Standby Time);
- от среднего времени между обслуживаниями (MTBMA/Mean Time Between Maintenance Actions);
- от среднего времени между заменами узлов и агрегатов (MTBR/Mean Time Between Removals) и т.д.

Нетрудно видеть, что перечисленные факторы в значительной мере совпадают с ЭТХ, регламентированными отечественными нормативными документами.

Таким образом, целевыми задачами ИЛП в рамках конкретных проектов могут быть:

- минимизация СЖЦ при заданном значении коэффициента готовности (СЖЦ — целевая функция, заданное значение коэффициента готовности — ограничение оптимизационной задачи);
- максимизация коэффициента готовности при заданных ограничениях на СЖЦ (коэффициент готовности — целевая функция, заданное значение СЖЦ — ограничение оптимизационной задачи).

Первая постановка характерна для ВС гражданского назначения, вторая — для военных ВС.

В силу отмеченной выше комплексности коэффициент готовности можно рассматривать как некоторую меру качества ВС и использовать его для оценки конкурентоспособности различных ВС, относящихся, естественно, к одному классу и обладающих одинаковыми или очень близкими пара-

метрами назначения и другими свойствами. Если, далее, трактовать часть СЖЦ, расходуемую на поддержание ВС в работоспособном состоянии ($C_{\text{ТОиР}}$), как «цену», которую приходится платить за качество, то мерой конкурентоспособности (соотношения «качество — цена») может выступать отношение

$$\text{КС} = \frac{K_{\text{г}}}{C_{\text{ТОиР}}} \tag{3–2}$$

Принято считать, что показатель конкурентоспособности — всегда относительная величина, исчисляемая либо относительно изделия, принятого при сравнении за «базовое», либо относительно некоторых «среднерыночных» показателей.

В связи с этим аргументами функции (3–2) должны выступать не абсолютные значения переменных $K_{\text{г}}$ и $C_{\text{ТОиР}}$, а отношения:

$$\varsigma = \frac{C_{\text{ТОиР}_0}}{C_{\text{ТОиР}}}; \quad \kappa = \frac{K_{\text{г}_0}}{K_{\text{г}}} \tag{3–3}$$

где $C_{\text{ТОиР}_0}$, $K_{\text{г}_0}$ — показатели, принятые в качестве базы при определении конкурентоспособности.

Заметим, что ς и κ увеличиваются при уменьшении $C_{\text{ТОиР}}$ и $K_{\text{г}}$ соответственно.

Тогда показатель конкурентоспособности КС можно записать как отношение «относительной цены» ς к «относительному качеству» κ в виде

$$\text{КС} = \varsigma / \kappa \tag{3–4}$$

Из (3–4) следует, что изделие будет конкурентоспособным по сравнению с «базовым» в том случае, если КС > 1. При КС = 1 оба изделия равноценны. Выражение (3–4) перепишем в виде:

$$\varsigma = \text{КС}\ \kappa \tag{3–5}$$

С помощью этого простейшего уравнения можно построить диаграмму конкурентоспособности, представленную на рис. 3–1. Область диаграммы, лежащую ниже прямой, соответствующей КС = 1, естественно назвать ***областью неконкурентоспособности***. Область, ограниченную вертикалью $\kappa = 1$ и отрезком горизонтали $\varsigma = 1$ ($\kappa \in [0,1]$), назовем ***областью абсолютной конкурентоспособности***, поскольку изделия, параметры которых попадают

в эту область, превосходят конкурирующие изделия и по ς, и по κ. Область, лежащую между прямой, соответствующей КС = 1, и вертикалью $\kappa = 1$, назовем ***областью компромиссной конкурентоспособности по*** **к**, поскольку для изделий, попадающих в эту область, конкурентоспособность может быть достигнута за счет снижения затрат на ТО при одновременном уменьшении коэффициента готовности как показателя качества.

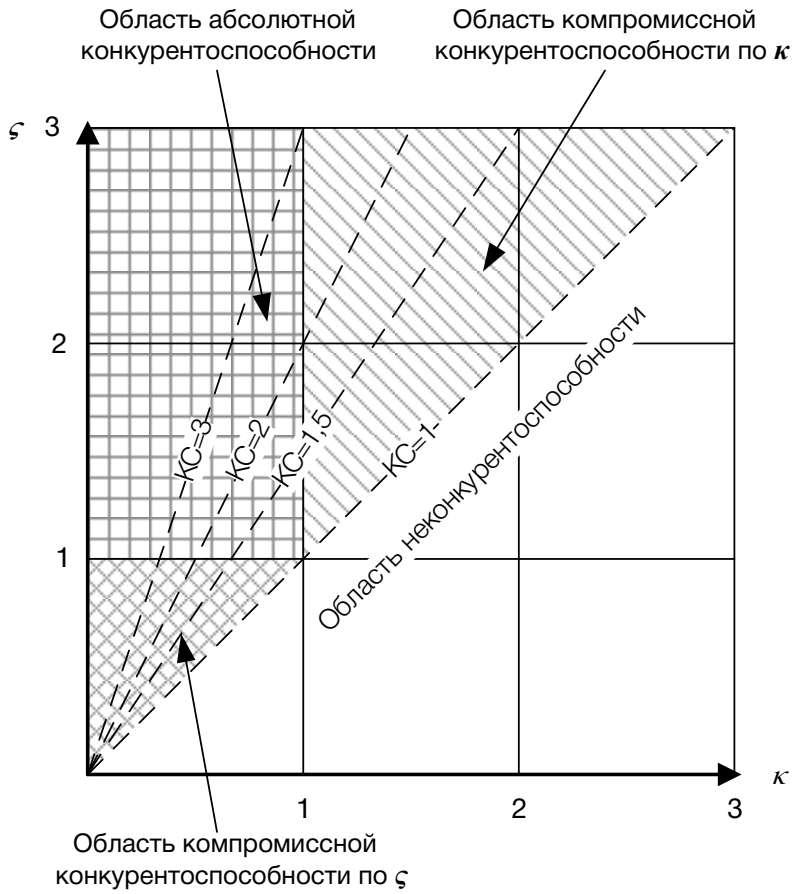


Рис. 3–1 Диаграмма конкурентоспособности

Наконец, область, лежащую выше прямой КС = 1 и ниже горизонтали $\varsigma = 1$, назовем ***областью компромиссной конкурентоспособности по*** ς, поскольку для изделий, попадающих в эту область, конкурентоспособность может быть достигнута за счет повышения коэффициента готовности при

одновременном увеличении затрат на ТОиР. Наклонные прямые на диаграмме — суть линии равной конкурентоспособности.

Выбор желаемого показателя КС и области на диаграмме диктуется требованиями рынка, отраслевыми нормативными документами и технической документацией, учитывающими эти требования, желанием разработчика и производителя ВС обеспечить некоторый «запас конкурентоспособности» в течение прогнозируемого периода времени, а также располагаемыми ресурсами.

Как уже отмечалось выше, показатель КС непосредственно связан с ЭТХ ВС, значения которых зависят как от конструктивных свойств и технологии изготовления ВС и его СЧ, так и от организации эксплуатации и ТО.

Отсюда следует вывод: системная целевая функция ИЛП вообще и АЛП как ее основы состоит в обеспечении требуемого показателя «поддерживаемости» или «эксплуатационно-экономической эффективности» (см. также подразд. 11.2 и 11.4,), учитывающего как коэффициент готовности ВС, так и затраты на ТО, и являющегося частным случаем показателя конкурентоспособности.

3.2. Прогнозирование и нормирование ЭТХ ВС и их систем

Опыт развития науки и технологий (особенно в авиации) за последние 30–40 лет показал важность системного подхода к обоснованию ЭТХ, поскольку рост требований к составу и качеству решаемых ВС задач, экономичности его применения обусловливает усложнение конструкции ВС, его систем и влияет на частоту и последствия возможных отказов. Для сохранения необходимого уровня надежности и безопасности реализуются меры по повышению надежности элементов систем, резервирование, средства сигнализации и специальные системы обеспечения безопасности (как предупреждающие возникновение опасных режимов полета, так и парирующие особые ситуации из-за отказов и других причин).

Все это позволяет обеспечить необходимую надежность и безопасность. Однако, именно системный подход позволяет оценить, как эти меры, с одной стороны, непосредственно влияют на стоимость ЖЦ ВС (через стоимость ФС, массу и т.д.), а с другой — обусловливают новые требования к системе ТЭ. Новые требования формируются на основе прогноза изменений в свойствах конструкции и выбора необходимых нормативных уровней показателей

ЭТХ (надежности, эксплуатационной технологичности, контролепригодности, характеристик средств наземного обслуживания, бортовых и наземных средств контроля). Для реализации этих требований разрабатываются более эффективные программы ТО для выявления скрытых отказов и предупреждения явных для экипажа отказов ФС ВС.

Меры по совершенствованию ВС зачастую существенно сказываются на регулярности полетов и стоимости эксплуатации из-за роста трудоемкости поиска и устранения отказов в сложных резервированных ФС, возможных ошибок персонала, проблем обеспечения достоверности контроля при усложнении систем ВС.

Таким образом, любое совершенствование ВС приводит к росту стоимости ЖЦ и порождает новый цикл прогнозирования, нормирования и проработки путей выполнения перспективных требований к характеристикам АТ. Отсюда понятна привлекательность идеи системного (комплексного) подхода к оценке и обеспечению ЭТХ.

При реализации такого системного подхода к прогнозированию, нормированию, обеспечению и оценке показателей ЭТХ в отечественной и зарубежной практике можно выделить ряд ключевых элементов:

- задание (прогнозирование характеристик и принятие контрольных уровней показателей ЭТХ) для ВС в целом и его ФС;
- организация взаимодействия конструкторов, инженеров по летно-техническим характеристикам, прочности и др. со специалистами по анализу и обеспечению ЭТХ;
- собственно проектирование и конструирование ФС и ВС в целом.

Прогнозирование и нормирование ЭТХ — это один из важнейших этапов процесса создания АТ, так как некорректно поставленные начальные условия обусловят создание неудачной конструкции. Задание требований осуществляется как заказчиком (государственным или частным), так и самим разработчиком АТ. Требования заказчика и разработчика могут быть взаимодополняющими. При этом существует несколько уровней декомпозиции (решения) этой задачи. Наиболее характерными в авиационной практике являются три уровня задания требований:

- уровень ВС в целом;
- уровень функциональных систем ВС;
- уровень элементов ФС.

При этом целесообразно задавать для ВС ограниченное число комплексных показателей, отражающих безопасность и эффективность эксплуатации

ВС, а при оптимизации конструкции использовать также дополнительные частные показатели ЭТХ.

1. На этапе проектирования формируется и анализируется множество вариантов конструкции ВС, каждый из которых должен удовлетворять требованиям по назначению.

2. По каждому варианту прогнозируются технологические процессы производства и ТЭ ВС с учетом необходимых средств ТО, трудозатрат, материалов и т.д.

3. Оценивается (прогнозируется) стоимость создания каждого варианта конструкции ВС.

4. Оценивается (прогнозируется) стоимость эксплуатации каждого варианта конструкции.

5. При условии удовлетворения заданным требованиям выбирается тот вариант конструкции, стоимость ЖЦ которого наименьшая.

Показатели ЭТХ должны допускать расчетную оценку на этапе проектирования и экспериментальную оценку как при испытаниях, так и при эксплуатации.

Определение значений показателей ЭТХ является важной формой контроля правильности принятых технических решений и требует комплексной технологии их анализа, обеспечения и оценки. Такая технология наилучшим образом реализуется именно в рамках АЛП и должна предусматривать следующие основные этапы:

- на основе данных о конструктивных характеристиках ВС и его ФС формируется перечень возможных отказов и их характеристик;
- эти данные о надежности затем используются при оценке отказобезопасности, при разработке требований к плановому ТО и разработке ЭД;
- далее проводится оценка эксплуатационной (а при необходимости и ремонтной) технологичности, контролепригодности и затрат на ТО;
- на основе полученных результатов проводятся анализ и прогнозирование норм поставок запасных частей и рассматриваются другие аспекты МТО эксплуатации ВС;
- завершаются работы оценками стоимости ЖЦ ВС.

Понятно, что любое изменение в одном из звеньев этой технологии влечет изменения во всех остальных звеньях и необходимость повторения соответствующих этапов АЛП.

При прогнозировании, нормировании и последующей оценке ЭТХ используют взаимоувязанную систему показателей, включая:

- показатели отказобезопасности, определяющие, согласно действующим нормам, допустимые вероятности возникновения на борту ВС отказов, которые могут привести к особым ситуациям различной степени опасности: катастрофической, аварийной, сложной или усложнению условий полета;
- среднее число прерванных полетов на 1000 полетов и коэффициент готовности к вылету — комплексные показатели, зависящие от надежности, ЭТ и контролепригодности;
- показатели надежности: средний налет на отказ и повреждение, средний налет на неплановый съем изделия с борта ВС, проектный ресурс или ресурс до списания;
- показатели контролепригодности: полнота контроля возможных видов отказов, непосредственно приводящих к особым ситуациям в полете, и частота неподтвержденных отказов (положительных результатов проверок после съема изделия с борта ВС) с использованием заданных средств контроля;
- показатели ЭТ: удельные суммарные трудоемкость и продолжительность ТО, удельные суммарные материальные затраты на ТО, средняя продолжительность характерных работ по ТО (замены двигателя, колеса шасси и др.).

Количественные уровни указанных показателей (которые подробнее рассматриваются в подразд. 11.1) могут быть установлены как в общих требованиях [25], так и в требованиях конкретной программы создания нового типа ВС.

3.3. Оценка и контроль значений ЭТХ на стадиях создания и эксплутации ВС

На стадиях ЖЦ нового типа ВС формируются расчетные и оцениваются фактические значения показателей ЭТХ. Эти данные накапливаются в электронном описании ВС, в том числе в БД АЛП.

Отказобезопасность

Безопасность ВС при возможных отказах АТ (отказобезопасность) занимает приоритетное положение среди других ЭТХ ВС. Другие составляющие

ЭТХ ВС (надежность, ЭТ, контролепригодность) в первую очередь призваны обеспечить выполнение требований к отказобезопасности.

На современном уровне развития техники невозможно создать абсолютно безотказные технические системы, поэтому проектирование новых ВС ведется в соответствии с принципами отказобезопасности, когда благополучное завершение полета при отказах бортовых систем становится возможным благодаря применению резервирования ФС и их подсистем, обеспечению необходимой надежности элементной базы и контролепригодности конструкции ВС, назначению эффективных методов эксплуатации, состава и периодичности работ по ТО ВС.

Общие требования к безопасности полетов ВС регламентируются Нормами летной годности в виде численных значений единичных и суммарных вероятностей возникновения различных категорий особых ситуаций (КС, АС, СС, УУП). Определение (оценка) ожидаемых расчетных значений указанных вероятностных показателей безопасности создаваемого ВС, производится на этапах разработки.

Нормы летной годности содержат минимальные требования по безопасности, выполнение которых в конструкции ФС и ВС в целом обеспечивает безопасное завершение полета при отказах ФС во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации при действиях экипажа в соответствии с указаниями утвержденной (одобренной) конструкторской документации по летной эксплуатации.

Оценка ожидаемого уровня отказобезопасности вновь создаваемого типа ВС производится начиная с ранних этапов его создания с использованием расчетно-экспериментальных методов. Такая оценка основана на результатах анализа надежности (безотказности) типовой конструкции ВС и его ФС, предусматривающего рассмотрение всех возможных видов отказов, их вероятностей, влияния на работу смежных систем и ВС в целом, а также на последующей оценке степени опасности каждого рассматриваемого вида отказа.

Оценка достигнутого уровня отказобезопасности ВС производится на стадии эксплуатации с использованием статистических методов. Такая оценка основывается на сборе эксплуатационной информации и определении статистических значений вероятностей различных видов отказов соответствующих категорий опасности, наблюдавшихся в процессе эксплуатации рассматриваемого парка ВС за определенный период времени.

Оценка отказобезопасности при проектировании заключается в определении возможных видов отказов ФС ВС, их вероятностей и оценке степени

опасности каждого из рассматриваемых видов отказов ФС (систематизация видов отказов по категориям опасности). Полученные единичные и суммарные оценки вероятностей различных категорий особых ситуаций сравнивают с нормируемыми значениями.

Оценка отказобезопасности в процессе летных испытаний и сертификации основывается на определенных при проектирования возможных видах отказов ФС ВС, их вероятностей и уточненных по результатам испытаний степеней опасности особых ситуаций. Полученные уточненные единичные и суммарные оценки вероятностей различных категорий особых ситуаций сравниваются с нормируемыми значениями.

Следует отметить, что одним из критериев степени опасности особой ситуации является выход хотя бы одного определяющего параметра за область нормальных эксплуатационных значений. Если в результате отказа определяющий параметр выходит за эксплуатационное ограничение, но не достигает своего предельного значения, то особая ситуация классифицируется как сложная, а при выходе параметра за предельное ограничение — как аварийная. Важным критерием степени опасности особой ситуации может служить резерв времени у экипажа для парирования этого отказа, который определяется интервалом времени от момента возникновения отказа до момента, когда действия экипажа по парированию (локализации) отказа уже не могут предотвратить его опасного развития.

Если резерв времени у экипажа достаточен для принятия мер по удержанию определяющего параметра в диапазоне до эксплуатационного ограничения, то ситуация рассматривается как усложнение условий полета. В зависимости от располагаемого для парирования отказа времени особые ситуации можно разграничить по степени опасности, например следующим образом:

- если это время меньше 10 с, то ситуация оценивается как АС;
- если это время в пределах от 10 до 60 с, то ситуация оцениваниется как СС;
- если же это время больше 1 мин, то ситуация оценивается как УУП.

При некоторых видах отказа определяющий параметр может оставаться в пределах эксплуатационных ограничений даже при отсутствии действий экипажа по парированию отказа. Такое состояние относится к категории «без последствий».

Уровень отказобезопасности на этапе создания ВС оценивается и подтверждается расчетами, а применительно ко вновь разрабатываемым ФС и их элементам — также результатами стендовых и летных испытаний.

Оценка отказобезопасности на стадии эксплуатации предусматривает определение и анализ статистических оценок вероятностей различных видов отказов (инцидентов) определенной степени опасности, наблюдавшихся в процессе эксплуатации рассматриваемого парка ВС за определенный период и суммарного налета этого парка за тот же период времени. Оценка степеней опасности имевших место особых ситуаций производится на основании официальных материалов расследования инцидента. Полученные при этом единичные и суммарные статистические оценки вероятностей особых ситуаций различных категорий опасности сравниваются с заданными (нормативными) значениями.

Надежность

Соответствие АТ требованиям по надежности подтверждается расчетами и испытаниями на этапах создания АТ и статистическими данными из эксплуатации на этапах использования АТ по назначению.

Для каждого нормируемого показателя надежности устанавливаются моменты его контроля на соответствие нормам. Оценка достигнутых значений нормируемых показателей надежности и установление их несоответствия нормам в процессе эксплуатации проводится, как правило, не реже одного раза в год.

Задачами анализа и оценки надежности при проектировании являются формирование перечня возможных видов отказов АТ, оценка показателей безотказности и долговечности. На этапе аванпроекта проводятся:

- анализ характеристик надежности, выполняемый с учетом изучения опыта эксплуатации АТ предыдущего поколения, достигнутого уровня надежности элементной базы и тенденций развития АТ в России и за рубежом;
- определение ожидаемых значений показателей надежности ВС в целом, его систем и их элементов;
- обоснование схемных и конструктивных мер для обеспечения надежности ВС.

На этапе выполнения эскизного проекта проводятся:

- подготовка исходных данных для анализа надежности и расчета показателей ФС и ВС в целом;
- определение возможных видов отказов ФС;
- анализ и расчет показателей безотказности ФС, выбор рациональных вариантов схемно-конструктивных решений для обеспечения безотказности и долговечности;

- оценка влияния отказов ФС на работоспособность смежных систем;
- обоснование дополнительных средств и схемно-конструктивных решений с учетом требований комплексного обеспечения безопасности полетов, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности ВС;
- определение требований к показателям надежности вновь разрабатываемых СЧ ВС;
- оценка показателей надежности ФС и ВС в целом;
- проверка соответствия прогнозируемого уровня надежности ВС заданным требованиям, корректировка (при необходимости) схемно-конструктивных решений по обеспечению надежности.

На этапе технического проекта выполняются:

- проверка выбранных решений в области надежности на моделях и в стендовых испытаниях;
- уточнение прогнозируемого уровня надежности ФС и ВС в целом с учетом результатов экспериментальной отработки и испытаний СЧ;
- внесение необходимых изменений в схемно-конструктивные решения.

Этот этап создания ВС начинается с выполнения функционального анализа ВС и его систем, который продолжается на последующих стадиях и этапах проектирования (с детализацией и уточнением). Он проводится для того, чтобы определить необходимость и область последующего анализа. Эта оценка может выполняться с использованием опыта эксплуатации, инженерных и эксплуатационных суждений и (или) качественного исследования «сверху вниз» каждой функции.

Кроме ФС должны быть рассмотрены условия эксплуатации ВС и параметры окружающей среды, в которых требуется рассмотреть функционирование оборудования, систем и установок во всех ожидаемых условиях эксплуатации ВС, в т.ч. связанных с особыми или аварийными ситуациями.

Должны быть также рассмотрены внешние условия эксплуатации, такие как атмосферная турбулентность, воздействие электромагнитных полей высокой интенсивности, удары молнии и выпадение осадков и т.д. Тяжесть внешних условий эксплуатации, которые должны быть рассмотрены, ограничивается пределами, установленными для них сертификационными стандартами и прецедентами.

В дополнение к внешним эксплуатационным условиям и параметрам окружающей среды следует также рассмотреть параметры среды на борту

ВС. Эти воздействия должны включать нагрузки от вибрации и перегрузок (ускорения), изменения давления жидкостей и электрической мощности, загрязнения жидкостей или появления паров в результате нормальной эксплуатации или случайных утечек или слива жидкостей персоналом при ТО.

Результаты рассмотрения вышеуказанных факторов и параметров оформляются в виде стандартных документов, ассоциируемых с изделием и его СЧ, а также в виде соответствующих разделов БД АЛП.

На основе указанных данных формируются предварительные требования к безотказности ФС ВС. Проводится предварительное распределение принятых для ВС в целом показателей, характеризующих регулярность полетов, налет на отказ и повреждение по ФС, которое может уточняться на последующих этапах создания ВС. Принятые при проектировании схемно-конструктивные решения по обеспечению надежности должны удовлетворять требованиям к показателям безотказности ВС, обеспечивать выполнение требований к ЭТХ и быть обоснованными по технико-экономическим критериям.

Анализ и расчет показателей безотказности ФС и ВС в целом при проектировании проводятся в соответствии с требованиями [27]. Критерии отказов ФС и ВС в целом и влияние отказов на смежные системы определяют по результатам расчетов, моделирования и испытаний. Требования к показателям безотказности вновь разрабатываемых или модернизируемых ФС определяют с помощью методов распределения требований к изделию между его составными частями, изложенных в [28] и [29].

На этапе летных испытаний (сертификации), как правило, проводится качественный анализ[11] выявленных при испытаниях видов отказов АТ в целях:

- уточнения схемно-конструктивных решений по обеспечению надежности;
- оценки влияния отказов на работоспособность смежных систем;
- уточнения критериев (внешних проявлений) отказов.

На этапе эксплуатации предусматривается регулярная оценка показателей надежности на основе накапливаемых данным об отказах и повреждениях ВС и его СЧ. Такая оценка необходима для принятия решений о необходимости схемно-конструктивных модификаций АТ для обеспечения необходимой надежности.

---

[11] Количественный анализ не проводится ввиду недостаточного объема фактической информации.

Контролепригодность

Процесс контроля технического состояния АТ опирается на свойство изделия, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами и называемое контролепригодностью. При оценке контролепригодности важно определить условные вероятности установления при контроле факта отказа каждого из объектов. Для отказов, влияющих на безопасность полетов (опасные отказы), такие вероятности определяются применительно к отказам, влияющим на безопасность полетов.

Приспособленность объекта контроля к поиску места отказа (диагностированию) характеризуется коэффициентом глубины поиска отказа, которая зависит от заданной степени подробности определения отказавшей составной части ОК (до одного сменного блока или модуля, до двух и т. д.).

Оценка контролепригодности базируется на следующих данных:

- функциональная схема и описание принципов работы ОК;
- перечень контролируемых параметров и стимулирующих сигналов;
- перечень видов отказов элементов ФС и интенсивности их возникновения.

Последовательность работ предусматривает:

- построение функционально-логической модели ОК;
- представление уравнений для контролируемых параметров с учетом стимулирующих сигналов;
- построение таблицы (матрицы) полноты контроля;
- определение количественного значения полноты контроля.

Значение полноты контроля отказов, непосредственно приводящих к особым ситуациям в полете и не отнесенных к категории практически невероятных, должно быть равно единице. При этом вероятность невыдачи (средствами контроля) информации об отказе должно быть не выше 10^{-9} на 1 ч полета (практически невероятное событие).

На этапе проектирования оценка контролепригодности заключается в определении соответствия требованиям, заданным в ТЗ или контракте.

На этапе летных испытаний (сертификации) оценка контролепригодности заключается в проверке полученных в ходе проектирования оценок и подтверждении соответствия заданным требованиям. Кроме того, проводятся оценка конструктивных, алгоритмических и программных решений, оценка эксплуатационной документации и другие работы, направленные на оценку

системы эксплуатационного контроля ВС, в том числе сертификационные работы, предусмотренные нормами летной годности.

На этапе эксплуатации оценка контролепригодности осуществляется на основе собираемой и накапливаемой статистики. При этом выявляются недостатки и обосновываются необходимые мероприятия по совершенствованию системы эксплуатационного контроля ВС.

Эксплуатационная технологичность

При прогнозировании и оценке ЭТ ВС рассматривается совокупность конструктивно-технологических свойств, определяющая приспособленность ВС к ТО с минимальными затратами труда, времени и средств в заданных условиях эксплуатации. Эксплуатационная технологичность рассматривается применительно к следующим видам ТО:

- оперативное ТО;
- периодическое ТО;
- работы по восстановлению ресурса, т.е. по замене СЧ ВС, имеющих ресурс, отличный от ресурса ВС;
- неплановое ТО, включающее работы по поиску и устранению отказов и повреждений.

Эксплуатационная технологичность проявляется при выполнении указанных работ непосредственно на ВС. При выполнении планового капитального ремонта ВС и плановых ремонтно-восстановительных работ на демонтированных с борта ВС блоках и агрегатах проявляется ремонтная технологичность. Так как практически все показатели и эксплуатационной, и ремонтной технологичности аналогичны, то методика расчета показателей может использоваться для оценки как ЭТ, так и РТ. В последнем случае главным классификационным признаком будет вывод объекта работ из эксплуатации для проведения планового ремонта (капитального или среднего) согласно [30].

Для обеспечения единства измерений при определении и оценке значений показателей ЭТ на всех этапах ЖЦ, в том числе при задании требований, учитывается только «оперативная» [31] продолжительность ТО.

На этапе проектирования ВС оценивается возможность выполнения требований к ЭТ и отрабатываются соответствующие конструктивно-компоновочные решения. Проверяется соответствие качественным требованиям в области доступности и легкосъемности. С использованием БД АЛП формируются расчетные значения количественных показателей ЭТ: трудоемкости ТО, удельной стоимости ТО и т.д.

При сертификационных контрольных испытаниях должно быть подтверждено соответствие типовой конструкции ВС сертификационным требованиям в части ЭТ и ЭД. Для этого требуется выполнение только качественных оценок ЭТ и ЭД.

В процессе эксплуатации подтверждаются гарантированные разработчиком значения показателей ЭТ (удельной суммарной трудоемкости и продолжительности ТО). При этом выявляются недостатки в области характеристик ЭТ и обосновываются необходимые мероприятия по совершенствованию ЭТ.

В случае если для ВС предусмотрены плановые виды ремонта (капитальный, средний), выполняемые на условиях вывода ВС из эксплуатации, то на каждой из стадий ЖЦ проводятся работы по оценке РТ. Эти работы проводятся с использованием тех же методов, что предусмотрены для ЭТ.

Мониторинг эксплуатации ВС

Инструментом для оценки фактических значений ЭТХ является мониторинг эксплуатации ВС, в ходе которого собираются данные об изделии, элементах СТЭ и фактических условиях эксплуатации. В ходе мониторинга осуществляются сбор, статистическая обработка и анализ данных о наработке ВС, о надежности (безотказности, долговечности), ЭТ и РТ ВС, трудоемкость и продолжительность работ по ТО, фактическом расходе материальных ресурсов, времени простоя ВС при ожидании ТО, суммарных затратах на ТО и т. д.

Объектами мониторинга являются ВС в целом, его составные части, технологические процессы ТО и элементы СТЭ. Сравнение фактических и расчетных (проектных) характеристик ВС и элементов СТЭ призвано способствовать принятию обоснованных решений по совершенствованию конструкции АТ, организации СТЭ и (или) планов ИЛП.

3.4. ИЛП и ППО

При обсуждении вопросов ИЛП необходимо учитывать, что в отечественной и зарубежной практике также часто используются термины «послепродажное сопровождение» [32], «послепродажное обеспечение эксплуатации» [33] или «послепродажное обслуживание» [34]. Как правило, для

их обозначения используется аббревиатура ППО. При этом специалисты либо отождествляют термины «ППО» и «ИЛП», либо обсуждают вопрос о том, является ли ППО частью ИЛП или, напротив, ИЛП — часть ППО. Это порождает путаницу и влечет за собой отсутствие взаимопонимания заинтересованных сторон.

Как показано выше, ИЛП — это совокупность видов деятельности, прямо связанных с конструкцией изделия и системой его технической эксплуатации и осуществляемая в ходе всего жизненного цикла изделия. Составной частью этой деятельности является анализ фактических значений ЭТХ в эксплуатации, анализ совершенства СТЭ, ее сопровождение и развитие, устранение конструктивных недоработок изделия и т.д. Именно эта часть деятельности по ИЛП чаще всего и смешивается с деятельностью по ППО. Во избежание дальнейшей путаницы попытаемся дать более четкое определение деятельности по ППО и ее отличий от ИЛП.

ИЛП — часть процесса управления ЖЦ изделия, т.е. деятельности, нацеленной на разработку и изготовление изделия, обладающего заданными свойствами, и поддержание этих свойств (характеристик) изделия на стадии эксплуатации. ИЛП — часть этой деятельности и связана с созданием и сопровождением типовой конструкции изделия и его СТЭ.

Применительно к гражданской авиации речь идет о разработке и производстве ВС и элементов связанной с ним СТЭ (вопросы общей инфраструктуры: аэродромов, системы управления воздушным движением и т.д. не рассматриваются).

Затем созданный продукт (ВС и СТЭ) на коммерческих условиях (продажа, лизинг, аренда и т.д.) передается организациям (авиакомпаниям), осуществляющим авиаперевозки. В ходе полезного использования ВС разработчик или третьи лица могут предлагать эксплуатирующей организации на коммерческой основе разнообразные услуги, связанные с поддержкой эксплуатации (ТО, МТО, обучение и т.д.).

Рассматривая авиационную программу как бизнес-проект по разработке и производству ВС в целях получения прибыли от их продажи, мы можем выделить в нем инвестиционную часть (разработка, производство и сопровождение конструкции изделия — виды деятельности, связанные с затратами) и часть, связанную с получением доходов от продажи ВС, а также других товаров и услуг, связанных с эксплуатацией ВС и обеспечением их эксплуатации.

Как следует из приведенной логики, ИЛП входит в инвестиционную часть авиационной программы, поскольку является частью процесса соз-

дания и сопровождения продукта (изделия и его СТЭ), тогда как послепродажное обеспечение или обслуживание представляет собой вид деятельности, входящий в состав части проекта, связанной с получением доходов. Ключевое отличие ППО от ИЛП заключается в том, что ППО нацелено на покупателя. Если эффективность ИЛП оценивается через достигнутые ЭТХ изделия, то эффективность ППО оценивается через доход от продаж и степень удовлетворенности заказчика. С учетом этой логики более обоснованным представляется термин «послепродажное обслуживание», поскольку он лучше передает дух «клиенто-ориентированности» этого вида деятельности (customer-support), в противовес ИЛП, «как продукт-ориентированной» деятельности (product-support).

Далее предлагается понимать под ППО всю совокупность видов деятельности поставщика (или третьих лиц), по обеспечению ТЭ поставленной продукции, а также предоставлению дополнительных услуг и товаров, связанных с поставленной продукцией.

Развитие интереса к ППО как важной составной части деятельности, связанной с наукоемкой продукцией, определяется следующими причинами:

- рынок наукоемкой продукции насыщается, причем продолжительность ЖЦ такой продукции достаточно высока. Все это с учетом конъюнктуры и особенностей разных сегментов рынка уменьшает скорость обновления парка изделий, что заставляет производителей обращать внимание на другие возможности получения доходов от покупателей продукции;
- рост сложности изделий приводит к увеличению затрат на поддержание изделий в технически исправном состоянии. Эти затраты, обозначаемые термином «прямые расходы на ТО» (Direct Maintenance Cost), составляют значительную часть затрат на владение изделием (Ownership Cost) и численно равны потенциальному доходу для стороны, которая предложила бы такие услуги покупателю.

С позиции производителя изделия деятельность в области ППО не только способствует увеличению его доходов, но и:

- повышает привлекательность изделий, что способствует новым продажам;
- повышает удовлетворенность покупателя изделием и всем, что с ним связано;
- способствует установлению партнерских отношений с покупателем, что

позволяет организовать полноценную обратную связь для информирования о результатах эксплуатации, необходимую для совершенствования конструкции изделия.

В общем случае подобная деятельность включает (рис. 3–2):

- разработку продуктов для системы ППО (номенклатуры услуг и товаров, собственно продуктов ППО, цен, условий и бизнес-моделей их предоставления и т. д.);
- разработку, сопровождение и развитие инфраструктуры системы ППО;
- собственно предоставление услуг по ППО;
- координацию и управление всеми процессами в области ППО.



Рис. 3–2 Основные бизнес-процессы системы ППО

В составе ППО принято выделять гарантийное и послегарантийное обслуживание. Особенностью первого является лишь то, что затраты на него уже включены в цену изделия.

Деятельность по ППО осуществляется в рамках организационно-технической системы, взаимосвязанными элементами которой являются:

- услуги и продукты для ППО;

- бизнес-процессы ППО;
- элементы организационной, производственной и информационной инфраструктуры, в том числе поставщики и покупатели услуг ППО;
- материальные, человеческие, энергетические и информационные ресурсы.

Понятие «Продукт для ППО» объединяет все виды продуктов и услуг, предназначенных для удовлетворения потребностей покупателя в ходе эксплуатации конкретного изделия и являющихся предметом товарно-денежных отношений с покупателем.

Наиболее распространенными примерами таких продуктов и услуг являются:

- поставка средств МТО (запасных частей, оборудования и материалов) на различных условиях: с использованием традиционных схем, по заявкам; с гарантированным временем доставки; с предоставлением необходимой запасной части в аренду на время ожидания ее поставки с завода-изготовителя; путем предоставления комплексного обслуживания, предполагающего обеспечение гарантированного уровня готовности (другими словами, непревышения предельного времени простоев из-за отсутствия необходимой запасной части и т.д.);
- выполнение работ по ТО (по заявкам, по долгосрочным контрактам, с обеспечением гарантированного уровня готовности и т.д.).
- модернизация и доработки конструкции по бюллетеням;
- обучение летного и инженерно-технического персонала;
- предоставление в аренду, лизинг, продажа технологического оборудования, средств наземного обслуживания и контроля;
- организация ремонта СЧ ВС и вспомогательного технологического оборудования;
- информационное обслуживание и др.

Многие из перечисленных видов деятельности требуют соответствующей инфраструктуры. Так, деятельность по ТО может осуществляться силами специализированных предприятий по ТО, создаваемых как разработчиком изделия, так и третьими сторонами (разумеется, при условии соблюдений необходимых условий лицензирования и сертификации). Для обеспечения МТО может требоваться территориально распределенная, многоуровневая система дистрибьюторских центров и складов, выполняющих заказы организаций, осуществляющих ТЭ. Для подготовки и переподготов-

ки летного и технического персонала также требуются соответствующие учебные центры. Создание такой инфраструктуры связано со значительными инвестициями.

Очевидно, что вопросы ИЛП и ППО тесно связаны друг с другом. Результаты ИЛП являются исходной информацией для деятельности по ППО, причем это касается не только технической информации (эксплуатационная документация или перечень необходимого технологического оборудования), но и финансово-экономической информации, необходимой для формирования рациональной ценовой политики по продуктам и услугам ППО. Модели оценки затрат (на обслуживание), разрабатываемые в ходе решения задач ИЛП, и полученные в ходе этой работы результаты используются для расчета себестоимости продуктов и услуг по ППО.

Создание системы ППО (по аналогии с рассуждениями, приведенными выше), также может иметь инвестиционную часть, связанную с разработкой продуктов по ППО и созданием необходимой для ППО инфраструктуры. При оценке рентабельности такой деятельности и обосновании инвестиционных решений необходимы обоснованные оценки себестоимости таких продуктов и услуг, оценки потенциальных доходов от их продаж и сроки возврата инвестиций.

Отсюда становится видна проблема: высокая эксплуатационная технологичность изделия, рассматриваемая нами как результат деятельности по ИЛП, приводит к снижению потенциальных доходов от ППО. Здесь мы имеем противоречие между конкурентоспособностью изделия, выражаемой через его технические (ЭТХ) и коммерческие характеристики (цена), и конкурентоспособностью бизнеса от ППО, выражаемой через его доходность и окупаемость. Так, более совершенное с точки зрения ЭТХ изделие может иметь более высокую цену, но требовать меньших затрат на техническое облуживание и запасные части в ходе эксплуатации. Соотношение цены продажи и затрат на обслуживание (равно как и других статей затрат, составляющих стоимость ЖЦ) может быть различным для специфических сегментов рынка. Необходимо исходить из необходимости обеспечения баланса интересов заказчика и поставщика (в части расходов первого и доходов второго) в ходе ЖЦ изделия.

В заключение необходимо указать еще один, особый вид послепродажного обслуживания, возникающий после того, как серийный выпуск изделий прекращен, а эксплуатация ранее выпущенных экземпляров продолжается. Здесь возникает ряд особенностей как организационно-технического, так

и финансово-экономического характера, являющихся предметом особого рассмотрения и анализа. В стандарте [10] такой вид деятельности называется Post-Production Support (PPS).

Проблема организации такого обслуживания должна рассматриваться на стадиях проектирования и серийного производства изделия и планироваться с использованием, в том числе, положений стандартов, посвященных вопросам обеспечения готовности изделий в ходе их ЖЦ с учетом морального устаревания их СЧ[12] [35].

Традиционными методами решения такой проблемы являются передача производства запасных частей третьей стороне, создание необходимых запасов или модернизация конструкции, обеспечивающая возможность использования новых изделий, имеющихся на рынке.

4. ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ И ЭТАПЫ ЕГО ПРОВЕДЕНИЯ

4.1. Задачи анализа логистической поддержки

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

Как уже отмечалось, АЛП является многопрофильной инженерной дисциплиной и охватывает следующие основные направления:

- разработка стратегии, планирование и управление процессом АЛП;
- анализ конструкции изделия в процессе ее разработки в целях выработки рекомендаций по обеспечению/повышению надежности, эксплуатационной технологичности и, в конечном счете, общего уровня ЭЭЭ (более подробно — см. подразд. 11.1);
- разработка и анализ вариантов системы технической эксплуатации

[12] В зарубежной литературе используется термин Obsolescence Management.

изделия, обеспечивающих заданные требования в отношении СЖЦ, готовности и ЭЭЭ;

- анализ взаимодействия изделия и СТЭ в целях выявления их сочетания, обеспечивающего установленные требования к ЭЭЭ;
- контроль показателей ЭЭЭ изделия в процессе эксплуатации и выявление факторов, негативно влияющих на этот показатель.

АЛП представляет собой совокупность взаимосвязанных задач, которые можно формализовать, например, в форме таблицы 4–1 [2].

Группа задач	Назначение группы задач	Наименование задачи
100 Планирование АЛП и контроль его проведения	Обеспечение формализованных действий по планированию АЛП и экспертизе программы АЛП и проекта изделия	101 Разработка стратегии АЛП
		102 Разработка плана АЛП
		103 Контроль хода АЛП и соблюдения требований к ЭЭЭ
200 Изучение условий эксплуатации и формирование требований к изделию и СТЭ (требований к ЭЭЭ)	Формирование требований к СТЭ и связанных с ней требований к проекту на основе сравнения с существующими аналогами	201 Изучение условий эксплуатации изделия
		202 Анализ возможностей применения типовых решений в конструкции и СТЭ изделия
		203 Анализ аналогов
		204 Анализ технических решений, направленных на улучшение изделия и СТЭ
		205 ЭЭЭ и определяющие ее параметры изделия и СТЭ
300 Анализ вариантов конструкции изделия, СТЭ и их взаимодействия	Обеспечение рационального баланса затрат и характеристик ЭЭЭ	301 Определение функциональных требований к конструкции изделия (функциональный анализ).
		302 Разработка вариантов концепции и плана ИЛП изделия.
		303 Анализ альтернатив и компромиссов
400 Определение потребностей в логистических ресурсах	Определение требований к ресурсам логистической поддержки (материальным, трудовым и т.д.)	401 Анализ задач обслуживания
		402 Предварительный анализ последствий ввода изделия в эксплуатацию
		403 Анализ способов обеспечения ЭЭЭ изделия в процессе эксплуатации
500 Контроль ЭЭЭ	Проверка выполнения заданных требований и устранение недостатков	501 Контроль ЭЭЭ на этапах разработки и эксплуатации

Табл. 4–1 Перечень задач АЛП

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

- вид проекта (разработка нового изделия, модернизация существующего, разработка новой модификации или исполнения, поставка существующего изделия без изменений);
- сложности изделия;
- требований заказчика;
- возможности влияния результатов АЛП на конструкцию изделия;
- возможности влияния результатов АЛП на структуру и параметры СТЭ;
- наличия и достоверности исходных данных;
- стадии 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 в целях оценки влияния изменений, вносимых в конструкцию, на показатели ЭЭЭ, а также выработки предложений по организации или изменению СТЭ. При этом задачи АЛП выполняются полностью или частично.

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

Следует отметить, что уточнение результатов АЛП для конкретного заказчика возможно только в том случае, если на ранних стадиях разработки изделия был выполнен основной объем базовых работ по АЛП и подготовлена БД АЛП для типового сценария эксплуатации.

Из описаний задач АЛП, приведенных в [2], следует, что практически каждая задача представляет собой трудоемкое исследование процессов, документов, внешних условий, организационных структур и иных сущностей, совокупность которых и образует систему ИЛП. Такое исследование требует участия многих специалистов высокой квалификации: инженеров-аналити-

ков, конструкторов, расчетчиков, специалистов по надежности, по организации эксплуатации и обслуживания, по организации и проведению испытаний, по охране окружающей среды, экономистов и т.д. В ходе АЛП собираются и помещаются в БД АЛП огромные объемы разнообразной, подчас труднодоступной информации (числовой, текстовой, графической, мультимедийной и т.д.). Поэтому к работам по АЛП непременно должны быть привлечены специалисты в области ИТ.

Вследствие сказанного выше решение всего комплекса задач АЛП, описанного в [2], в нынешних российских условиях не представляется возможным. Более того, на практике этот комплекс сужается и конкретизируется. В связи с этим в табл. 4–2 приведен минимальный перечень задач АЛП, рекомендуемый, в частности, для решения на начальных этапах внедрения технологии АЛП. Задачи из этого перечня могут применяться к любым видам техники, допускают четкую формализацию и при наличии соответствующих программных средств могут выполняться в автоматизированном режиме.

В последующем именно задачи из минимального перечня описаны с необходимой степенью подробности.

Порядок расположения задач в таблице соответствует рекомендуемой последовательности их выполнения.

АЛП не может рассматриваться как эпизодическая, разовая и притом факультативная деятельность. Напротив, АЛП есть неотъемлемая часть процессов разработки, изготовления и эксплуатации изделия. Место АЛП в проектировании (разработке) изделия иллюстрируется схемой, приведенной на рис. 4–1. Из схемы видно, что задачи АЛП связаны с процессами проектирования многообразными прямыми и обратными связями, что подчеркивает значимость АЛП для принятия конструкторских решений и итеративный характер решаемых задач. В связи с этим предприятие, имеющее серьезные намерения в отношении внедрения ИЛП и АЛП, обязано принять меры по организации соответствующих работ, создать или приобрести средства методического, программного и технического обеспечения.

В целом система задач АЛП и последовательность их выполнения построены так, чтобы снизить вероятность неудачных проектных решений, влияющих на эффективность эксплуатации изделия. Подобно тому, как международные стандарты серии ИСО 9000 направлены на построение системы менеджмента качества, обеспечивающей, в частности, возможность «адекватно демонстрировать потребителю способность управлять качеством», технологии и стандарты АЛП направлены на то, чтобы адекватно доказать

заказчику, что поставщиком приняты все меры, обеспечивающие достижение заданных характеристик надежности и эксплуатационной (ремонтной) технологичности.

№ п/п	Наименование задачи	Относится к группе задач по таблице 4–1
1	Разработка стратегии АЛП	100
2	Разработка и согласование с участниками работ плана АЛП	100
3	Создание проекта АЛП. Описание сценария использования изделия по назначению	200
4	Анализ конструктивно-схемного исполнения изделия. Создание логистической структуры изделия (ЛСИ)	200
5	Функциональный анализ изделия. Создание логистической структуры функций (ЛСФ). Установление связей между элементами ЛСФ и ЛСИ	300
6	Подготовка и ввод в БД АЛП базовых параметров изделия	300
7	АВПО	300
8	Формирование требований к ТО, обеспечивающему заданную надежность. Определение рекомендуемой периодичности планового ТО изделия	300
9	Разработка состава, технологии и условий выполнения работ по ТО изделия	400
10	Оценка потребностей в запчастях и расходных материалах на заданный период эксплуатации. Подготовка данных для формирования перечней, каталогов запчастей и расходных материалов	400
11	Оценка потребностей в средствах обслуживания и контроля, инструменте и принадлежностях	400
12	Подготовка исходных материалов для разработки ЭД на изделие	
13	Оценка затрат на ТО и коэффициента готовности изделия в заданных условиях эксплуатации. Прогнозная оценка показателей ЭЭЭ	200
14	Оценка затрат на ТО, коэффициента готовности изделия и показателей ЭЭЭ изделия по результатам эксплуатации	500
15	Разработка и согласование с участниками работ плана ИЛП	300

Табл. 4–2 Минимальный перечень задач АЛП

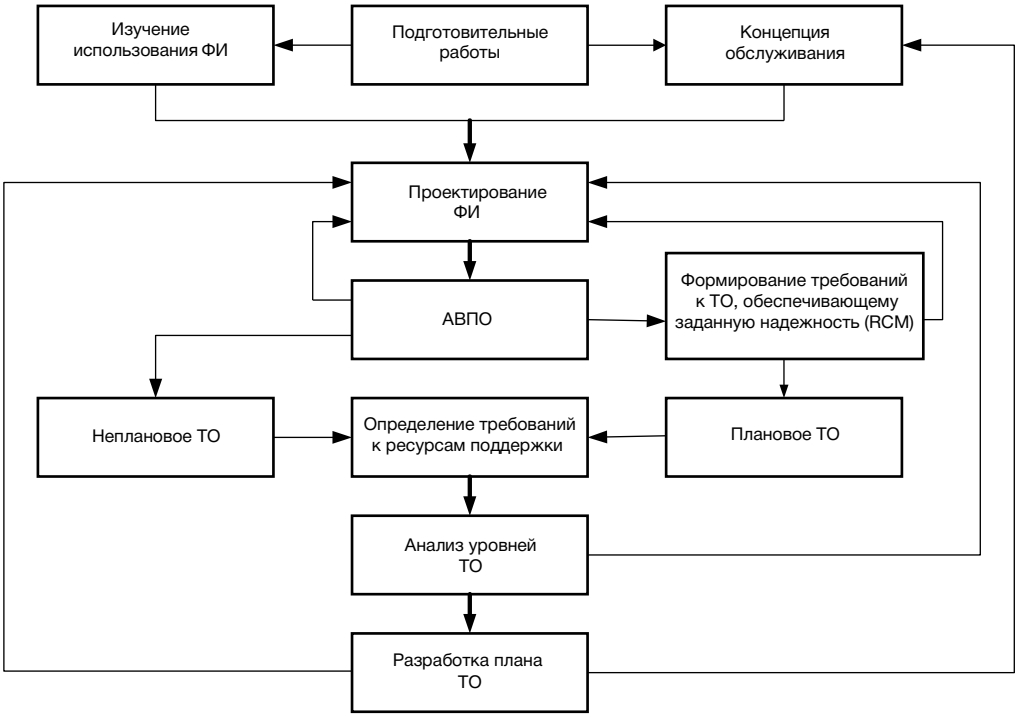


Рис. 4–1 АЛП в процессе проектирования изделия

4.2. Основные этапы АЛП и их участники

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 принятых решений по результатам фактической эксплуатации изделия и СТЭ.

Еще раз укажем, что такое деление условно, т.к. процесс АЛП является итеративным, и на любом этапе можно вносить необходимые изменения в исходные данные и уточнять результаты предыдущего этапа.

В зависимости от типа проекта, сложности изделия, стадии ЖЦ изделия

исполнителями задач АЛП могут быть разработчик (главный подрядчик), разработчики (поставщики, субподрядчики) комплектующих и материалов, а также инженерный персонал заказчика. Часть задач выполняется объединенными рабочими группами, включающими представителей заказчика и главного подрядчика. Изделие, разрабатываемое главным подрядчиком и являющееся целью всего проекта и конечным продуктом для эксплуатанта, в контексте ИЛП называется финальным изделием (ФИ). Каждый субподрядчик проводит АЛП для своего изделия, являющегося СЧ ФИ.

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

Подрядчик, как правило, выполняет следующие функции АЛП:

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

Заказчик, как правило, выполняет следующие функции АЛП:

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

- контроль выполнения АЛП и оценка его результатов.

Заказчик в значительной степени влияет на формирование условий будущей эксплуатации и описание имеющихся средств эксплуатации изделия. В зарубежной практике набор сведений такого рода составляют на основе анализа возможных сценариев применения изделия по назначению[13]. В результате формируются технические и экономические данные по организации эксплуатации изделия и требования к функционированию изделия, в том числе:

- сценарии, частота, средняя продолжительность цикла использования нового изделия по назначению[14];
- взаимодействие с другими системами;
- среда функционирования;
- имеющиеся трудовые ресурсы и ограничения и т. д.

Эта информация в дальнейшем используется при решении большинства задач, перечисленных в табл. 4–2.

5. ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

5.1. Методический подход

Современная методология АЛП сложной техники весьма характерна для авиации, поэтому методологические аспекты АЛП могут быть рассмотрены именно на примере АТ. Применительно к АТ АЛП проводится для организации деятельности по поддержанию летной годности ВС наилучшим образом (рис. 5–1).

Эта деятельность предусматривает выполнение при эксплуатации ВС комплекса работ по ТО, а также других работ, своевременное и качественное проведение которых гарантирует, что в любой момент срока службы ВС будут обеспечены как соответствие типовой конструкции ВС действующим нормам, так и соответствие конструкции конкретного экземпляра ВС его типовой конструкции (сертификату типа), а также готовность этого экземпляра ВС к безопасному выполнению полетов [36].

---

[13] По терминологии, принятой в [2], такой анализ назвается «use study» или «изучение использования» в буквальном переводе.

[14] По терминологии, принятой в [2], такой цикл использования изделия называется «миссия».



Рис. 5–1 Понятие летной годности

Общая идея методологии АЛП предполагает управление режимами ТО ВС путем планирования работ по ТО на основе результатов анализа надежности и отказобезопасности с использованием специальных методик обоснования состава и периодичности работ по ТО, а также — технологических указаний по выполнению ТО и МТО данной деятельности. Одним из важных результатов АЛП является совокупность данных, именуемая «указания по поддержанию летной годности» (Instructions for Continuing Airworthiness в международной практике). Эти указания определяют режимы ТО, подлежат утверждению в рамках обязательной сертификации типовой конструкции АТ (или изменений к ней) и призваны обеспечить поддержание требуемого уровня летной годности АТ при эксплуатации.

Принципы обеспечения летной годности в основном связаны с предупреждением и (или) устранением отказов АТ (рис. 5–2).

Для обоснования системы используемых допущений и применяемых математических моделей рассмотрим природу отказов АТ. В большинстве случаев отказы на борту ВС неизбежны. Все возможные отказы ВС можно разделить на две группы:

- **явные** для летного экипажа при выполнении им своих обычных обязанностей;
- **скрытые**, то есть неявные для летного экипажа в полете.

Скрытые отказы должны своевременно выявляться и устраняться в ходе плановых работ по ТО. Периодичность работ должна быть оптимизирована для достижения минимальных затрат на ТО при обеспечении приемлемых вероятностей отказов.

В группе явных отказов любой опасный единичный отказ должен быть в принципе исключен, либо — при отсутствии технической возможности — 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 установлены работы по их выявлению и устранению, и периодичность этих работ должна быть оптимизирована. Эти работы имеют ту же физическую природу, что и работы, включенные в требования к плановому ТО, но они образуют отдельный документ — Типовой минимальный перечень оборудования ВС (MMEL в международной практике), подлежащий утверждению уполномоченным государственным органом.

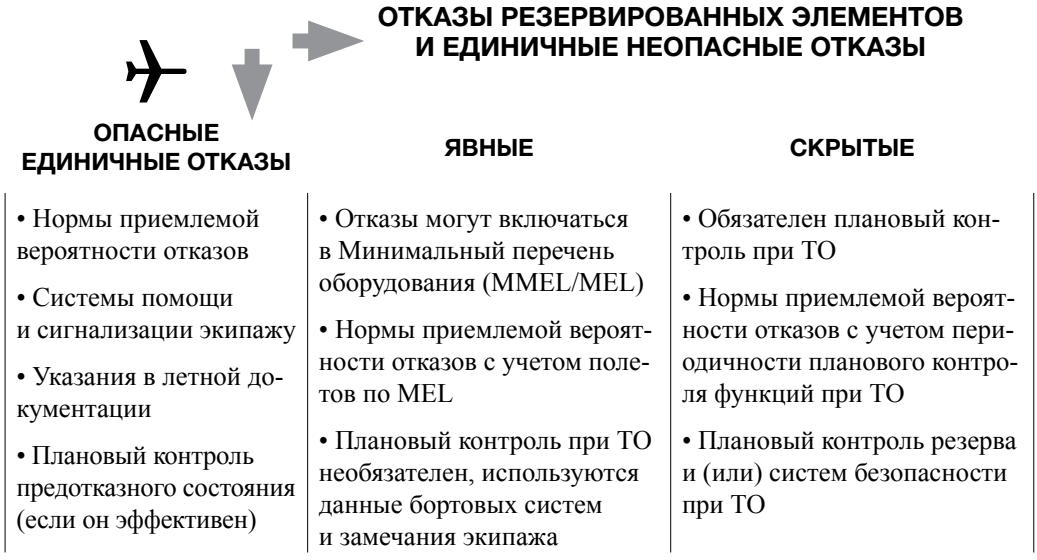


Рис. 5–2 Принципы обеспечения летной годности

Основой для такой общности в природе скрытых и явных отказов в резервированных системах является общность в политике их восстановления. Для скрытых отказов период восстановления равен периодичности плановых проверок системы при ТО с последующим устранением отказов. Для явных же отказов

(согласно ТМПО) эта периодичность равна разрешенному времени полетов с отказавшим элементом (при условии, что этот отказ выявлен во время полета).

При анализе отказов резервированных элементов конструктор ВС всегда имеет выбор. Иногда более эффективно не выявлять такой отказ, т.е. не загружать экипаж и не затрачивать средства на системы сигнализации об отказе, а предусмотреть плановые работы по контролю бортовых систем при ТО. В других случаях более предпочтительным является бортовой контроль отказов в полете — тогда отказы резервированных элементов должны быть охвачены процедурами ТМПО.

Исходные данные для анализа и планирования ТО кроме общих технических данных о конструкции и работе систем ВС включают результаты анализа надежности и последствий возможных отказов: виды отказов систем и их элементов, средние вероятности их возникновения и влияние отказов на применение ВС.

В основе рассматриваемой методологии лежит модель бортовой системы ВС, которую принято называть функциональной системой. В работах [37], [38], [39], [40] обоснована следующая математическая модель ФС для решения задач АЛП в отношении обеспечения и поддержания летной годности, предусматривающая скоординированные работы одновременно по всем ФС ВС с поэтапным обобщением результатов и принятием решений о соответствии конструкции ВС заданным требованиям.

Объектом анализа является ФС, состоящая из $Г$ элементов (агрегатов, блоков, модулей). Пусть каждый такой γ элемент ($\gamma = 1, Г$) имеет ограниченное множество видов отказов $\beta = 1, B_\gamma$. Каждый из общего числа $B = \sum B_\gamma$ возможных видов отказов элементов, один или в сочетании с другими отказами элементов, приводит к определенному виду полностью или частично неработоспособного состояния (отказа) ФС. Множество видов отказов ФС $\alpha = 1, A$ ограничено и входящие в него виды отказов несовместны.

Контроль технического состояния элементов и ФС в целом осуществляется в полете (экипажем и бортовыми средствами контроля) и на земле при выполнении ТО. Устранение выявленных отказов осуществляется, как правило, при ТО.

Рассматриваются следующие основные подмножества множества работ по ТО:

- профилактические работы $W_{пр}$, предназначенные для поддержания режимов и (или) условий функционирования элемента (смазка, чистка, мойка, заправка и иное технологическое обслуживание);
- плановые работы W_β по контролю работоспособности ФС или ее элементов (установление только факта наличия или отсутствия конкретного отказа);

- плановые работы по контролю исправности с выявлением предотказных состояний работоспособных (не отказавших) элементов $W_{\text{пр.}\beta}$ по соответствующим видам их отказов;
- восстановительные работы, как плановые $W_{\text{в}}$, так и неплановые $W_{\text{н}}$ при достижении элементом одного из видов предельного состояния: выработки ресурса, отказа или предотказного состояния.

Существующий уровень развития бортовых и наземных средств контроля позволяет сделать допущение о пренебрежимо малой вероятности $P_{\text{н}}$ необнаружения отказа элемента или ФС в целом (при их полной или частичной неработоспособности), если данный вид отказа охвачен контролем. При таком допущении можно говорить о приемлемой инструментальной достоверности контроля в случае малого значения также и вероятности $P_{\text{л}}$ ложной информации об отказе (при его отсутствии), т.е. целесообразно оценить и возможность учета в математической модели параметра $P_{\text{л}}$, имея при этом в виду его независимость от системы ТО.

Влияние величины $P_{\text{л}}$ сказывается только на экономичности эксплуатации и не связано с безопасностью полетов. Затраты на устранение «ложных отказов» обратно пропорциональны периодичности применения средств контроля и их можно считать пренебрежимо малыми по сравнению с плановыми затратами на ТО с учетом высокого уровня эксплуатационной технологичности современной АТ, обеспечивающего низкую среднюю трудоемкость восстановления ВС (не более 10 чел.-ч), и надежности средств контроля, обеспечивающего малое значение $P_{\text{л}}$ (не выше $10^{-4}…10^{-3}$). Учитывая это, правомерно считать инструментальную достоверность контроля близкой к единице.

Резюмируя, можно сформулировать основные допущения принятой математической модели следующим образом:

- отказы элементов ФС происходят в полете, выявляются в полете и при ТО на земле, а устраняются только при ТО;
- интенсивности переходов ФС из-за отказов из одного состояния в другое постоянны, т.е. не зависят от момента времени, в который произошел переход;
- если в момент времени $\tau = t$ ФС перешла в состояние H_z и при дальнейшей ее работе новых отказов элементов не возникает, то момент времени $\tau_{z,\,t}$, в который произойдет восстановление ФС, находящейся в состоянии H_z, определяется соотношением

$$\tau_{z,\,t} = ([t / \tau_z] + 1)\,\tau_z, \qquad (5–1)$$

где $[t / \tau_z]$ — целая часть числа t / τ_z;

- периодичности τ_z и $\tau_{z,\beta}$ для состояний H_z и $H_{z,\beta}$, в последнее из которых ФС переходит из состояния H_z при возникновении β-вида отказа элемента, связаны соотношением

$$\tau_z = n_{z,\beta}\,\tau_z, \qquad (5–2)$$

где $n_{z,\beta}$ — натуральное число.

Первые два положения необходимы для использования в математической модели теории марковских однородных процессов и являются общепринятыми при анализе безотказности ФС на этапах ЖЦ АТ.

Третье и четвертое положения следуют из известного условия кратности более трудоемких видов ТО менее трудоемким, а также допущения о том, что вероятность необнаружения отказа в случае охвата его плановым целенаправленным контролем близка к нулю. Эти допущения введены как альтернатива часто применяемому разными авторами допущению об обязательной исправности ФС перед вылетом.

Рассмотренные принципы и допущения образуют методическую базу для управления режимами ТО в рамках АЛП АТ и апробированы как в отечественной авиации, так и за рубежом (см., например, [36], [41], [42], [38], [40]).

5.2. Исходные данные

Основные группы сведений, являющиеся исходными данными для АЛП, включают:

а) 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 от средств контроля (перечень контролируемых параметров);

б) представляемые подразделениями анализа надежности и отказобезопасности результаты анализа безотказности ФС и последствий возможных видов отказов, в том числе: 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 с вероятностями отказов ее элементов, а также нормативные значения вероятностей для ожидаемых отказов ФС в целом;

в) 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;

г) представляемые подразделениями общего проектирования сведения о назначении и схеме (сценарии) применения ВС, определяемых видами и продолжительностью типовых полетов, числом полетов в летный день и т. п.;

д) принятая при формировании требований к плановому ТО структура (номенклатура и периодичность видов) ТО;

е) прогнозируемые характеристики эксплуатационной и ремонтной технологичности ВС, его ФС и их элементов (представляемые в составе исходных данных, см. подпункт «а») 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 перечней всех возможных отказов с указанием степени опасности (вида особой ситуации в полете при проявлении данного вида отказа) и влияния на регулярность полетов. Причины отказов ФС устанавливаются на основании рассмотрения возможных видов отказов элементов ФС. При подготовке исходных данных 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 ФС:

- 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 непосредственные взаимосвязи (например, части проводки управления) и одинаковые виды их отказов (например, обрыв) на определенных этапах полета приводят к одинаковым (по сути и по последствиям) видам отказов ФС в целом.

В качестве исходных данных для разработки плана ТО принимаются 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).

Указывается также влияние отказа на регулярность полетов (приводит ли отказ к прерванному взлету или вынужденной посадке).

Для каждого вида отказа ФС из подготовленного в процессе АВПО полного перечня отказов ФС формируется следующий набор элементов данных:

- обозначение вида отказа ФС в соответствии с принятой для ВС системой обозначения отказов ФС;
- вид отказа ФС (наименование отказа с расшифровкой, при необходимости, его описания);
- нормативное значение вероятности вида отказа ФС;
- отнесение вида отказа ФС к числу «явных» или «скрытых»;
- степень опасности отказа ФС (вид особой ситуации при проявлении данного вида отказа — КС/АС/СС/УУП/БП);
- влияние вида отказа ФС на выполнение полетного задания (да/нет);
- влияние вида отказа ФС на регулярность вылетов — задержка по техническим причинам (да/нет);
- выявление вида отказа ФС при ТО на основе информации, регистрируемой БСК (да/нет);
- выявление вида отказа ФС при ТО наземным персоналом (да/нет).

Для каждого элемента каждой из ФС формируется следующий набор данных:

- код элемента ФС (в соответствии с принятой в проекте системой кодирования);
- обозначение элемента ФС;
- наименование ФС;
- принятый в проекте аналог элемента ФС (если принят);
- число элементов в ФС.

Для каждого вида отказа элемента ФС формируется следующий набор данных:

- условное обозначение вида отказа элемента ФС в соответствии с принятой в проекте системой обозначения отказов элементов;
- наименование вида отказа элемента ФС;
- категория вида отказа элемента ФС (отказ механической или немеханической природы);
- описание вида отказа элемента ФС;
- вероятность вида отказа элемента ФС;
- зависимость частоты вида отказа элемента ФС от наработки (да/нет), которая необходима для определения возможности применения ТЭП

и ТЭР, так как эти методы ТЭ целесообразны только в случае существенной зависимости уровня безотказности элемента от его наработки;

- возможность контроля предотказного состояния элемента ФС для данного вида отказа (да/нет);
- параметры (если они есть), определяющие возможность контроля предотказного состояния элемента ФС для данного вида отказа (справочная описательная информация);
- нормы (если они есть) параметров, определяющих возможность контроля предотказного состояния элемента ФС для данного вида отказа (справочная описательная информация).

В качестве характеристики надежности элементов используется средняя вероятность возникновения отказа за 1 ч полета (интенсивность или параметр потока отказов). При определении зависимости интенсивности видов отказов элемента от наработки можно руководствоваться следующим правилом: если за период, соответствующей проектному ресурсу ВС, интенсивность отказов возрастает не более чем в 2–3 раза, то зависимость безотказности от наработки можно считать несущественной.

Оценка вероятности отказов дается в виде точечной оценки вероятности или диапазона ожидаемого значения этой величины (ПНВ, КМВ и т. д.).

Для каждого вида отказа ФС из полного перечня отказов ФС формируется функция отказности (уравнение отказности) на основе анализа причин отказов ФС и перечня видов отказов элементов. Функции отказности определяют зависимости вероятностей видов отказов ФС от вероятностей видов отказов ее элементов за типовой полет заданной продолжительности, определенные при условии, что перед вылетом все элементы ФС работоспособны. Эти зависимости определяются с помощью принятых в отрасли методов количественного анализа безотказности ФС.

Требования к значениям вероятностей отказов ФС в целом за полет (или на 1 ч полета) устанавливаются подразделениями надежности и отказобезопасности, 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 отказов.

Характеристики эксплуатационной (ремонтной) технологичности необходимы для выбора эффективных профилактических и восстановительных

работ по ТО, оценки приспособленности конструкции к их выполнению и обоснования доработок, направленных на обеспечение возможности выполнения ТО. Эти данные должны также обеспечивать оценку трудозатрат на плановый контроль состояния резервированных элементов и т. п., что необходимо при выборе рациональной периодичности ТО и формировании ТМПО.

5.3. Информационная модель АЛП

При проведении АЛП осуществляется взаимодействие многих организаций и средств автоматизированной обработки данных, поэтому вся информация (как исходные данные, так и результаты анализа) должна быть представлена в стандартизованном виде. Для этого необходима интегрированная информационная модель, описывающая все элементы данных, относящиеся к задачам АЛП, их атрибуты и отношения (связи) между ними. На основе этой информационной модели затем разрабатывают ПО БД АЛП и прикладные программы для решения задач АЛП.

Описываемая ниже информационная модель создана в результате изучения и критического осмысления существующих вариантов информационных моделей, изложенных в ряде нормативных документов. При этом модель постоянно развивается для отображения новых потребностей разработчиков при решении задач АЛП.

Существующие стандарты и спецификации [1], [2], [19], [43], [44] в той или иной мере затрагивают вопросы информационного сопровождения процессов ИЛП и содержат сведения о рекомендуемых для этого информационных моделях. Ниже рассматриваются некоторые положения указанных нормативных документов, относящиеся к информационным моделям АЛП.

В стандарте [2] для БД АЛП была принята реляционная модель данных. Основанная на ней информационная модель содержит 108 реляционных таблиц, разбитых на 11 групп. Связь между таблицами осуществляется посредством ключевых полей. Для представления данных в БД АЛП при выполнении различных видов анализа используются понятия «Элемент данных» (Data Element) и «Определение элемента данных» (DED — Data Element Definition). В стандарте приводится словарь ЭЛД, общее число которых более 600. Благодаря такому обилию ЭЛД и множеству таблиц информационная модель позволяет отобразить и хранить в БД АЛП все данные, относящиеся к изделию, его структурам, СЧ (в том числе для различных конфигураций)

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

Иными словами, информационная модель стандарта [2] с избытком покрывает все информационные потребности АЛП и ИЛП в целом. Однако это, на первый взгляд, положительное свойство модели одновременно является и ее недостатком, поскольку многие данные в ней являются избыточными. Кроме того, информационной модели [2] присущ и органический недостаток, связанный с применением реляционной модели данных.

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

В РБД объекты реального мира представляются как структуры, состоящие из наборов элементарных типов данных (в нашем случае — ЭЛД). Такое представление имеет понятную интерпретацию — строка в плоской таблице. Если специфика предметной области позволяет работать с такого рода представлением реальных объектов, то РБД решают свои задачи. Однако описание в виде набора плоских таблиц во многих случаях не отражает внутренней структуры объекта анализа. Искусственность такого описания становится препятствием и ведет к неприемлемому увеличению числа таблиц.

Именно такая ситуация имеет место с реляционной моделью данных, принятой в БД АЛП по стандарту [2]. Иными словами, основной недостаток реляционной модели заключается в чрезмерной абстракции реального объекта, что ведет к потере семантики. Кроме того, имеет место и важная технологическая проблема, поскольку программное обеспечение РБД обычно оказывается жестко завязанным на структуру реляционных таблиц.

В отличие от РБД ООБД имеют простую и естественную связь с предметной областью, наглядно представляя ее структуру и состав. Применительно к такой сложной неоднородной предметной области, какой являются ИЛП в целом и АЛП в частности, использование ООБД должно упростить процессы создания БД, внесения изменений в структуру и состав данных

без переделки ПО и положительно сказаться на понимании пользователями принципов функционирования программ работы с данными.

Можно предположить, что подобные соображения привели к тому, что в более поздних по сравнению с [2] нормативных документах приняты объектно-ориентированные модели данных. Так, например, объектно-ориентированная модель данных положена в основу информационной модели, используемой в спецификации ASD S1000D [19]. Эта спецификация регламентирует структуру общей базы исходных данных (CSDB — Common Source Data Base), используемой для подготовки эксплуатационной документации. Основной информационной единицей — информационным объектом общей базы исходных данных (и формируемой на ее основе документации) является модуль данных (МД). Совокупность определенным образом отобранных и структурированных МД образует составной электронный документ.

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

Международная спецификация ASD S2000M [44] описывает процессы и процедуры МТО в рамках поддержки ЖЦ изделий военного назначения. Спецификация не описывает какой-либо информационной модели, а регламентирует лишь номенклатуру необходимых данных, оставляя выбор способа формирования и хранения информации на усмотрения пользователя. К формированию информационной модели АЛП имеет отношение первый раздел S2000M — «Начальное МТО», который описывает порядок сбора, представления и обмена данными о начальном МТО.

Для каждого изделия, включаемого в перечень начального МТО, определяется набор данных, представляющий собой совокупность ЭЛД. Часть ЭЛД является обязательной для всех изделий, часть необходима только для изделий, рекомендованных к поставке в качестве запчастей, часть — для изделий, удовлетворяющих какому-либо условию. ЭЛД представляются в таблицах, форма которых регламентирована спецификацией. Все элементы данных, используемые в [44], описаны в отдельном словаре данных.

Спецификация NATO Product Data Model [43] представляет собой концептуальную модель инженерных данных, предназначенную для информационного сопровождения ЖЦ продукции военного назначения. NPDM построена на основе идеологии и интегрированных ресурсов, регламентированных в серии стандартов ИСО 10303 (STEP), и содержит понятия (сущности) и связи между ними, относящиеся к задачам ИЛП. Модель NPDM включает набор схем, использующих специальный язык EXPRESS-G, предназначенный для описания объектно-ориентированных моделей данных [45].

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

NPDM отображает предполагаемые условия использования (usage_scenario) и требуемые технические характеристики (specification) изделия применительно к конкретным экземплярам или партиям изделий (product_instance). Далее в модели описываются возможные проблемы (anomaly), т.е. нежелательные события (отказы, повреждения и т.д.), которые могут иметь место на стадии эксплуатации. Определен состав плановых работ (task) и ресурсы (resource), необходимые для предотвращения или минимизации вероятности нежелательных событий и для ликвидации их последствий. Для планирования деятельности на стадии эксплуатации в модели предусмотрены данные мониторинга состояния объекта в эксплуатации (usage_status, maintenance_status).

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

Ниже описывается усовершенствованная интегрированная информационная модель (ИИМ) АЛП, ориентированная на работу с объектами АТ. Модель является объектно-ориентированной и состоит из ряда схем, разработанных, как и схемы NPDM, с использованием языка EXPRESS-G. На рис. 5–3 — 5–10 представлены основные схемы с набором объектов и атрибутов, необходимых для решения задач АЛП, в том числе для проведения расчетов и получения необходимых отчетов.

При описании модели данных используется упрощенная нотация EXPRESS-G согласно ГОСТ Р ИСО 10303-11 [45]. Использованные обозначения приведены в табл. 5–1.

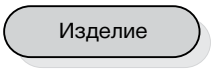
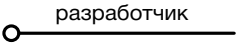
Обозначение	Описание	Значение
	Прямоугольник с текстом	Объект [Entity]. Текст — наименование объекта
	Прямоугольник со скругленными углами	Ссылка на объект [Reference], сам объект определяется на другом рисунке. Текст — наименование объекта
	Прямоугольник из пунктирных линий с текстом и вертикальной линией слева	Выбираемый тип данных [Select]. Атрибуты типа данных могут быть ссылками на объекты разных типов
	Тонкая линия с кругом на конце и текстом	Атрибут [Attribute]. Линия соединяет объект и тип атрибута. Круг указывает на тип атрибута, надпись на линии — наименование атрибута
	Толстая линия с кругом	Наследование [Inheritance]. Круг указывает на потомка

Табл. 5–1 Обозначения, используемые в нотации Express-G

Из анализа задач АЛП и нормативных документов следует, что в ИИМ для рассматриваемого изделия должны присутствовать наборы объектов, описывающих:

- проект АЛП и сценарии использования финального изделия;
- конфигурацию (модификацию и исполнение) ФИ;
- логистические структуры изделия;
- виды отказов ФИ и его СЧ, взаимосвязи между отказами;
- технологию ТО и необходимые для этого материальные и человеческие ресурсы;
- данные об эксплуатации экземпляров ФИ.

Данные о проекте АЛП

Для описания системы эксплуатации заказчика и параметров предпо-

лагаемого сценария использования ФИ по назначению используется объект «ПРОЕКТ_АЛП_СО СЦЕНАРИЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ» (рис. 5–3)[15]. При описании проекта АЛП указываются заказчик ФИ, число ФИ, эксплуатируемых по данному сценарию, продолжительность начального МТО, стоимость помещений для хранения запаса и т.д.

С проектом АЛП и сценарием использования связан объект «КОНФИГУРАЦИЯ_ФИ». Можно указать код, наименование и описание конфигурации, а также диапазон серийных номеров экземпляров ФИ.

Для описания средней наработки ФИ используется объект «НАРАБОТКА». Атрибуты «*Средняя наработка в год*» и «*Средняя наработка за миссию*» позволяют задать средний налет ФИ в год и среднюю продолжительность полета. Для описания единиц измерения наработки используется объект «ЕДИНИЦА_ИЗМЕРЕНИЯ».

Событие использования по назначению (например, полет) описывается с помощью объекта «МИССИЯ». Миссия может состоять из нескольких этапов или фаз (объект «ФАЗА_МИССИИ»). Продолжительность этапа (фазы) задается в процентах от продолжительности миссии и описывается атрибутом «Доля фазы миссии».

Объект «СТАНДАРТНЫЙ_ПЕРИОД_ОБСЛУЖИВАНИЯ» используется для указания наименования и периодичности выполнения планового вида ТО ФИ.

Данные о логистической структуре

Основным в интегрированной логистической модели является объект «ЛОГИСТИЧЕСКИЙ_ЭЛЕМЕНТ», который используется для структурирования и анализа ФИ (рис. 5–4). Для описания связей элементов структуры служит атрибут «*входит в состав*». В модели выделены два подтипа данного объекта: «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ» предназначенный для построения логистической структуры изделия (ЛСИ), и «ЭЛЕМЕНТ_ЛСФ», предназначенный для построения логистической структуры функций (ЛСФ). Более подробно вопросы разработки ЛСФ и ЛСИ рассмотрены в разд. 7.

На начальном этапе АЛП разработчики оперируют функциональными требованиями к изделию, для описания которых используется объект «ЭЛЕМЕНТ_ЛСФ». Каждый экземпляр объекта «ЭЛЕМЕНТ_ЛСФ» соответствует определенной функции изделия.

---

[15] На этом и последующем рисунках атрибут R/E означает, что предусмотрено одновременное хранение двух вариантов значений (на русском и английском языках).

На этапах разработки эскизного и технического проекта формируется конструкторская структура изделия, удовлетворяющая предъявленным функциональным и другим требованиям. Для этих целей строится ЛСИ, в которую включаются все элементы из конструкторской структуры, значимые для обслуживания изделия в процессе эксплуатации. В модели выделены три подтипа объекта «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ»: объекты «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ-ФИ», «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ-СИСТЕМА» и «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ-ЭЛЕМЕНТ-КАНДИДАТ».

Объект «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ-ФИ» описывает ФИ в целом. При ведении единой БД АЛП для проектов головного разработчика и «смежников» (предприятий — разработчиков готовых изделий) для идентификации экземпляров объекта «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ-ФИ», соответствующих составным частям ФИ, предназначен атрибут «тип ФИ».

С элементом ЛСИ-ФИ связан объект «КОНФИГУРАЦИЯ_ФИ», который описывает анализируемые конфигурации ФИ. С каждым экземпляром объекта «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ-ФИ» может быть связано несколько экземпляров объекта «КОНФИГУРАЦИЯ_ФИ». Для элемента «ЛСИ-ФИ» можно указать код-акроним ФИ (КАФИ), наименование и описание, а также описать систему кодирования логистических элементов (структуру ЛКН).

Объект «*ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ-СИСТЕМА»* используется для описания элементов ЛСИ, соответствующих системам, подсистемам и под-подсистемам ФИ. Для идентификации экземпляров объекта «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ-СИСТЕМА», соответствующих основным системам ФИ, предназначен атрибут «*Верхний анализируемый уровень (ВАУ)»*.

Объект «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ-ЭЛЕМЕНТ-КАНДИДАТ» описывает элементы конструкторской структуры, включенные в перечень элементов-кандидатов.

В ходе функционального анализа выполняется установление соответствий между элементами ЛСФ и ЛСИ. Для этого используется объект «СВЯЗЬ_МЕЖДУ_ЭЛЕМЕНТАМИ». Связи между элементами этих структур позволяют ответить на вопрос, какие элементы изделия отвечают за выполнение каждой функции. Кроме того, эта информация необходима для оценки функциональной полноты конструкции и проведения АВПО.

Параметры логистических элементов могут иметь разные значения в зависимости от анализируемой конфигурации ФИ или проекта АЛП. Для их описания используют специальные объекты, описанные ниже.

Объект «ПАРАМЕТРЫ_ЗАВИСЯЩИЕ_ОТ_КОНФИГУРАЦИИ_ФИ» описывает параметры логистического элемента для разных конфигураций

ФИ: параметры надежности (атрибуты «*интенсивность отказов*», «*средняя наработка на отказ*»), код стандартной системы нумерации (атрибут «*SNS*»), категория тяжести последствий отказа (атрибут «*КТПО*») и др. С каждым логистическим элементом могут быть связаны показатели надежности. Их значения могут быть получены путем сравнения с аналогами, из расчетов, испытаний или реальной эксплуатации изделия. Для документирования этих параметров используют атрибуты «*интенсивность отказов*» и «*средняя наработка на отказ*», каждый из которых может иметь три варианта значений: назначенное, расчетное и фактическое.

Объект «ПАРАМЕТРЫ_ЗАВИСЯЩИЕ_ОТ_ПРОЕКТА_АЛП» описывает параметры логистического элемента, значения которых могут различаться для разных проектов АЛП (с помощью атрибута «*для проекта АЛП*»): число критичности элемента, категорию важности и долю времени работы элемента. Число критичности и категория важности определяются в результате расчетов в результате АЛП.

Атрибут «*Компонент*» объекта» «ПАРАМЕТРЫ_ЭЛЕМЕНТА-КАНДИДАТА_ЗАВИСЯЩИЕ_ОТ_КОНФИГУРАЦИИ» позволяет указать изделие (элемент конструкторской структуры), соответствующее логистическому элементу. Элементы конструкторской структуры описываются объектом «ИЗДЕЛИЕ». Таким образом, один экземпляр объекта «ИЗДЕЛИЕ» может быть сопоставлен с несколькими элементами ЛСИ.

В процессе АЛП выделяются элементы, которые могут подвергаться заменам при обслуживании. С помощью расчетов определяются рекомендуемая периодичность обслуживания/замены элемента (атрибут «*рекомендуемый период обслуживания*» объекта «ПАРАМЕТЫ_LRU/SRU_ЗАВИСЯЩИЕ_ОТ_КОНФИГУРАЦИИ») и потребность в запчастях в процессе эксплуатации (описывается объектом «ИЗДЕЛИЕ_В_ПРОЕКТЕ».

Специальный атрибут «*тип…*» объекта «ПАРАМЕТРЫ_ЭЛЕМЕНТА-КАНДИДАТА_ЗАВИСЯЩИЕ_ОТ_КОНФИГУРАЦИИ_ФИ» позволяет указать, может ли замена осуществляться силами экипажа или технического персонала или замены должна проводиться только в специальной ремонтной организации (на заводе). Атрибут «*рекомендуется в качестве запчасти*» позволяет указать элементы логистической структуры, соответствующие изделиям (элементам конструкторской структуры), поставляемым в качестве запасных частей.

Объект «ПАРАМЕТРЫ_ЗАВИСЯЩИЕ_ОТ_ПРОЕКТА_АЛП» описывает параметры логистических элементов, значения которых определяются инди-

видуально для каждого проекта АЛП (атрибут «*для проекта АЛП*»). К таким параметрам относятся результаты оценки критичности возможных отказов логистических элементов, а также продолжительность работы элемента за время миссии (атрибут «*доля времени работы в %*»).

Объект «ПАРАМЕТРЫ_ЭЛЕМЕНТА_ЛСИ_ЗАВИСЯЩИЕ_ОТ_ПРОЕКТА_АЛП» содержит параметры элементов ЛСИ, такие как наработка основных систем и показатели эксплуатационной технологичности (продолжительность, трудоемкость, удельные продолжительность и трудоемкость планового и непланового ТО, а также затраты на ТО ФС).

Данные для анализа видов и последствий отказов

Объект «ВИД_ОТКАЗА» (рис. 5–5) служит для описания возможных видов отказов изделий. Атрибуты объекта «ВИД_ОТКАЗА» предназначены для документирования результатов анализа видов и последствий отказов. В качестве идентифицирующего атрибута выбран атрибут «*обозначение вида отказа*». Для каждого вида отказа можно указать параметры надежности (назначенные, расчетные и фактические), категорию последствий и другие параметры, характеризующие данный вид отказа.

Причинно-следственная связь между отказами элементов конструкции (ЛСИ) и функциональных элементов (ЛСФ) изделия описывается объектом «ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННАЯ_СВЯЗЬ_ МЕЖДУ_ВИДАМИ_ОТКАЗОВ». В качестве причины отказа может быть выбран вид отказа элемента, который приводит к данному отказу, или первичная причина отказа (например, «выбран материал с недостаточной прочностью»), описываемая объектом «ПЕРВИЧНАЯ_ПРИЧИНА».

Если элемент ЛСИ является неразукрупняемым изделием (деталь, узел нижнего уровня декомпозиции, не подлежащий более глубокому анализу), то для его видов отказов могут быть указаны первичные причины.

Примечание. Атрибут «справочник по системе» представляет собой ссылку на перечень кодов (действий, сообщений, причин отказов и т.д.) для конкретной ФС ФИ).

Состав и содержание работ планового ТО

МД для описания состава и содержания работ планового ТО представлены на рис. 5–6 и рис. 5–7. Состав необходимых работ формируется на основе АВПО и дополняется расчетом рекомендуемой периодичности ТО.

Объект «НАБОР_РАБОТ» описывает совокупность работ, выполняемых в определенных условиях. Например, для ВС это может быть предполетная или послеполетная подготовка, периодическая или регламентная работа, работа, выполняемая при хранении, и т.д. Набор работ касается ФИ в целом, поэтому связывается не только с логистическим элементом (атрибут «*Объект*» объекта «НАБОР_РАБОТ»), но и с проектом АЛП (атрибут «*Проект*» объекта НАБОР_РАБОТ). Для каждого набора работ можно указать обозначение, наименование, тип, а также периодичность или условие, при котором должны выполняться работы, включенные в набор. В модели выделены четыре объекта, описывающие периодичность или условие выполнения набора работ по ТО.

Объект «ОПЕРАТИВНОЕ_ТО» описывает периодичность выполнения набора работ, для которого можно указать условие выполнения или число выполнений в привязке к одной миссии или нескольким миссиям за определенный календарный период (день или неделю).

Объект «ПЛАНОВОЕ_ТО_ПО_КАЛЕНДАРНЫМ_СРОКАМ» описывает периодичность выполнения набора плановых работ по ТО через установленные календарные интервалы. Объект «ПЛАНОВОЕ_ТО_ПО_НАРАБОТКЕ» описывает периодичность выполнения набора плановых работ по ТО через установленные интервалы наработки.

Для перечисленных объектов исходя из условий выполнения набора плановых работ по ТО и сценария использования расчетным путем может быть определено число выполнений набора плановых работ по ТО за календарный год.

Объект «НЕПЛАНОВОЕ_ТО» описывает условия выполнения неплановых работ по ТО.

Объект «НАБОР_РАБОТ» включает перечень работ с указанием последовательности их выполнения. Объект «РАБОТА_по_ТО» связан с объектом «ЭЛЕМЕНТ_ЛСИ» (атрибут «*Элемент*» объекта РАБОТА_по_ТО) и описывает определенную работу, выполняемую целиком в рамках одного или нескольких наборов работ. Для работы указываются обозначение, наименование, вид, условия выполнения (например, организация, которая должна ее выполнять, или категория условий выполнения). Количество выполнений работы в год определяется расчетно с учетом того, в рамках каких наборов выполняется работа, и планируемой интенсивности эксплуатации (объект «ПРОЕКТ_АЛП_СО_СЦЕНАРИЕМ_ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ»).

В БД АЛП работа по ТО может описываться двумя объектами «РАБО-

ТА_по_ТО» и «ПЛАНОВАЯ_РАБОТА_RCM_ (БАЗОВАЯ)». Для их связи используется атрибут «*Плановая работа*» объекта «РАБОТА_по_ТО».

Для описания результатов RCM (MSG-3) анализа служат объекты, позволяющие описать результаты планирования ТО для различных видов RCM-анализа (см. подразд. 9.1):

- объект «ПЛАНОВАЯ_РАБОТА_RCM (MSI)» — для функциональных систем и двигателя;
- объект «ПЛАНОВАЯ_РАБОТА_RCM (SSI)» — для конструктивно-важных элементов;
- объект «ПЛАНОВАЯ_РАБОТА_ RCM (Анализ_прочей_конструкции)» — для элементов, отнесенных в процессе анализа к категории «Прочая конструкция»;
- объекты «ПЛАНОВАЯ_РАБОТА_RCM (ZVI)» и «ПЛАНОВАЯ_РАБОТА_RCM (L/HIRF)» — для зонного анализа и анализа защиты от электромагнитных полей высокой интенсивности и удара молнии.

Работа по ТО может выполняться непланово, при устранении отказов. Для указания причины предназначен атрибут объекта РАБОТА_по_ТО «*Причина непл. выполнения*».

Сведения о технологии выполнения работы описывается с помощью объекта «ТЕХНОЛОГИЯ_ВЫПОЛНЕНИЯ». Атрибуты объекта «ТЕХНОЛОГИЯ_ВЫПОЛНЕНИЯ» предназначены для описания технологических операций (шагов), мест (зон и точек доступа), продолжительности и трудоемкости выполнения работы (прогнозируемой и расчетной).

Данные о материальных и трудовых ресурсах

При описании технологии выполнения работ по ТО указываются ресурсы, необходимые для выполнения каждой операции (шага). Ресурсы подразделяются на средства инфраструктуры, вспомогательное оборудование, инструменты, расходные материалы, запчасти и трудовые ресурсы. Для описания ресурсов в модели выделены два объекта: объект «ТРУДОВОЙ_РЕСУРС» и объект «МАТЕРИАЛЬНЫЙ_ РЕСУРС» (рис. 5–8).

Объект «ТРУДОВОЙ_РЕСУРС» описывает трудовые ресурсы, необходимые для выполнения работы или отдельной операции. Для трудового ресурса указываются специальность и квалификация персонала, занятого при выполнении работы, и занятость специалиста при выполнении работы.

Объект «МАТЕРИАЛЬНЫЙ_РЕСУРС» описывает материальные ресурсы, требуемые для выполнения работы или отдельной операции. Для каждого

материального ресурса указываются тип (расходный материал, вспомогательное оборудование, инструмент и т.д.) и количество, требуемое для одного выполнения работы.

Данные о составных частях финального изделия

Объект «ИЗДЕЛИЕ» (рис. 5–9) описывает изделия, поставляемые заказчику в процессе эксплуатации ФИ. Поставляемое изделие может быть элементом (запасной частью), расходным материалом, средством обслуживания и инструментом. Атрибут «*категория изделия*» позволяет указать тип изделия: расходный материал, СЧ, средство обслуживания и инструмент. Объект «ИЗДЕЛИЕ» имеет несколько атрибутов, общих для изделий всех типов и позволяющих идентифицировать изделие: обозначение, наименование и описание изделия.

Объект «РЕВИЗИЯ_ИЗДЕЛИЯ» используется для описания возможности использования различных модификаций/исполнений изделия.

Атрибут «*Является ПС*» позволяет указать, что изделие является предметом снабжения и поставляется заказчику в процессе начального и (или) текущего МТО. Для расчета потребности в запасных частях также нужно знать, подлежит ли изделие восстановлению при достижении межремонтного ресурса или при возникновении случайного отказа или нет. Для хранения этой информации используется атрибут «*Пригодность к ремонту*».

Объект «ПАРАМЕТРЫ_ПОСТАВКИ_И_РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ» описывает условия поставки и указание о ремонтопригодности изделия для определенного проекта АЛП. Для указания проекта АЛП, для которого описаны параметры поставки и ремонтопригодности, используется атрибут «*применяемость*».

При описании параметров поставки и ремонтопригодности можно указать поставщика изделия, цены, объем партии поставки, стоимость и продолжительность доставки, время между заказами и т.д. Эти данные используются как исходные для расчета начального и текущего запаса изделия.

Объект «ИЗДЕЛИЕ_В ПРОЕКТЕ» описывает рекомендуемые объемы запаса изделия, определенные в результате АЛП системы (атрибут «*элемент ЛСИ-система*») для определенного проекта АЛП (атрибут «*проект АЛП*»). Для каждого изделия определяются рекомендуемый объем партии поставки, рекомендуемый объем начального запаса, рекомендуемый объем минимального запаса и рекомендуемый объем на заданный период.

Данные мониторинга эксплуатации

В модели используется предположение о том, что на стадии эксплуатации ведется сбор данных, необходимых для актуализации БД АЛП. Прежде всего это данные о наработке ФИ за период эксплуатации, данные о выполненных работах по ТО, сведения об отказах и повреждениях. Часть информационной модели, описывающей ФИ на стадии эксплуатации, а также события, связанные с процессами эксплуатации, приведена на рис. 5–10. На основе этих данных рассчитываются фактические значения ЭТХ и актуализируется БД АЛП.

Объект «ЭКЗЕМПЛЯР_ФИ» описывает экземпляры ФИ. Атрибут «*конфигурация ФИ*» позволяет указать конфигурацию изделия. Для каждого объекта «ЭКЗЕМПЛЯР_ФИ» можно указать бортовой номер, дату выпуска, изготовителя, наименование эксплуатанта и краткое описание. Также для каждого экземпляра описывается фактическая наработка за период эксплуатации.

Объект «ФАКТИЧЕСКАЯ_НАРАБОТКА» описывает наработку экземпляров ФИ за период эксплуатации в летных часах и в посадках.

Объект «ВЫПОЛНЕННЫЕ_РАБОТЫ» описывает работы по ТО, выполненные в ходе эксплуатации. Вид работы определяется атрибутом объекта «*вид работы/форма ТО*».

Объект «РАБОТА_ОПЕРАТИВНОЕ_ТО» служит для описания выполненных работ по оперативному ТО, таких как предполетная подготовка, подготовка к повторному полету и работы после полета. Указываются начало и окончание периода, количество работ, выполненных за указанный период.

Объект «РАБОТА_ПЕРИОДИЧЕСКОЕ_ТО» описывает работы, выполняемые периодически в соответствии с наработкой или календарным временем, например периодические работы, регламентные работы, сезонные работы и т.п.

Каждый экземпляр указанного объекта описывает одну работу по ТО. Атрибуты «*дата начала*» и «*дата окончания*» позволяют указать дату начала и дату окончания выполнения работы. В рамках работ по периодическому ТО могут также выполняться работы по бюллетеням и указаниям, а также по поиску и устранению неисправностей, выявленных в межрегламентный период или в процессе выполнения работы.

Объект «РАБОТА_ПО_ОБСЛУЖИВАНИЮ» описывает дополнительные работы по обслуживанию ФИ. Атрибут «*причина/номер бюллетеня*» по-

зволяет указать причину выполнения работы, в том числе номер бюллетеня или указания. Для каждой работы указываются даты начала и окончания ее выполнения, наименование функциональной системы (или агрегата, на которых выполнялась работа.

Объект «РАБОТА_ПО_ЗАМЕНЕ» описывает работы по плановым заменам изделий с ограниченным ресурсом. Атрибут «*тип заменяемого изделия*» позволяет указать тип изделия с ограниченным ресурсом: двигатель или комплектующее изделие. Атрибут «*замененное изделие*» позволяет указать изделие, замененное в процессе выполнения работы.

Для каждой работы по замене указываются ее наименование, даты начала и окончания, а также наименование функциональной системы (подсистемы), содержащей заменяемое изделие.

Объект «НЕИСПРАВНОСТЬ» предназначен для документирования сведений об отказах и повреждениях, выявленных в процессе эксплуатации. Можно указать дату обнаружения, дату устранения, проявление, последствие и т.д. При описании отказа указываются экземпляр ФИ, на котором выявлен отказ/повреждение (атрибут «*экземпляр ФИ*»), и комплектующее изделие (атрибут «*неисправное КИ*»).

Для каждого отказа можно указать затраты на его поиск и устранение с помощью атрибутов «*затраты на поиск*» и «*затраты на устранение*». Перечень изделий, замененных при устранении неисправности, описывается объектом «ЗАМЕНЕННОЕ/НЕИСПРАВНОЕ_ КИ».

Объект «ИНФОРМАЦИЯ_О_ФИ_НА_МОМЕНТ_НЕИСПРАВНОСТИ» предназначен для документирования сведений о ФИ на момент обнаружения отказа или повреждения: наработка в часах и посадках с начала эксплуатации (атрибуты «*наработка СНЭ в часах*» и «*наработка СНЭ в посадках*»), после последнего ремонта (атрибуты «*наработка ППР в часах*» и «*наработка ППР в посадках*»), число ремонтов, дата и исполнитель последнего ремонта.

Объект «НЕИСПРАВНОЕ_КИ» предназначен для документирования сведений о неисправном комплектующем изделии (атрибут «*изделие*»). Атрибут «*категория неисправного КИ*» позволяет указать вид изделия: двигатель, ВСУ или КИ. Для каждого неисправного изделия можно указать заводской номер, дату выпуска, наработку в часах и посадках с начала эксплуатации или после последнего ремонта, число, дату и исполнителя последнего ремонта, а также дату установки на ВС.

Объект «ЗАМЕНЕННОЕ/НЕИСПРАВНОЕ_КИ» описывает изделия, замененные при устранении неисправности (атрибут «*изделие*»). Для каждого

изделия указываются обозначение и наименование (атрибут «тип замененного/неисправного КИ»), заводской номер и место установки (атрибут «адрес на ФИ»). Атрибут «п*одтверждение*» позволяет указать, что изделие было замено.

Объект «ЗАТРАТЫ» описывает затраты на ТО ФИ. Для каждого экземпляра объекта «ЗАТРАТЫ» указываются затраты на выполнение работ, трудоемкость и продолжительность работ. Для этого предназначены объекты «ТРУДОЕМКОСТЬ_И_ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ» и «СТОИМОСТЬ».

Объект «ТРУДОЕМКОСТЬ_И_ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ» описывает трудоемкость и продолжительность выполнения работ на ФИ. Для каждой работы можно указать трудоемкость, продолжительность, простои из-за отсутствия запасных частей и административные простои по другим причинам.

ЧАСТЬ II.
ПРАКТИКА АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

6. ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

6.1. Разработка стратегии АЛП

Стратегия АЛП разрабатывается на ранних стадиях создания ВС или иного изделия АТ. Она предназначена для применения на всех стадиях ЖЦ АТ и призвана определить задачи АЛП, решаемые в данном проекте. Стратегию АЛП может формировать разработчик АТ, заказчик или совместная рабочая группа. Принятые решения оформляют документально. Может выпускаться отдельный документ «Стратегия АЛП», который содержит:

- определение целей АЛП, в частности требуемые значения показателей ЭТХ и конкурентоспособности ВС (изделия АТ);
- определение методов расчета и анализа рассматриваемых показателей ЭТХ;
- оценку рисков, связанных с недостижением целей АЛП;
- перечень и описание задач АЛП, выполняемых на каждой стадии ЖЦ, адаптированные к условиям конкретного проекта;
- распределение задач АЛП по исполнителям (заказчик, разработчик или совместная рабочая группа).

При формировании перечня задач АЛП следует учитывать:

- особенности предполагаемой функциональности и конструкции разрабатываемого ВС (изделия АТ), концепции его ТОиР, результаты предварительной оценки надежности, контролепригодности, ЭТ и РТ, готовности, а также данные анализа изделий-аналогов, касающиеся затрат и потребностей в логистических ресурсах (при их наличии);
- информацию о наличии, точности и достоверности исходных данных, предполагаемых к использованию при решении задач АЛП;

- возможность влияния результатов АЛП на конструкцию изделия и организацию СТЭ;
- другие факторы.

При разработке стратегии АЛП следует оценить затраты на выполнение выбранных задач, 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 ВС (изделия);
- другие изменения, возникающие в ходе реализации проекта изделия.

Изменения и уточнения в документ «Стратегия АЛП» могут вноситься вплоть до начала разработки рабочей конструкторской документации. 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, их предполагаемой стоимости и времени выполнения (предоставляет разработчик/заказчик);
- другая информация, имеющаяся у заказчика или разработчика.

Результаты разработки стратегии АЛП (с последующими изменениями и дополнениями) являются основным источником информации при разработке плана АЛП.

6.2. Разработка плана 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 этапы. План АЛП формирует разработчик на основании стратегии АЛП на ранних стадиях ЖЦ изделия (аванпроект, техническое предложение). В ряде случаев, например при государственном или военном заказе, план АЛП согласуется с заказчиком. План АЛП должен демонстрировать заказчику, как разработчик будет выполнять его требования в отношении АЛП.

План АЛП может включать:

- перечень и характеристики организационных структур, ответственных за выполнение АЛП; персональный состав исполнителей задач АЛП (по возможности);
- описание последовательности и порядка (сценария) выполнения задач АЛП;
- графики выполнения задач АЛП с указанием времени начала и завершения;
- порядок контроля выполнения задач АЛП по срокам и содержанию результатов;
- описание взаимосвязи графиков АЛП с графиками других работ по проекту;
- описание информационных взаимосвязей данных и задач АЛП с данными и задачами других процессов проекта;
- предварительный перечень элементов структуры ВС или иного изделия АТ (элементов-кандидатов, ЭК), в отношении которых будет проводиться АЛП, предложения по системе кодирования элементов;
- описание способов доведения заданных требований к ЭТХ до разработчиков СЧ ВС и иных субподрядчиков, способов контроля за выполнением этих требований;
- перечень данных, которые заказчик предоставит разработчику 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 изделия и элементы СТЭ, рекомендаций и мер по улучшению конструкции;
- краткое описание программных средств, используемых для проведения АЛП;
- описание БД АЛП и системы управления БД АЛП.

В план АЛП периодически вносят необходимые изменения и уточнения.

Исходными данными для разработки плана АЛП являются:

- стратегия АЛП;
- требования заказчика к плану АЛП и к процедурам его изменения и уточнения;
- предложения заказчика по организации проведения АЛП;
- период, на который разрабатывается план АЛП (по согласованию между заказчиком и разработчиком);
- требования к показателям ЭТХ и ЭЭЭ изделия (из контракта, ТЗ и т.п.);
- планируемый график работ по проекту.

Результатом выполнения задачи является 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 плана АЛП могут быть сформированы как отчеты из БД АЛП.

Далее в книге приводятся примеры, подготовленные с использованием информационно-аналитической системы LSA Step Suite (LSS), разработанной НИЦ «Прикладная логистика».

6.3. Подготовка данных о сценарии использования ВС

Выполнение АЛП и заполнение БД АЛП проводятся в соответствии с условиями и организацией работ, определенными стратегией АЛП и планом АЛП, начиная с ранних этапов разработки изделия (аванпроект, эскизный проект).

Для начала работ специалисты подразделения АЛП создают в БД АЛП новый раздел — проект АЛП «Финальное изделие XXXF» (ФИ) (далее «Проект АЛП»). В составе общих сведений о проекте указывают обозначение и наименование ФИ (типовой конструкции ВС), анализируемые конфигурации типовой конструкции и дополнительные реквизиты (наименование заказчика, обозначение проекта, номер контракта, валюту расчетов) (рис. 6–1).

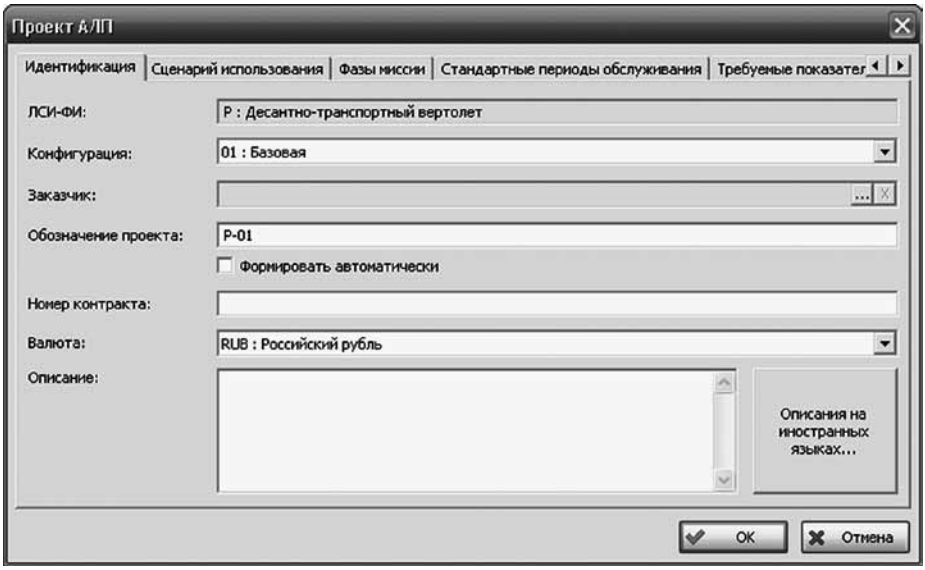


Рис. 6–1 Экранная форма для ввода данных о проекте АЛП. Идентификация

На основе данных, полученных в ходе изучения условий эксплуатации изделия у будущего заказчика, определяют типовые варианты (сценарий) использования ВС по назначению (рис. 6–2). В ходе АЛП может анализироваться несколько таких вариантов, для каждого из которых указываются:

- наименование и краткое описание;
- число ФИ, эксплуатируемых по данному варианту;
- период начального МТО (при необходимости — продолжительность отдельных этапов начального МТО);
- период, принимаемый для расчетов объемов МТО и затрат, связанных с эксплуатацией (расчеты объемов МТО и затрат, связанных с ТО, могут вычисляться на весь срок службы или за конкретно заданный период, см. разд. 10);
- географический район эксплуатации, характеризующийся условиями и характеристиками окружающей среды, такими как температура и влажность, что может влиять на состав и условия выполнения работ по ТО;
- средняя наработка в год и единицы измерения наработки;
- число полетов в год (месяц, сутки);
- средняя наработка за полет;
- этапы полета (фазы миссии) и их относительная продолжительность

(перечень этапов и их продолжительность используются для расчета суммарной длительности работы отдельных систем, подсистем и агрегатов ВС, что необходимо, в частности, для проведения АВПО);

- структура ТО (заданные периоды для плановых видов ТО, используемые в ходе расчета периодичности плановых работ по ТО.

Общие сведения о проекте АЛП также включают шаблон для кодирования анализируемых логистических элементов ФИ. Структура шаблона и его использование описаны ниже, в п. 7.3.6

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.

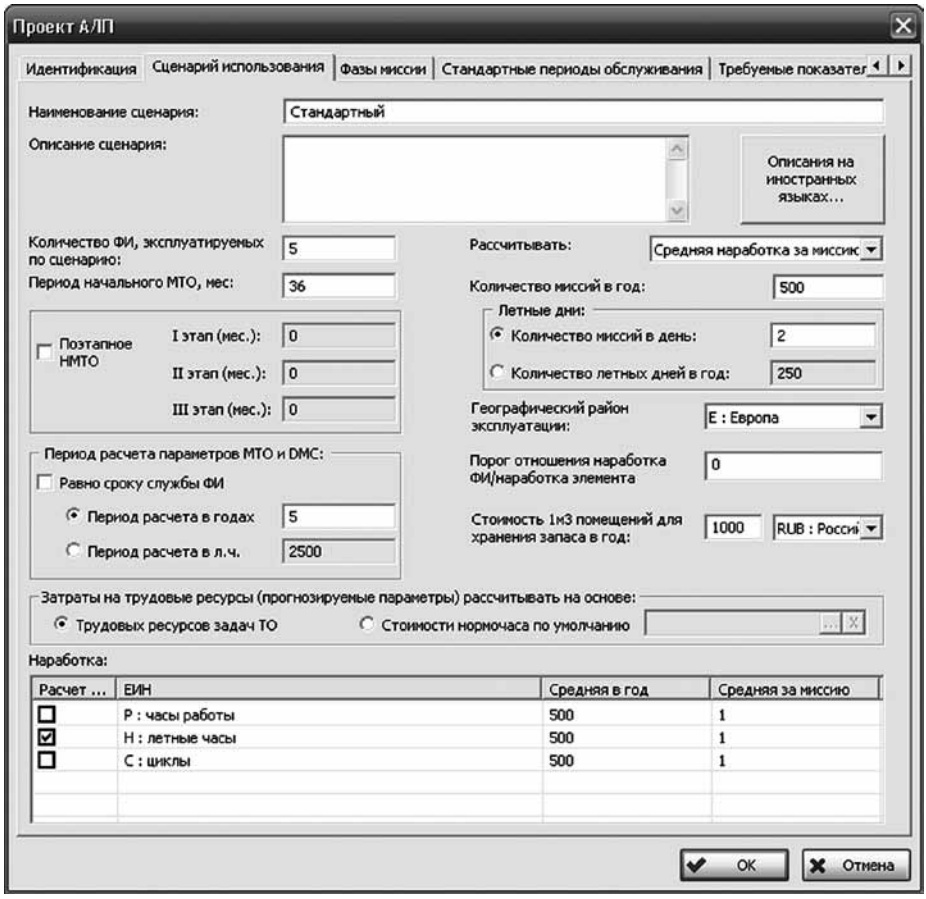


Рис. 6–2 Экранная форма для ввода данных о проекте АЛП. Сценарий использования по назначению

7. ФОРМИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СТРУКТУР

7.1. Общие сведения

Задача создания логистической структуры ВС (ЛСИ) является весьма ответственной, поскольку от результатов ее решения зависят результаты и сама возможность решения многих других задач АЛП. Поэтому она требует участия квалифицированных и опытных специалистов. Так как основой для создания ЛСИ служит анализ конструкторской структуры ВС и его СЧ, то обязательным участником этого процесса должны быть конструкторы, в том числе отвечающие за конкретные системы ВС и детально разбирающиеся в их устройстве.

Формированию ЛСИ предшествует построение ЛСФ, что требует привлечения к процессу специалистов по надежности и безопасности ВС, так как именно они будут в дальнейшем использовать ЛСФ для проведения АВПО и формирования требований к ТО. Чтобы соблюсти основные принципы формирования ЛСИ, в процессе должен участвовать специалист по ИЛП, или упомянутые выше исполнители должны пройти необходимое обучение.

Наилучшим вариантом организации решения задачи является передача обязанности по созданию ЛСИ и ЛСФ конструкторам — разработчикам ВС и его ФС, при консультационном участии специалистов по ИЛП и по надежности. Выбор ЭК для ЛСИ и ЛСФ должен происходить также при участии специалистов по ТО ВС и специалистов по организации МТО эксплуатации.

7.2. Формирование ЛСФ

7.2.1. Общие сведения о ЛСФ

ЛСФ формируется в процессе функционального анализа и состоит из элементов, соответствующих ***функциональным блокам*** и ***функциям*** изделия, а также связей между ними.

ЛСФ разрабатывают и анализируют в целях:

1) выявления полноты и непротиворечивости функций (в первую очередь — функциональных требований к изделию);

2) выявления возможных видов функциональных отказов, а также анализа их причин (эта работа выполняется в рамках АВПО);

3) разработки требований к ТО изделия.

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, числа 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.

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

Основные функциональные блоки, включаемые в ЛСФ ВС, обычно соответствуют основным системам и подсистемам по СНК. Для каждого функционального блока составляется перечень выполняемых функций. При необходимости функции разукрупняются на один уровень вниз. Число 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. Общий вид ЛСФ изображен на рис. 7–1.

Кодирование элементов ЛСФ осуществляется аналогично кодированию элементов ЛСИ (см. п. 7.3.6). ЛКН элементов ЛСФ отличаются от ЛКН элементов ЛСИ наличием префикса «F».

7.2.2. Общие принципы формирования ЛСФ

Для вновь создаваемых изделий, не имеющих прототипов, создание ЛСФ — необходимый этап. Для изделий, имеющих прототипы и, тем более, относящихся к определенной отрасли (т.е. сложившемуся классу), ЛСФ, как правило, соответствует известной функциональной структуре. Для изделий, находящихся на этапе производства или эксплуатации, необходимость создания ЛСФ определяется после оценки и сопоставления затрат и выгод, которые

могут быть получены от этой работы. При создании модификаций базового изделия его ЛСФ подвергается изменениям как в части добавления новых элементов, отсутствующих в базовом изделии (расширение функциональности), так и в части исключения некоторых элементов (сужение функциональности — специализация).

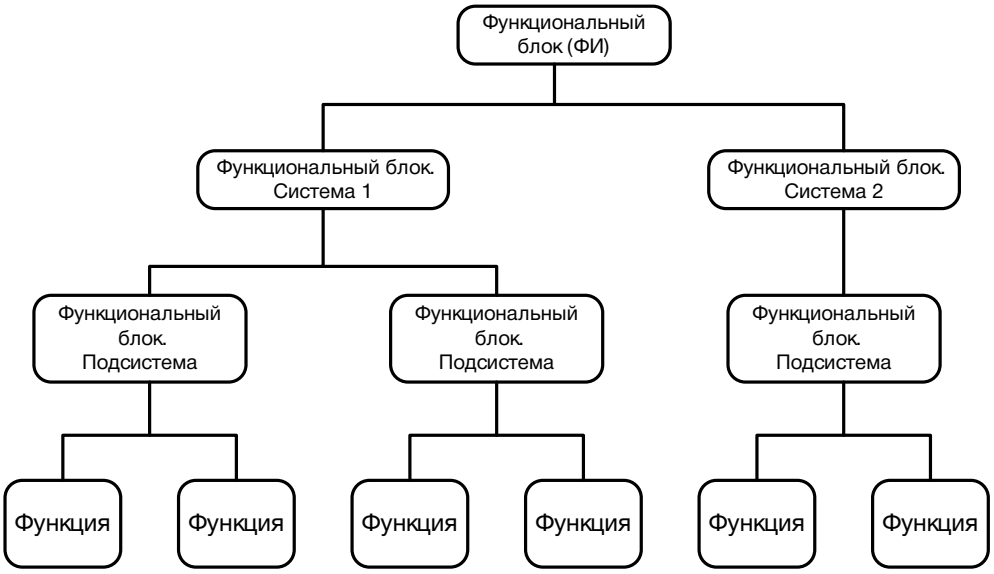


Рис. 7–1 Представление ЛСФ

В процессе создания ЛСФ анализируется назначение ВС и определяются все необходимые функции. Кроме основных функций рассматриваются также и вспомогательные функции, например обеспечение экипажа информацией о состоянии ВС и передача этой информации в системы мониторинга.

При выборе наименования функций следует избегать названий, начинающихся с существительного (см. ниже), например:

Правильно	Неправильно
Регулирование температуры	Устройство регулирования температуры Система регулирования температуры Регулятор температуры

Процесс создания ЛСФ состоит из ряда шагов. На первом шаге функции ФИ описываются укрупненно, без лишних подробностей и уточнений. Для

ВС перечень укрупненных функций будет, как правило, соответствовать перечню основных ФС. На последующих шагах выполняется разукрупнение каждой функции на один уровень вниз (выделение подфункций, составляющих разукрупняемую функцию). На рис. 7–2 приведено описание ЛСФ гидросистемы вертолета, основной функцией которой является «Питание потребителей рабочей жидкостью». Эта основная функция декомпозируется на подфункции «Питание рабочей жидкостью всех потребителей от основной гидросистемы», «Питание рабочей жидкостью всех потребителей при падении давления в основной гидросистеме», «Индикация работы...» и т. д.



Рис. 7–2 Представление ЛСФ гидросистемы вертолета

Необходимое число уровней разукрупнения выбирается для каждой функции индивидуально с учетом:

- сложности функции;

- удобства разработки конструкции (установления связей между функциональными и конструктивными элементами);
- удобства описания и прослеживания развития функциональных отказов изделия в процессе АВПО.

Вместе с созданием ЛСФ в процессе функционального анализа составляют описание каждой функции, присутствующей в структуре. При этом определяется и документируется, как минимум, следующая информация:

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

На рис. 7–3 изображен фрагмент таблицы данных о времени работы систем, где перечислены все функции, присутствующие в ЛСФ (первая графа), и отмечены этапы полета, в которых выполняется каждая функция, в последней графе приводится суммарная продолжительность выполнения функции за время полета.

ФУНКЦИИ	ЭТАПЫ ПОЛЕТА			Доля времени работы, %
	Взлет (5 %)	Полет (90 %)	Посадка (5 %)	
Обеспечение автоматического управления полетом		✓		90
Обеспечение связи внутри самолета и с наземными службами	✓	✓	✓	100
Управление самолетом	✓	✓	✓	100
Обеспечение жизнедеятельности экипажа и охлаждение оборудования	✓	✓	✓	100
		✓		90

Рис. 7–3 Пример таблицы функций в привязке к этапам полета (фазам миссии)

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 АВПО, 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 допустимо введение 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 АВПО. Внесение изменений в ЛСФ и уточнение результатов АВПО производятся до тех пор, пока ЛСФ не станет пригодной для разработки на ее базе конструкции изделия или установления связей с элементами уже разработанной конструкции.

7.3. Формирование ЛСИ

7.3.1. Выбор элементов-кандидатов для АЛП

ЛСИ формируется на базе конструкторской структуры ВС. При этом при решении задач АЛП для снижения общей трудоемкости анализа может выделяться особое ее подмножество, включающее только ЭК на анализ и расчет МТО. Это связано с тем, что в ходе решения задач АВПО и формирования плана ТО важно рассмотреть все СЧ ВС, а для планирования МТО важно выбрать СЧ, которые в ходе эксплуатации будут являться предметами снабжения (ПС), перечень которых необходим для разработки каталогов запасных частей, расходных материалов и др.

В перечень ЭК вносят элементы, для которых конструкцией предусмотрена возможность снятия с борта ВС (или с узла ВС) с применением стандартного или специального инструмента. При принятии решения необходимо учитывать планируемую структуру ТО[16] в разрабатываемой СТЭ. Перечень критериев для выбора ЭК может быть также расширен в зависимости от того, какие задачи предполагается решать в процессе анализа. Например, если одной из задач АЛП является формирование каталога деталей и сборочных единиц, то к ЭК должны быть причислены все элементы, которые должны войти в этот каталог. Таким образом, перед

---

[16] В международной практике для разных уровней структуры ТО используется термин «уровень обслуживания» (в англоязычной литературе — *maintenance level*), который определяет организационные особенности и степень специализации для разных видов ТО. Первый уровень — уровень эксплуатирующей организации. Второй уровень (промежуточный) — уровень специализированной организации по ТО. Третий уровень — уровень ремонтной организации (изготовителя АТ или независимой). Выбор структуры определяется принимаемой бизнес-моделью процесса технической эксплуатации.

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 этапах проектирования (техническое предложение, эскизный проект) в ЛСИ включают почти все конструктивно-съемные элементы, известные на данном этапе, а затем в процессе анализа из ЛСИ формируют указанное подмножество для задач МТО эксплуатации. Для проектов АЛП, начавшихся на более поздних стадиях ЖЦ (технический проект, разработка РКД, производство), формирование ЛСИ существенно упрощается.

7.3.2. Общие принципы построения ЛСИ

ЛСИ (иерархический древовидный граф, дерево) в общем случае строится на основании системы нумерации и кодирования СЧ ВС [17]. В соответствии с СНК ЭК, входящие в ЛСИ, группируются по системам и подсистемам. При необходимости может быть выделен дополнительный уровень под-подсистем (рис. 7–4). Все вершины дерева ЛСИ называются «Элемент ЛСИ» независимо от принадлежности элемента тому или иному уровню.

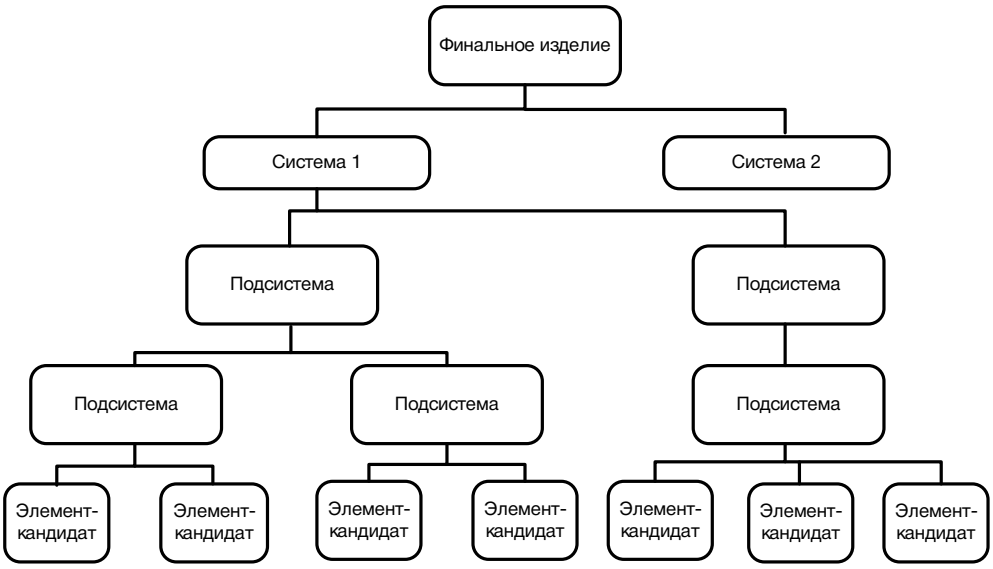


Рис. 7–4 Представление ЛСИ

Первое правило, которым следует руководствоваться при составлении ЛСИ, состоит в том, что ее элементы — физические, материальные объекты, название которых обязательно должно начинаться с существительного, определяющего класс этого объекта, например: система, агрегат, устройство, клапан, реле, подшипник, стойка, крышка и т.д.

Следует избегать названий, начинающихся с глагола или отглагольного существительного, обозначающего функцию элемента (см. ниже), например:

Правильно	Неправильно
Устройство регулирования температуры Система регулирования температуры Регулятор температуры	Регулирование температуры

Кроме основных СЧ самолета в ЛСИ могут включаться крепежные детали, необходимые для установки/крепления основных СЧ 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 перечни и каталоги, если его разработка является одной из целей проекта.

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

Ниже перечислены некоторые типовые правила, которые могут использоваться при определении «границ системы[17]»:

- гидравлические или электрические агрегаты, входящие в состав таких систем, как, например, «система управления полетом» или «шасси», должны включаться в ЛСИ этих систем. В то же время все шланги,

[17] Для ВС такие рекомендации содержатся в ГОСТ 18675 [17] в разделе, посвященном описанию СНК.

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 элементом, для крепления которого они используются, должны быть включены в ту систему, в которую входит прикрепляемый элемент. 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 со стандартной системой нумерации и «границами системы»;
- взаимосвязи между ЭК, описывающие отношения входимости деталей в узлы;
- необходимость различать ЭК, установленные в разных зонах самолета или выполняющие разные функции в рамках одной системы.

7.3.3. 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 ЭК (крупные узлы/агрегаты);
5-й уровень – соответствует ЭК (элементы крупных узлов/агрегатов).

В зависимости от особенностей конкретного проекта уровень под-подсистем в ЛСИ может отсутствовать, и тогда ЭК назначаются уже на 3-м уровне разукрупнения. Решение о числе уровней разукрупнения и их интер-

претации следует принимать перед началом выполнения проекта, так как это связано с правилами кодирования элементов ЛСИ (п. 7.3.6).
В качестве примера рассмотрим фрагмент ЛСИ для системы кондиционирования воздуха (рис. 7–5).



Рис. 7–5 Фрагмент ЛСИ для системы кондиционирования воздуха

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

1-уровень — система: элемент «21:: Комплексная система кондиционирования воздуха»[18];

2-уровень — подсистемы: элементы «21–20:: Система вентиляции и распределения», «21–30:: Система автоматического регулирования давления», «21–40:: Система обогрева» и т.д.;

3-уровень — под-подсистемы: «21–20–01:: Узел входа и система рециркуляции, «21–20–02:: Система подачи воздуха в салон», «21–20–03:: Система подачи воздуха в кабину экипажа» и т.д.;

[18] Цифровой индекс перед наименованием системы — это ЛКН (см. подраздел 7.3.6).

4-уровень — ЭК выделены иконками с двумя шестеренками. Воздушный фильтр входит в подсистему рециркуляции в количестве двух штук и устанавливается в левой и правой частях фюзеляжа (два элемента ЛСИ в структуре) в зонах 125 и 127 соответственно. Вентилятор и эжектор также представлены в количестве двух штук, расположенных в разных зонах;

5-уровень — элементы устройств, которые также являются ЭК на АЛП и включены в ЛСИ.

7.3.4. Типы ЭК

Среди всех ЭК можно выделить два типа элементов:

– элементы, снимающиеся непосредственно с борта ВС; как правило, это крупные узлы и агрегаты;
– 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 СЧ другого элемента).

С точки зрения ремонта и обслуживания наиболее важны элементы типа (1), так как их замена на самолете приводит к простою самолета и, следовательно, к снижению его готовности. Кроме того, часто такие элементы являются наиболее критичными для надежности и безопасности самолета. В зарубежной литературе элементы типа (1) называются Line Replaceable Unit (LRU). Замена таких элементов осуществляется эксплуатантом. Далее элементы типа (1) будут упоминаться как LRU для краткости[19].

Элементы типа (2) — это составные части LRU. При замене эти части снимаются не непосредственно с борта ВС, а с LRU, предварительно снятого для ремонта. В зарубежной литературе элементы типа (2) называются Shop Replaceable Unit (SRU). Замена таких элементов осуществляется при ремонте отказавшего LRU в условиях ремонтной мастерской, цеха или на ремонтном заводе. Далее элементы типа (2) будут упоминаться как SRU.

Кроме двух выделенных типов в некоторых случаях необходимо выделять еще один тип элементов «LRU второго уровня» (далее — LRU-2). LRU-2 — это элемент LRU, который при определенных условиях может заменяться не-

[19] В отечественной литературе такие элементы называются «конструктивно-сменный блок (узел)».

посредственно на ВС. В зависимости от вида отказа с борта ВС может быть снят как родительский узел целиком (LRU), так и СЧ этого узла (LRU-2)[20].

7.3.5. Правила включения ЭК в ЛСИ

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

- принадлежности ЭК к подсистемам и под-подсистемам в соответствии со ССН систем ВС по [17] и установленными «границами» систем (подразд. 7.3.2);
- входимости ЭК друг в друга (деталей в узлы, узлов в более крупные узлы и т.д.);
- расположения СЧ в конструкции самолета (увязка с зонами установки).

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

При создании ЛСИ важно следовать принятой схеме разбиения изделия на уровни разукрупнения (например, уровни, выделенные в примере в подразделе 7.3.3. Если принято, что ЭК включаются в ЛСИ, начиная с 4-го уровня разукрупнения, то недопустимо создание ЭК на 2-м и 3-м уровнях[21], так как это может привести к формированию неправильного ЛКН элемента (более подробно правила присвоения ЛКН описаны в подразделе 7.3.6. Если возникает необходимость создать ЭК, входящий, например, непосредственно в подсистему (невозможно отнести элемент ни к одной под-подсистеме), то в этом случае необходимо создать *«фиктивную» под-подсистему*, т.е. ввести недостающий уровень искусственно. Такая фиктивная под-подсистема будет иметь наименование подсистемы и добавочное определение, поясняющее, что эта под-подсистема объединяет элементы, общие для всей подсистемы.

При включении в ЛСИ LRU (или потенциальных LRU, если окончательное решение еще не принято) следует различать элементы, установленные в разных зонах ФИ. Если, например, датчики одного и того же типа распо-

---

[20] Типичным примером LRU-2 может служить съемная плата (блок) электронного устройства.

[21] Такое ограничение связано с необходимостью стандартного кодирования элементов ЛСИ с помощью ЛКН.

ложены в разных зонах самолета, то в структуре ЛСИ каждый такой датчик должен быть представлен отдельным элементом ЛСИ. Это необходимо в связи с тем, что место установки может влиять на ремонтопригодность и надежность СЧ. В некоторых случаях приходится различать однотипные СЧ, установленные в одной зоне, но выполняющие в системе разные функции, поскольку такое различие по-разному влияет на свойства системы, а также на параметры самого СЧ (например, на характеристики электрической или механической нагрузки и т. п.).

После создания в ЛСИ уровня, содержащего ЭК-LRU, при необходимости в дерево ЛСИ добавляют ЭК (LRU-2 или SRU), являющиеся СЧ крупных узлов/агрегатов. Они включаются в ЛСИ как «дочерние»[22] элементы соответствующего крупного узла/агрегата (LRU). Для SRU и LRU-2 обязательное распределение по зонам и местам доступа не столь актуально, как для LRU, так как места их установки однозначно определяются «родительским» LRU.

При описании крупного узла (например, «Блок регулирования давления») посредством разукрупнения на СЧ такое разукрупнение (описание СЧ) необходимо выполнять при каждом вхождении этого узла в ЛСИ. В атрибуте *«количество в узле»* СЧ указывается количество однотипных СЧ, приходящееся на один узел.

Для однозначной идентификации СЧ, выполняющих некоторую функцию в системе и находящихся в конкретном месте, стандарт [19] предлагает использовать «номер функционального элемента» (*Functional Item Number, FIN* [23]). Использование FIN позволяет различать элементы 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.

7.3.6. Назначение ЛКН элементам ЛСИ

Согласно требованиям [16] элементам ЛСИ присваивают код «Логистический контрольный номер» (ЛКН), который формируется по уровням раз-

---

[22] Заимствованные из генеалогии термины «дочерний» и «родительский» в ЛСИ обозначают отношения входимости: дочерний элемент входит в состав родительского и, в иерархии дерева (структуры) ЛСИ расположен ниже последнего. Подобное «родство» обычно приводит к тому, что в БД АЛП дочерние элементы наследуют некоторые атрибуты родительского элемента (см. п. 7.3.6).

[23] В стандарте ATA Specification 2200 используется равнозначный термин «Component Functional Index, CFI».

укрупнения и содержит в себе информацию о коде родительского (см. сноску) элемента (кроме ЛКН ФИ).

Код ЛКН для дочернего элемента в общем случае формируют по следующему правилу:

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

Структура ЛКН задается в БД АЛП с помощью специального атрибута «*Структура ЛКН*», который несет информацию о числе уровней разукрупнения в дереве ЛСИ и числе символов для формирования порядкового номера элемента каждого уровня разукрупнения. Рекомендуется строить ЛКН так, чтобы по его виду легко можно было определить, к какому ФИ, системе и подсистеме относится элемент обозначенный эти кодом. Такие ЛКН принято называть «мнемоническими».

Для формирования «мнемонического» ЛКН удобно пользоваться следующими правилами:

1. В качестве кода ФИ (ЛКН элемента 1-го уровня) использовать КАФИ. Число знаков в КАФИ должно быть не более четырех, чтобы ЛКН на нижних уровнях разукрупнения не получался слишком длинным.
2. В качестве порядкового номера системы (вторая часть ЛКН элемента 2-го уровня) следует использовать номер системы по применяемой в проекте СНК.
3. В качестве порядкового номера подсистемы (третья часть ЛКН элемента 3-го уровня) следует использовать номер подсистемы по применяемой в проекте СНК.
4. Если в ЛСИ присутствует уровень под-подсистем, то в качестве порядкового номера под-подсистемы (вторая часть ЛКН элемента 4-го уровня) следует использовать номер, присвоенный под-подсистеме в конструкторской документации на изделие.

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

7.3.7. Описание элемента логистической структуры

Каждый элемент логистической структуры описывается набором параметров (рис. 7–6).

Описательные данные включают обозначение и наименование изделия, сведения о разработчике и изготовителе изделия, сведения о вариантах (конфигурациях) изделия и их применяемости в различных конфигурациях ФИ. Для каждой конфигурации изделия указываются массогабаритные характеристики, материал, признаки принадлежности к классу опасных изделий или изделий, чувствительных к повреждениям (особенностям среды — статическое электричество, температура и т. д.).

Особую группу составляют сведения о надежности и ресурсах изделия (рис. 7–7). Характеристики надежности могут быть заданы через среднюю наработку (на отказ, на съем с борта ВС в процессе эксплуатации) или через интенсивность соответствующих видов отказов.

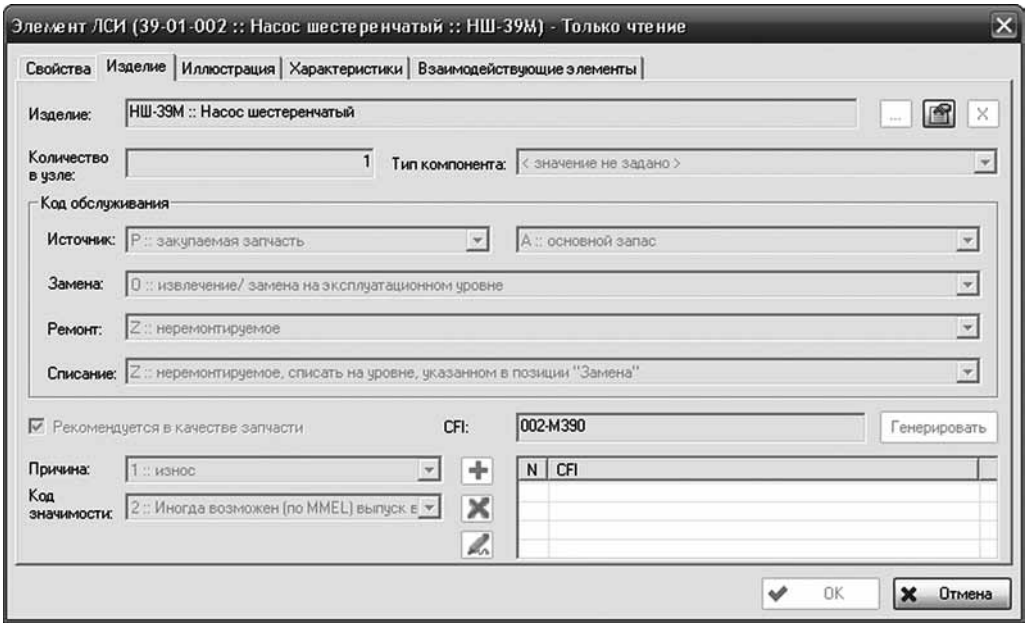


Рис. 7–6 Общие сведения об элементе ЛСИ

Для каждого параметра могут быть заданы разные используемые значения: *расчетное* — значение, полученное в результате моделирования и расчетов, *назначенное* — нормативное значение (заданное заказчиком или самим разработчиком изделия), *фактическое* — значение, полученное по ре-

зультатам эксплуатации. Это дает возможность в ходе анализа использовать различные наборы исходных данных (например, расчетные и полученные в ходе испытаний) и сопоставлять полученные результаты.

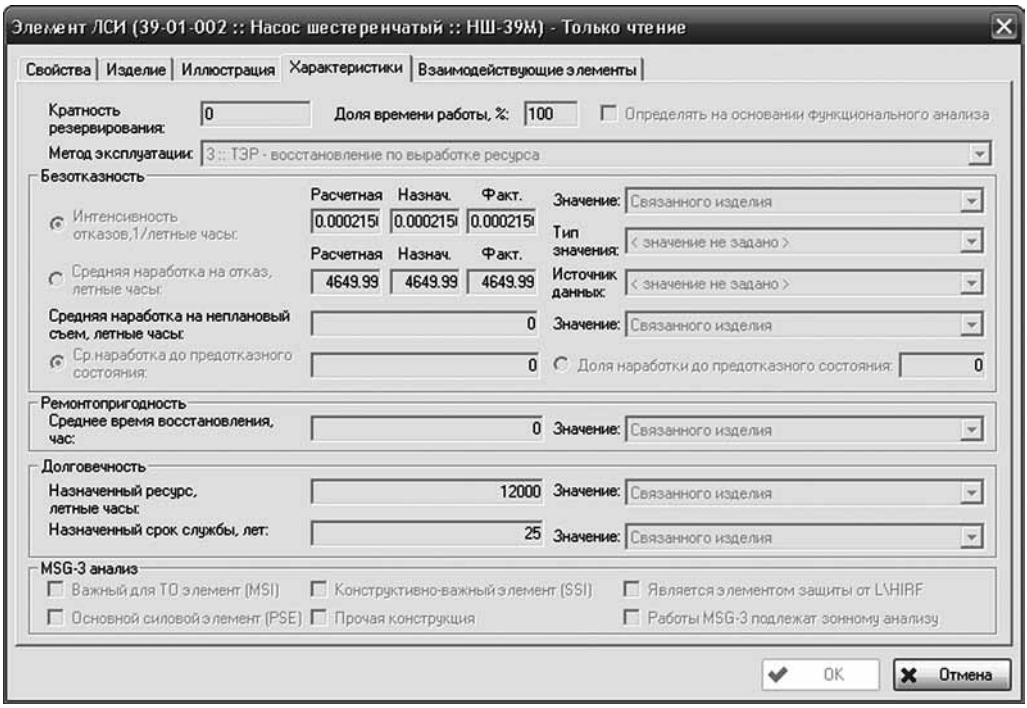


Рис. 7–7 Характеристики надежности изделия — элемента ЛСИ

Отдельную группу составляют параметры поставки и возможности ремонта изделия, содержащие сведения о цене изделия, поставщиках, партиях поставки (числе изделий в партии поставки), характеристиках упаковки (числе изделий в упаковке, массе и размерах упаковки), средних сроках поставки, времени между заказами, сроках хранения и других данных, необходимых для планирования МТО эксплуатации и расчета соответствующих затрат. Для оценки возможности ремонта (ремонтопригодности) изделия используют такие параметры, как длительность ремонта, длительность доставки в ремонт и из ремонта, наименование ремонтной организации, доля стоимости ремонта от цены изделия и т. п.

7.4. Установление связей между элементами ЛСИ и ЛСФ

Следующим обязательным этапом является установление связей между элементами ЛСФ и ЛСИ. Если разработка конструкции велась на базе ЛСФ, то эта работа не представляет существенных трудностей, так как конструктивные элементы, соответствующие элементам ЛСИ, и так связаны с определенными функциями. Если ЛСИ создается на базе имеющейся конструкции, то связи между структурами устанавливают в ходе разработки ЛСФ, которая должна наиболее полно описывать функции конструктивных элементов.

На рис. 7–8 показана связь элементов ЛСФ гидросистемы с элементами ЛСИ, участвующими в выполнении функций, а на рис. 7–9 — связь между элементом ЛСИ и теми функциями (элементами ЛСФ), в выполнении которых участвует этот элемент ЛСИ. Так, на рис. 7–8 функция F39-01-00-02 («Подача рабочей жидкости к гидроцилиндру упора») выполняется с использованием элементов 39-00-002 (гидроцилиндр), 39-001-010 (электромагнитный кран) и 39-01-011 (дозатор). При этом один и тот же элемент ЛСИ может участвовать в выполнении нескольких функций.

Связи между элементами ЛСФ и ЛСИ могут быть следующих типов:

- один к одному (одна функция полностью выполняется единственным конструктивным элементом, на рис. 7–8 это функция F39-01-00-01-02);
- один ко многим (одна функция выполняется несколькими конструктивными элементами, на рис. 7–8 это функции F39-01-00-02, F39-01-01 и т.д.);
- многие к одному (один конструктивный элемент участвует в выполнении нескольких функций, на рис. 7–9 это элемент 39–01–004 «Гидроаккумулятор»).

Таким образом, связи между элементами ЛСФ и ЛСИ указывают:

- какой набор конструктивных элементов необходим для выполнения каждой функции;
- в выполнении каких функций участвует каждый конструктивный элемент.

Эта информация позволяет выявить недоработки конструкции изделия, включая наличие функций, для которых не предусмотрены элементами конструкции (традиционные конструктивные элементы или программные средства на общем вычислителе), наличие элементов, не выполняющих ни одной функции, или недоработки при создании ЛСФ, например, отсутствие в ЛСФ некоторых необходимых функций. Обо всех недоработках исполнители АЛП

извещают конструкторов, после чего в зависимости от типа проекта вносятся изменения в конструкцию (и, соответственно, в ЛСИ) или в ЛСФ. Кроме того, эта информация используется в процессе АВПО для того, чтобы выяснить, отказы каких конструктивных элементов приводят к отказам ФС и КИ.

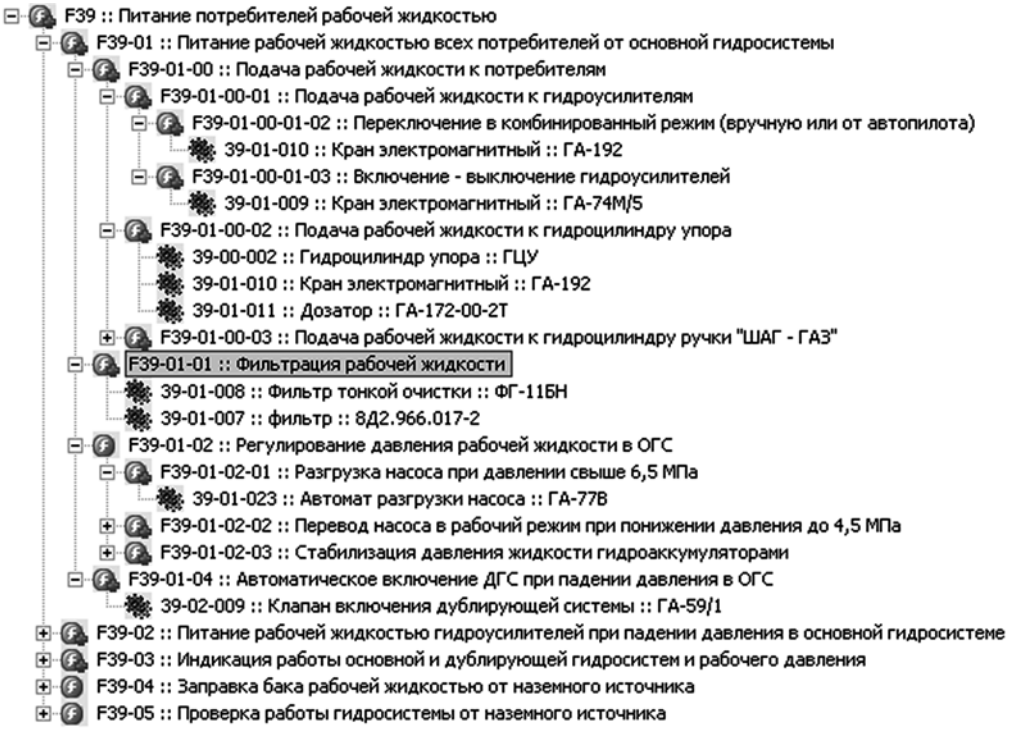


Рис. 7–8 Связь элементов ЛСФ с элементами ЛСИ, участвующими в выполнении функций

7.5. Связь логистических структур с конструкторской структурой ВС в PDM-системе

В современных условиях проектирование изделий осуществляется, как правило, с использованием разнообразных систем автоматизированного проектирования (CAD). Результаты проектирования находятся под управлением систем управления данными об изделии (PDM), в том числе и данные, необходимые для выполнения АЛП, такие как конструкторская структура изделия. Именно конструкторская структура изделия является источником информации для отбора ЭК на АЛП.

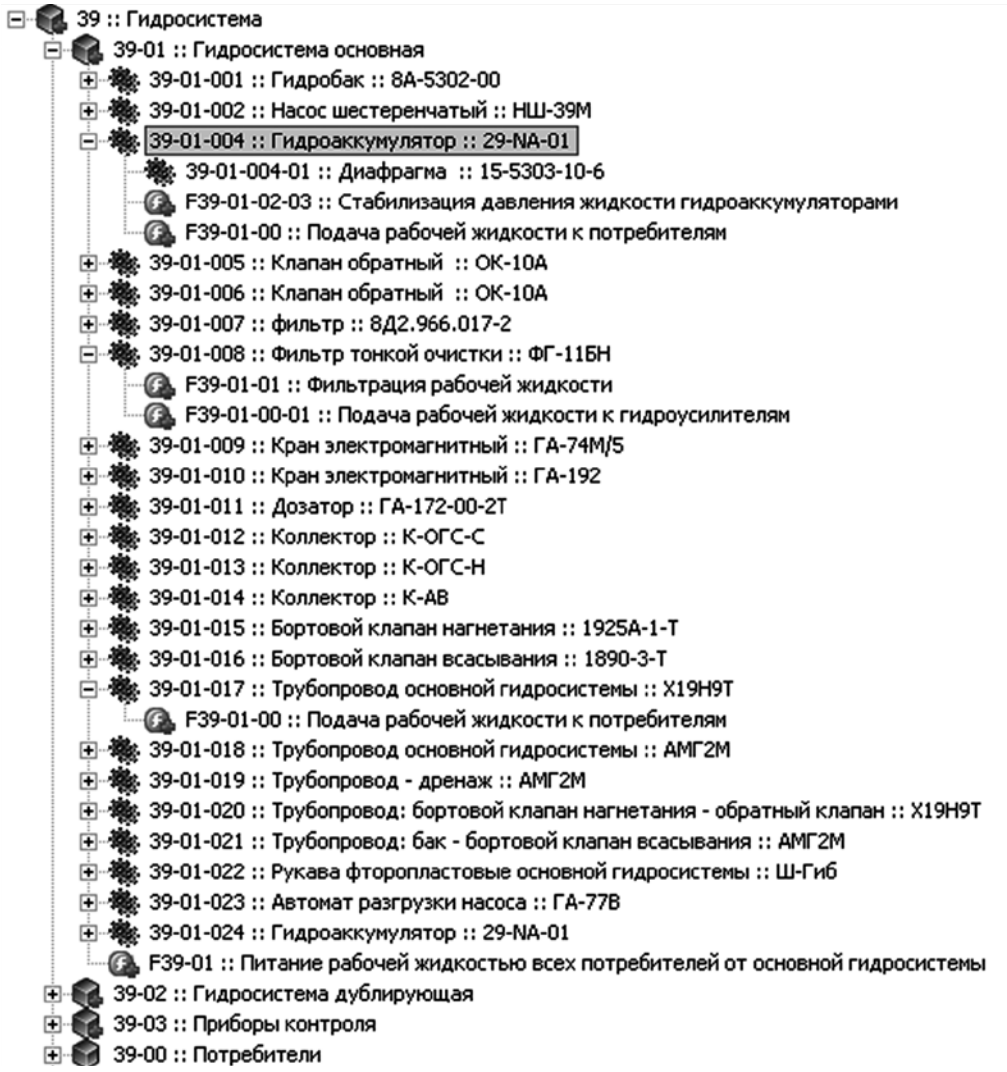


Рис. 7–9 Связь между элементами ЛСИ и теми функциями (элементами ЛСФ), в выполнении которых участвует элемент ЛСИ

Как уже отмечалось, ЛСИ представляет собой подмножество конструкторской структуры, включающее только ЭК для АЛП (рис. 7–10). При этом один элемент конструкции может описываться несколькими элементами ЛСИ, а один элемент ЛСИ может соответствовать нескольким однотипным СЧ (изделиям), например, установленным в одной зоне и имеющим общее место доступа.

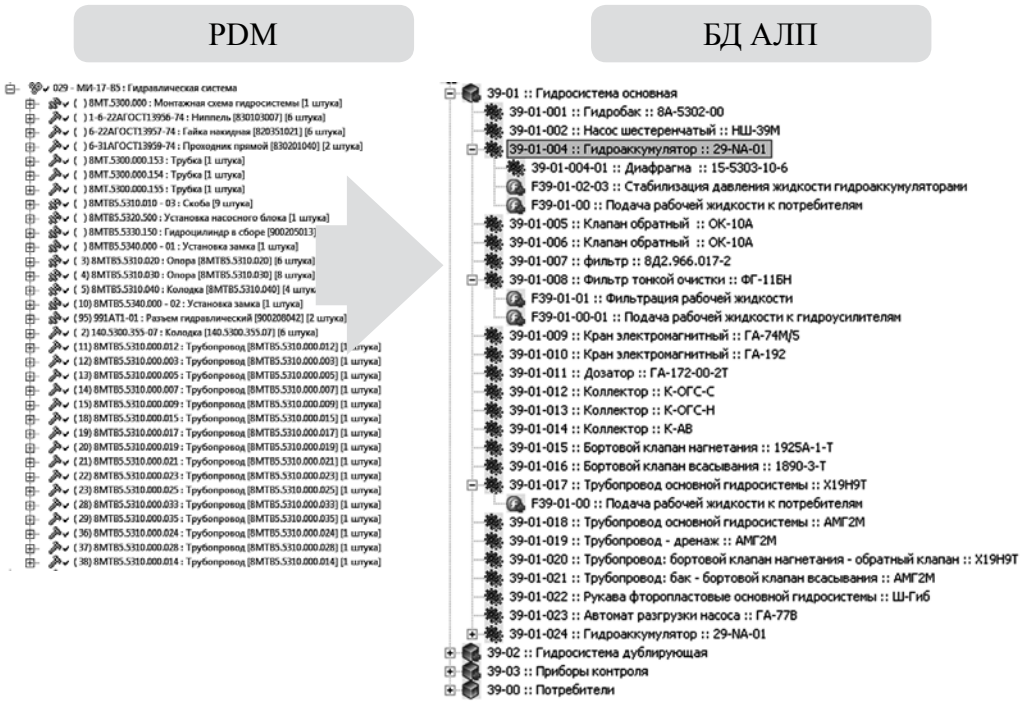


Рис. 7–10 Формирование ЛСИ из конструкторской структуры изделия

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. Более подробно связь процессов АЛП и технологии разработки эксплуатационной документации на изделие рассматривается в разд. 9.

PDM-система является основным источником сведений о конструкции и составе изделия, обеспечивающим целостность и непротиворечивость данных. Если используемая в организации PDM-система и БД АЛП объединены в единое информационное пространство, то это позволяет реализовать механизмы отслеживания конструкторских изменений и их оперативного отображения в ЛСИ. В противном случае контроль конструкторских изменений становится серьезной проблемой.

8. АНАЛИЗ ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ

8.1. Общие принципы анализа

Анализ видов и последствий отказов — формализованная и контролируемая процедура рассмотрения конструкции объекта сложной техники, заключающаяся в выделении на некоторых уровнях разукрупнения его структуры возможных (прогнозируемых) отказов разного вида, в прослеживании причинно-следственных связей между ними, обусловливающих возникновение и взаимовлияние отказов, а также и возможных (прогнозируемых) последствий отказов. Кроме того, производятся качественная оценка и ранжирование отказов по тяжести их последствий.

Подобный анализ, дополненный оценками критичности анализируемых отказов, получил название АВПКО — анализ видов, последствий и критичности отказов [46] и применяется для многих видов машиностроительных изделий.

Для изделий АТ наибольший интерес представляет именно анализ видов и последствий отказов (АВПО), результат которого используется далее при формировании требований к методам эксплуатации, составу и периодичности работ по ТО изделия, в том числе на основе оценки последствий и критичности возможных отказов АТ (более подробно см. разд. 9).

Рассматриваемый вид анализа является неотъемлемой частью АЛП, служит основным источником исходных данных для решения большинства задач АЛП и проводится итеративно на всех этапах АЛП при создании и эксплуатации АТ.

На ранних этапах разработки изделия, когда конструкция полностью еще не определена, АВПО проводится в отношении ЛСФ и прогнозируемых отказов ФС. На более поздних этапах предметом анализа являются ЛСИ и отказы ее элементов, а также связи между элементами ЛСФ и ЛСИ.

Источником исходных данных для проведения АВПО служат:

- технические требования к изделию;
- конструкторские документы (чертежи, спецификации, функциональные, принципиальные и монтажные схемы, технические условия, отчеты и др.), описывающие текущее состояние разрабатываемой конструкции;
- ЛСФ и ЛСИ;

- данные о надежности СЧ, в том числе комплектующих изделий;
- данные о надежности, полученные при испытаниях опытных образцов или эксплуатации аналогов;
- требования применимых норм (нормы летной годности, общие правила эксплуатации АТ и др.);
- данные о последствиях всех возможных (прогнозируемых) видов отказов;
- другие документы, способствующие правильному и полному пониманию особенностей работы изделия в ожидаемых (заданных) условиях эксплуатации.

Для соблюдения единого стиля описания видов отказов и их последствий необходимо с учетом рекомендаций подразд. 5.2 выбрать или разработать справочники-классификаторы, содержащие стандартные формулировки:

- для наименований видов отказов ФС и их элементов (СЧ);
- внешних проявлений отказов;
- первичных причин отказов;
- конструктивных мер для индикации (сигнализации) отказов;
- конструктивных мер для парирования отказов;
- действий экипажа при отказах и т. д.

Справочники целесообразно формировать на основе классификаторов, существующих для данного класса объектов АТ, дополняя их в процессе анализа значениями (словами, фразами), специфичными для рассматриваемого объекта. Порядок использования справочников при выполнении анализа, а также процедуры их изменения и дополнения следует регламентировать в нормативных документах конструкторской организации.

До проведения АВПО необходимо выполнить структурный и функциональный анализ ВС, т. е. разработать ЛСИ, ЛСФ и установить связи между ними. Затем на основе ЛСФ проводится функциональный анализ, т. е. анализ видов отказов ФС (функциональных отказов). На последующих этапах предметом анализа являются ЛСИ и отказы ее элементов, а также смешанная структура, полученная после установления связей между элементами ЛСФ и ЛСИ.

Важный методический вопрос — выбор глубины декомпозиции конструкции для выполнения АВПО. Например, при укрупненном анализе нижним может быть выбран уровень конструктивно-сменных блоков (LRU). Однако, в этом случае нельзя описать и проанализировать причины отказов самих элементов, составляющих нижний уровень декомпозиции. Такой подход

целесообразен для покупных комплектующих изделий. Для элементов, предполагающих ТО силами эксплуатанта, должен проводиться более глубокий анализ, до уровня конструктивно-сменных единиц (SRU), не подлежащих дальнейшему разукрупнению и восстановлению в условиях эксплуатации (они ремонтируются на заводе).

В конечном счете, выбор глубины декомпозиции конструкции АТ (и, соответственно, анализа) определяется необходимостью рассмотреть все элементы, которые могут быть объектом ТО. Таким образом, для проведения АВПО разных элементов ЛСИ может быть выбран разный уровень декомпозиции в зависимости от типа элемента (ПКИ, изделия собственной разработки) и особенностей ТО данного элемента у эксплуатанта.

Стандартные элементы, такие как крепеж (если он был включен в ЛСИ), в процессе АВПО, как правило, не рассматриваются из-за малой опасности последствий их единичных отказов и объективного дефицита ресурсов разработчика на проведение анализа. Внимание в процессе АВПО должно быть сосредоточено на элементах, потенциально наиболее критичных для надежности и безопасности ВС и его бортовых систем.

Виды отказов для удобства анализа целесообразно кодировать (присваивать видам отказов кодовые обозначения) по определенной системе[24].

Классификация тяжести последствий отказа предназначена для качественной оценки потенциальных последствий вида отказа. При этом учитывают следующие факторы:

- опасность отказа для жизни и здоровья людей (в том числе не связанных непосредственно с эксплуатацией ВС), для окружающей среды, для целостности и сохранности самого изделия и другого имущества;
- влияние отказа на функционирование ВС и полноту выполнения бортовыми системами назначенных функций, возможный ущерб любого вида (материальный, моральный, политический и др.), обусловленный рассматриваемым отказом;
- скорость развития неблагоприятных последствий отказа, определяющая возможность принятия соответствующих мер защиты от них.

---

[24] Например, стандарт [2] рекомендует использовать четырехзначные буквенные коды. Первый знак должен иметь значение «F» для вида отказа и «D» для вида повреждения (если проводится анализ возможных повреждений). Значения остальных позиций 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.

В [2] предлагается 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 серьёзное повреждение ФИ, которое приведет к срыву выполнения поставленной задачи.

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

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

В разных областях сложной техники подобная классификация не может применяться с равной эффективностью. Целесообразно для каждого вида техники выбирать соответствующие категории с учетом особенностей использования изделий, физической природы отказов и их последствий[25]. Для АТ тяжесть последствий отказов классифицируют по видам особых ситуаций в полете (т.е. условий или режимов, которые возникают в полете в результате воздействия отказов и неблагоприятных факторов или их сочетаний и приводят к снижению безопасности полета) [47]:

Катастрофическая ситуация — особая ситуация, для которой принимается, что при ее возникновении предотвращение гибели людей оказывается практически невозможным.

Аварийная ситуация — особая ситуация, характеризующаяся: 1) значительным ухудшением характеристик и (или) достижением (превышением) предельных ограничений; или 2) физическим утомлением или такой рабочей нагрузкой на экипаж, что уже нельзя полагаться на то, что он выполнит свои задачи точно или полностью.

Сложная ситуация — особая ситуация, характеризующаяся: 1) заметным ухудшением характеристик и (или) выходом одного или нескольких

---

[25] Классификация категорий последствий видов отказов для авиационной техники приведена в п. 9.1.2.

параметров за эксплуатационные ограничения, но без достижения предельных ограничений; или 2) уменьшением способности экипажа справиться с неблагоприятными условиями (возникшей ситуацией) как из-за увеличения рабочей нагрузки, так и из-за условий, понижающих эффективность действий экипажа.

Усложнение условий полета — особая ситуация, характеризующаяся: 1) незначительным ухудшением характеристик; или 2) незначительным увеличением рабочей нагрузки на экипаж (например, изменением плана полета).

Степень опасности (критичность) каждого вида отказа бортовых ФС и его влияние на завершение полета ВС оценивается экспертным методом. Схема формирования экспертной оценки степени опасности отказов приведена на рис. 8–1.

При оценке последствий отказов необходимо учитывать такие факторы как условия эксплуатации, этап полета, характер полетного задания. Сложные метеоусловия могут усугубить опасность создавшейся ситуации, особенно, если произошел отказ ФС (приборов) индикации пространственного положения и навигации ВС. Например, опасность представляют отказы противообледенительной системы при полете в условиях обледенения, отказы бортового радиолокатора при грозе, стеклоочистителей во время взлета и посадки при наличии атмосферных осадков и др.

Этап полета, на котором произошел отказ, также подлежит учету. Наиболее опасно возникновение особой ситуации на этапах полета с повышенными физическими и психологическими нагрузками на экипаж. К ним относятся взлет (в первую очередь вторая половина разбега и отрыв), посадка (в первую очередь выравнивание и первая половина пробега), уход на второй круг с малой высоты и др.

В ряде случаев большое влияние на степень опасности ситуации оказывает характер полетного задания. Опасны ситуации при взлетах с ограниченных по размерам ВПП и посадках на них (например, при снижении тяги двигателей, неполном выпуске механизации крыла и др.). Немаловажное значение во многих ситуациях имеет и полетная масса ВС. Совершенно очевидно, что отказ двигателя на взлете более опасен при максимально допустимой массе ВС, чем при сравнительно небольших ее значениях. Опасны отказы, требующие экстренной посадки ВС при больших полетных массах.

Другой аспект — это влияние отказов на выполнение полетного задания. Если при взлете не встала на замок убранного положения стойка шасси, то это не вызывает непосредственной угрозы безопасности, но делает дальнейший полет экономически нецелесообразным.

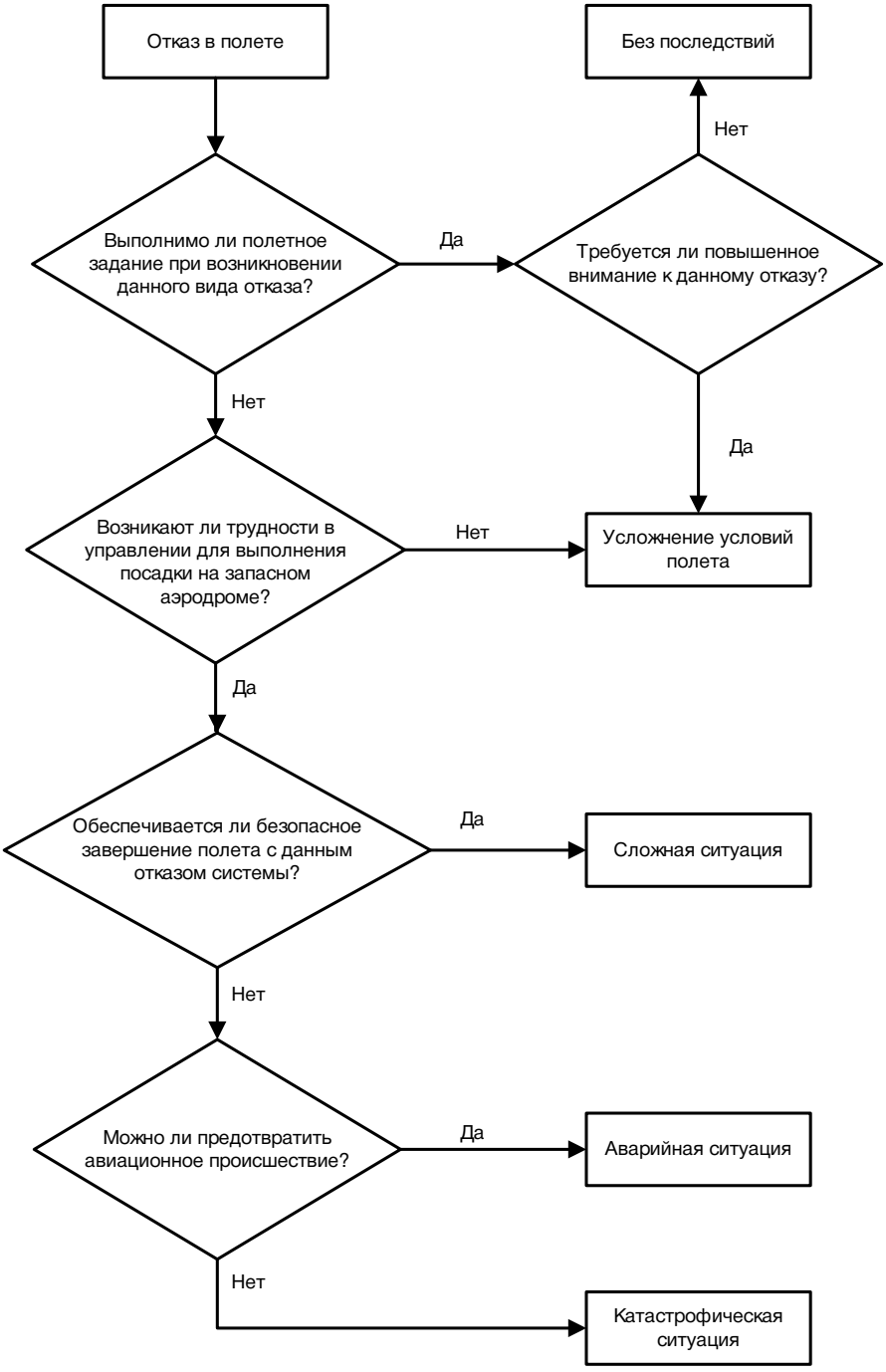


Рис. 8–1 Оценка степени опасности особой ситуации из-за отказа в полете

Разгерметизация кабины самолета на взлете не несет прямой угрозы безопасности, но дальнейший полет на малой высоте нецелесообразен из экономических соображений, а набор высоты свыше 3000 м становится небезопасным.

Экспертная оценка степени опасности особой ситуации формируется на основе учета следующих факторов:

- скоротечности развития особой ситуации при возникновении отказа;
- резерва времени у экипажа для распознавания и принятия мер по парированию отказа;
- степени автоматизации процесса локализации последствий отказа;
- наличия внешних признаков отказа;
- эффективности средств распознавания и парирования отказа;
- степени влияния отказа на поведение ВС, его устойчивость и управляемость;
- сложности действий экипажа по локализации отказа;
- степени подготовки экипажа к парированию последствий отказа;
- психофизиологической нагрузки экипажа в создавшейся особой ситуации;
- сложности пилотирования ВС после парирования отказа;
- уровня функционирования ФС после парирования отказа;
- характера ситуации после парирования отказа в зависимости от этапа, режима полета, времени суток, метеоусловий;
- влияния последствий отказа на работоспособность экипажа (появление дыма, запаха гари, токсичных веществ в кабине и др.).

АВПО позволяет определить влияние вида отказа ФС на завершение полета с учетом используемых средств обнаружения отказа (индикации и сигнализации), сложности выполняемых экипажем действий по парированию (локализации) последствий отказа и вероятности негативных внешних воздействий (явлений) в ожидаемых условиях эксплуатации ВС.

Для подтверждения соответствия нормам летной годности проводится сравнение расчетных значений единичных и суммарных вероятностей различных категорий особых ситуаций, вызванных видами отказов ФС ВС, с нормативными требованиями.

При обнаружении несоответствия расчетных показателей заданным нормам выявляются слабые места в рассмотренной конструкции ВС и вносятся коррективы. После внесения необходимых изменений проводится очередной этап анализа с учетом внесенных изменений.

8.2. Этапы и результаты АВПО

При проведении АВПО на ранних этапах разработки конструкции (анализ ЛСФ) выполняют следующие работы:

1. Для каждой ФС описывают возможные виды нарушений ее функций (виды отказов ФС). Для этого последовательно, сверху вниз по дереву ЛСФ, анализируют функции системы и определяют возможность выхода 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. На рис. 8–2 приведен пример описания отказа F39-02-01 «Фильтрация рабочей жидкости в дублирующей гидросистеме», который приводит к ухудшению качества рабочей жидкости в дублирующей гидросистеме.

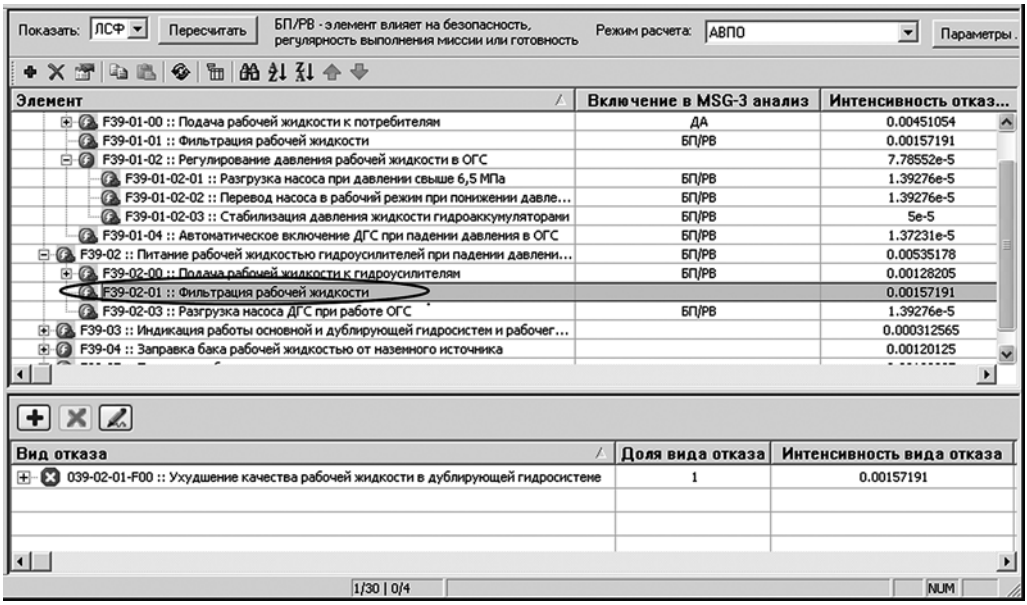


Рис. 8–2 Описание видов отказов ФС

2. Для каждого отказа ФС описывают наиболее тяжелые возможные последствия, при этом описываются только независимые и несовместные последствия, т. е. наступление одного из последствий полностью исключает наступление другого возможного последствия (если два по-

следствия могут наступить вместе, то они должны описываться как одно последствие).

3. Для каждого последствия указывается влияние данного вида отказа ФС на ВС в целом (т.е. последствие на уровне ВС как ФИ). На рис. 8–3 показано, что последствием данного вида отказа ФС является усложнение условий полета (УУП).

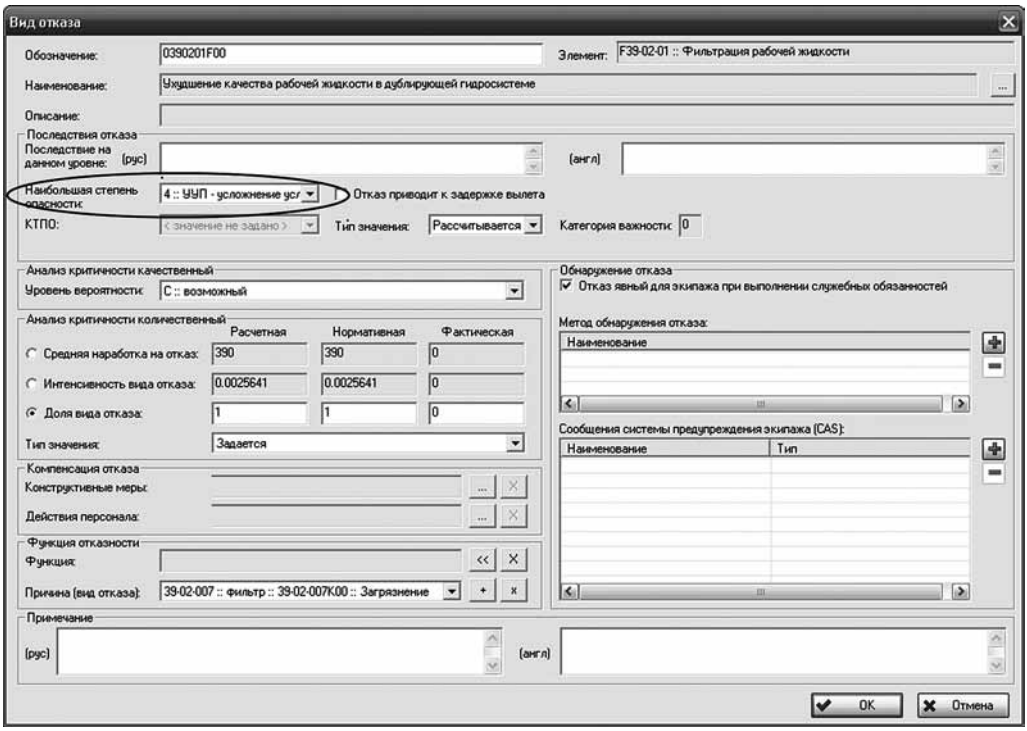


Рис. 8–3 Описание последствий отказа ФС

Далее в рамках АВПО проводится анализ ЛСИ и связей ЛСФ с ЛСИ, который выполняется после того, как будут полностью определены и установлены связи между элементами ЛСФ (функциями) и ЛСИ (ЭК, выполняющими эти функции), т.е. на более поздних этапах разработки изделия.

На данном этапе выполняют следующие работы:

1. По связям между элементами ЛСФ и ЛСИ для каждой функции определяют перечень СЧ (LRU), обеспечивающих ее выполнение, и для каждой СЧ из перечня описывают возможные виды отказов (например, поломка, заклинивание, разрыв электроцепи, трубопровода и т.д.). При этом следует

описывать не только виды отказов, приводящие к нарушению рассматриваемой функции, а все возможные виды отказов СЧ.

2. Для каждого вида отказа СЧ описывают возможные последствия, т. е. каждый вид отказа СЧ связывают с видами отказов ФС, на возникновение которых он влияет. Если для одного вида отказа возможно несколько последствий, то для каждого последствия надо будет оценить вероятность его возникновения.

3. Для каждого вида отказа СЧ в БД АЛП вводят данные относительно надежности СЧ (показатели безотказности и долговечности), возможности обнаружения отказа и соответствующих конструктивных мер, действий летного экипажа при отказе в полете и т. п.

Проверяют полноту описания всех возможных последствий для всех отказов элементов ЛСИ. Если это не так, то определяют причину отсутствия последствия и, при необходимости, в анализ вносят корректировки, например, добавляют пропущенные виды отказов ФС или исправляют связи между элементами ЛСФ и ЛСИ. На рис. 8–4 показано, как описывается связь отказов ФС и ее СЧ. В приведенном примере отказ ФС 039-02-01-F00 «Ухудшение качества рабочей жидкости» связан с отказом фильтра (вид отказа — 39-02-007-К00 «Загрязнение фильтра»).

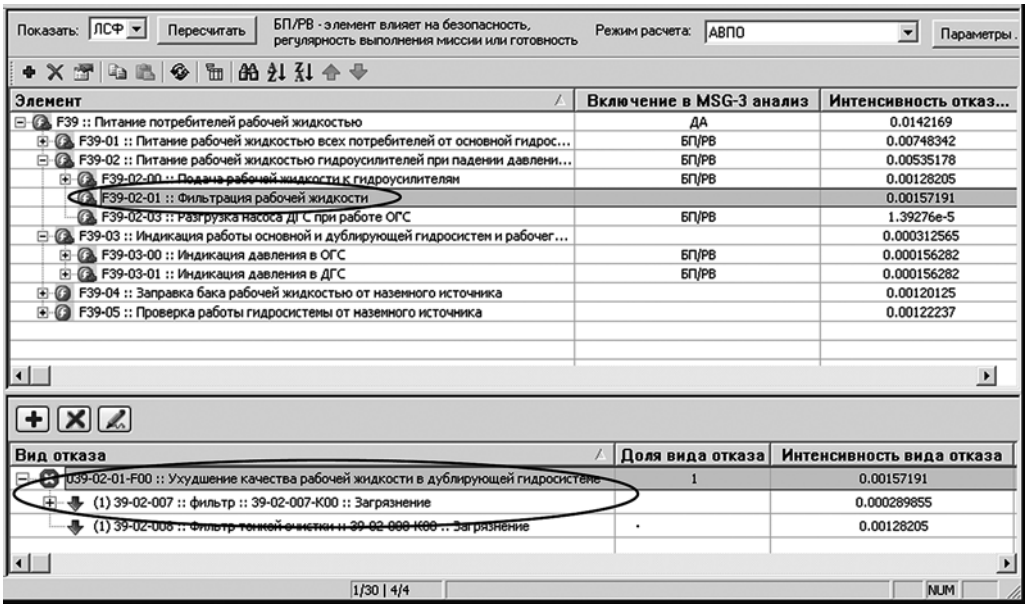


Рис. 8–4 Связь отказов ФС и ее СЧ

При АВПО могут определяться причины отказов элементов ФС (LRU), т.е. элементов ЛСИ. При определении причин отказа элемента ЛСИ следует учитывать выбранный нижний уровень декомпозиции для данного типа элементов (см. подразд. 5.1). 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 рассматривается структура данного элемента, которая должна быть предварительно описана. Причина отказа такого элемента описывается в терминах отказов (комбинаций отказов) СЧ его структуры. При этом описываются виды отказов элементов (узлов, деталей СЧ) самого 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.

На основе результатов проведенного АВПО формируются:

- перечень особо ответственных СЧ;
- перечень расчетных случаев для проведения испытаний ВС.

Перечень особо ответственных СЧ для ВС составляется в соответствии с ОСТ 1 02772 и включает механические СЧ ВС, единичный отказ которых может привести к катастрофической или аварийной ситуации.

Перечень расчетных случаев включает те виды отказов ФС, которые выносятся на сертификационные испытания. В ходе испытаний ВС могут быть выявлены отказы, которые не были включены в перечень возможных отказов и последствия которых не оценивались. Они подлежат дополнительному анализу в рамках одной из итераций анализа.

8.3. Пример проведения АВПО

Рассмотрим пример проведения АВПО для гидросистемы ВС. На рис. 8–5, рис. 8–6 и рис. 8–7 представлены экранные формы, где в верхней части изображена структура ЛСФ гидросистемы, а в нижней — соответствующие виды ее возможных отказов. В нашем примере рассматриваются пять логистических элементов:

1) элемент ЛСФ F39-01 «Питание рабочей жидкостью всех потребителей от основной гидросистемы»;

2) элемент ЛСФ F39-01-00 «Подача рабочей жидкости потребителям», входящий в элемент ЛСФ F39-01;

3) элемент ЛСФ F39-01-00-01 «Подача рабочей жидкости гидроусилителям», входящий в элемент ЛСФ F39-01-00;

4) элемент ЛСФ F39-01-00-01-03 «Включение-выключение гидроусилителей», входящий в элемент F39-01-00-01;

Элемент ЛСИ 39-01-010 «Кран электромагнитный», связанный с элементом ЛСФ F39-01-00-01-03 (см. также рис. 7–8 Связь элементов ЛСФ с элементами ЛСИ, участвующими в выполнении функций»).

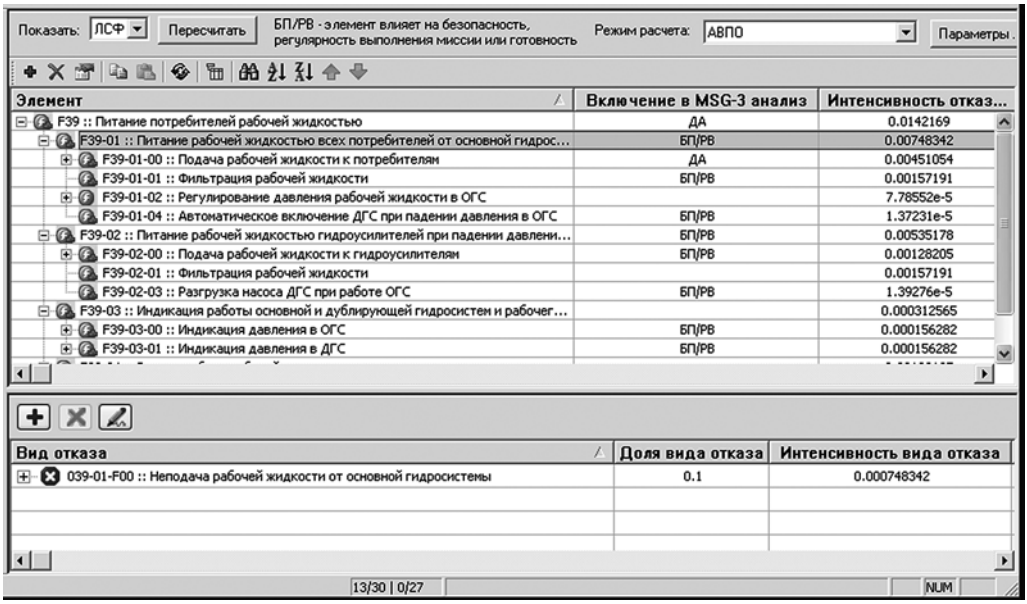


Рис. 8–5 Элемент ЛСФ F39-01 и связанный с ним вид отказа

Выделенный на рис. 8–7 элемент ЛСФ характеризуется следующими параметрами (см. рис. 8–8): наименование функции; ЛКН; доля отказа (определяет влияние времени задействования данной функции элемента ЛСФ в течение полета на общую интенсивность отказов элемента); общая интенсивность возможных отказов элемента; способ задания показателей безотказности (могут задаваться вручную или вычисляться по входящим параметрам).

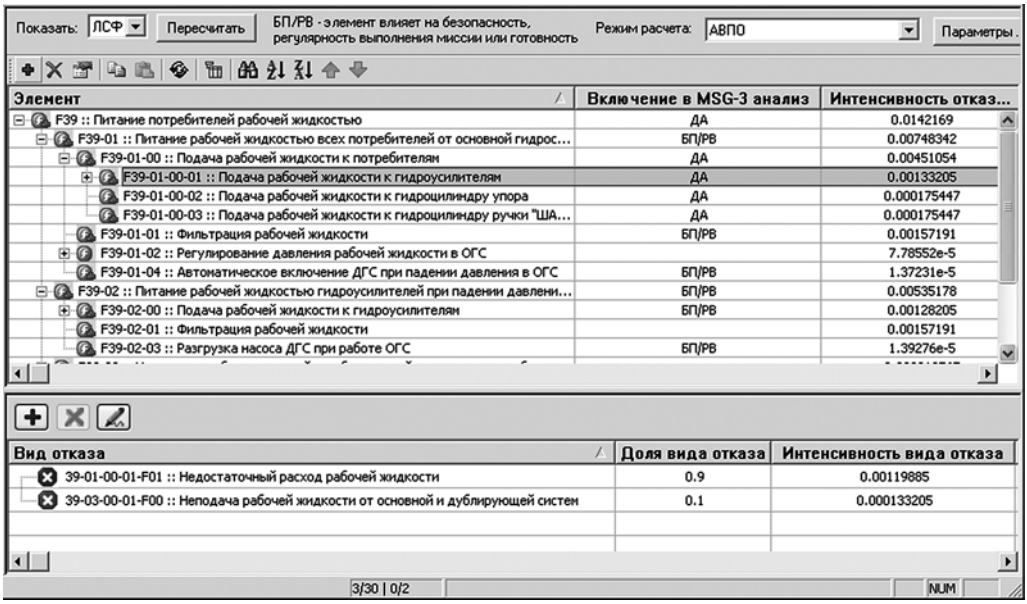


Рис. 8–6 Элемент ЛСФ F39-01-00-01 и связанные с ним виды отказов

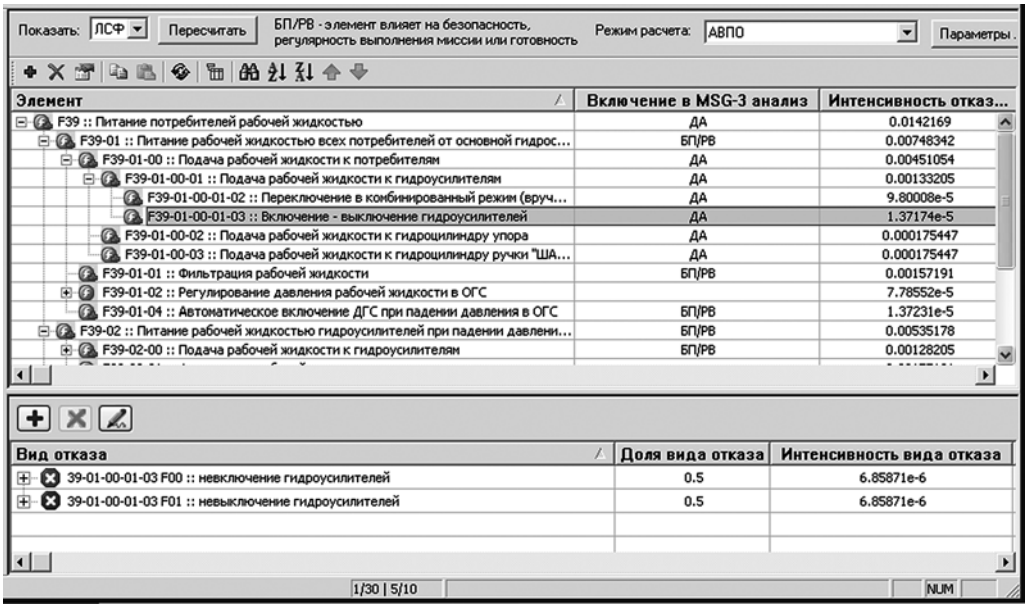


Рис. 8–7 Элемент ЛСФ F39-01-00-01-03 и связанные с ним виды отказов

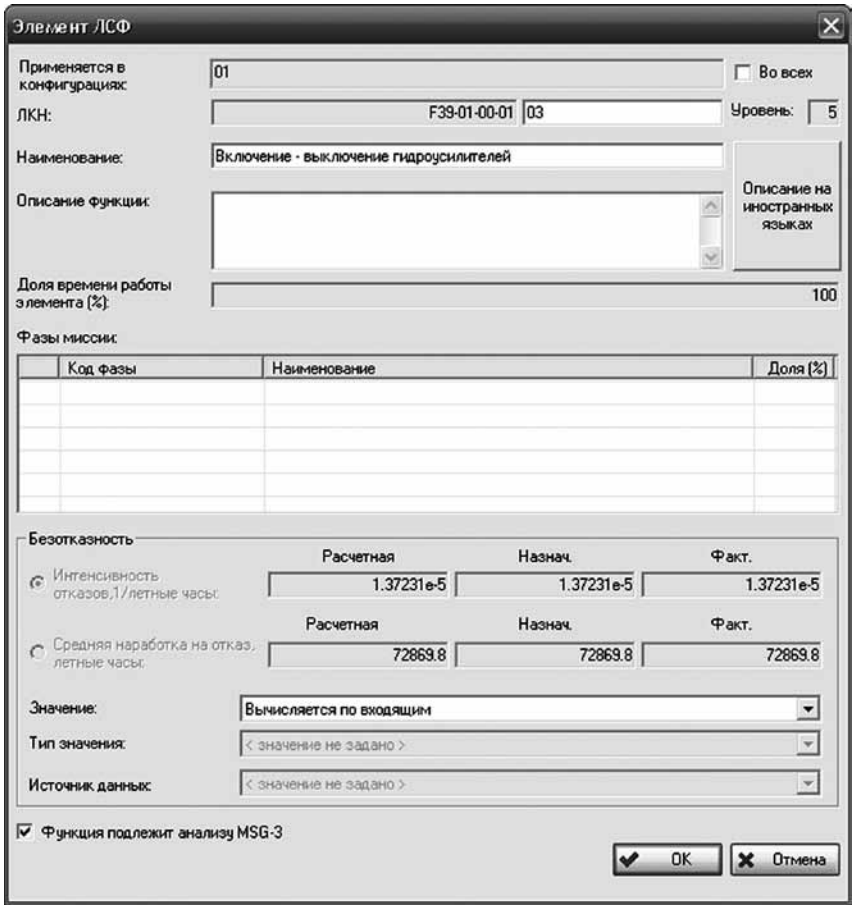


Рис. 8–8 Описание элемента ЛСФ

Для каждого вида отказа указываются:

- обозначение и наименование вида отказа, выбираемое из справочника;
- значения параметров надежности: «Средняя наработка на отказ» или «Интенсивность вида отказа», «Доля вида отказа»;
- метод обнаружения отказа и сведения о действиях по парированию отказа.

Как было показано на рис. 7–8 Связь элементов ЛСФ с элементами ЛСИ, участвующими в выполнении функций» (см. раздел 7) функция F39-01-00-01-03 реализуется с помощью элемента ЛСИ 39-01-010 «Кран электромагнитный».

Для данного элемента ЛСИ возможны несколько видов отказов (рис. 8–9): 39-01-010-К00 «обрыв обмотки»; 39–01–010-К01 «заклинивание»; 39-01-010-К02 «разгерметизация».

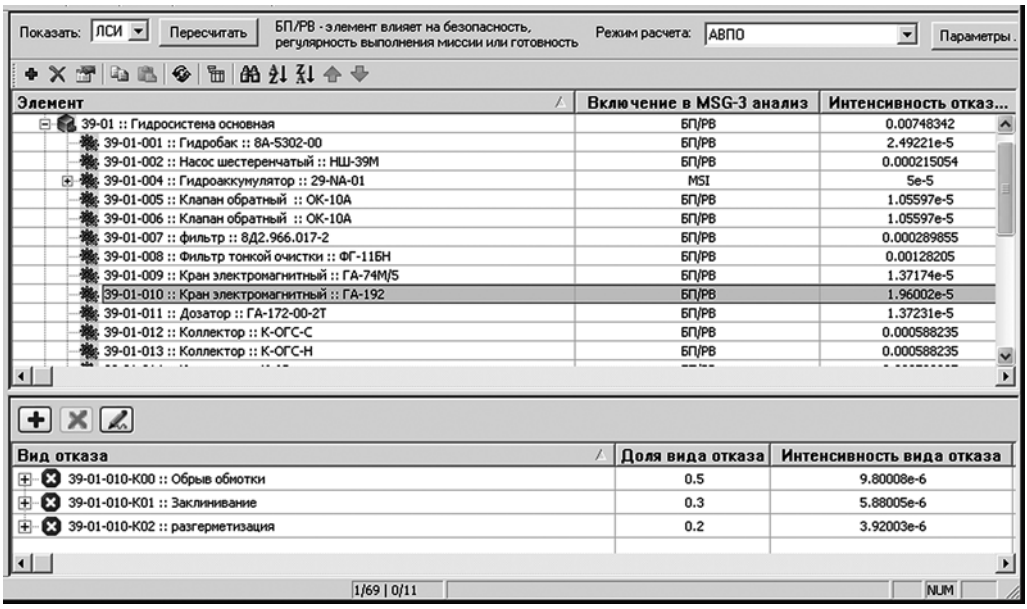


Рис. 8–9 Виды отказов элемента ЛСИ 39-01-010

Необходимо связать виды отказов элементов ЛСФ и ЛСИ (отказов ФС и СЧ), т. е. связать первичную причину с последствиями на уровне ФС. В нашем случае вид отказа «обрыв обмотки» «крана электромагнитного» (код вида отказа 39-01-009-К00), равно как вид отказа «заклинивание» (код вида отказа 39-01-009-К01) приводят к «невключению гидроусилителей» (код вида отказа 39-01-00-01-03-F00), что приводит к «неподаче рабочей жидкости к потребителям» (код вида отказа 039-01-F00, см. рис. 8–10).

Из приведенного примера следует, что возможной причиной отказов СЧ (в данном случае «Крана электромагнитного») может быть недостаточная износостойкость или недостаточная прочность его подвижных частей. Предполагаемые причины помечены на рисунке треугольниками с восклицательными знаками внутри.

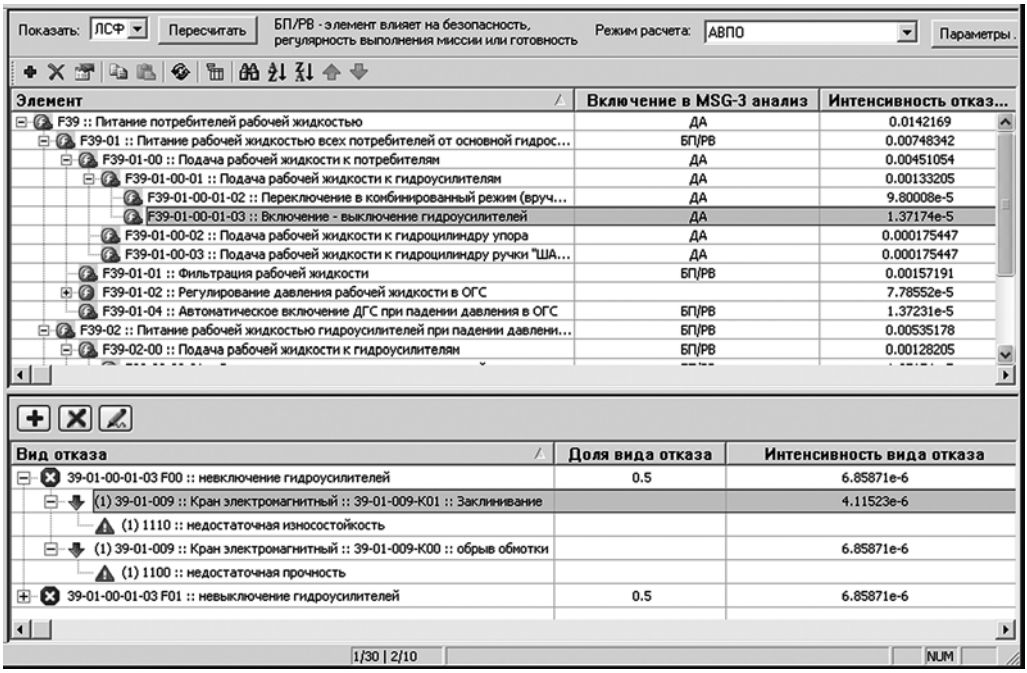


Рис. 8–10 Результат установления связей между видами отказов ФС и ее элементов

9. ПЛАНИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

9.1. Методы обоснования требований к составу и периодичности работ по ТО

9.1.1. Методология MSG-3

Планирование ТО заключается в определении еще на этапах разработки АТ требований к составу и периодичности работ планового ТО, выполнение которых обеспечивает необходимый уровень надежности и безопасности ВС. Одна из наиболее известных методик, используемых для решения таких задач для ВС гражданского назначения, изложена в документе ATA MSG-3 [48]. Ее развитие для ВС военного назначения приведено в спецификации ASD S4000M [49].

Это методическое руководство весьма общего характера и содержит ско-

рее не рабочую методику, а основные методические и организационные положения по формированию на этапах создания АТ требований к плановому ТО ФС и силовой конструкции АТ. Изложенные там принципы признаны в авиационной практике и нашли применение в других отраслях техники под названием RCM — Reliability-Centered Maintenance (ТО, обеспечивающее надежность, — [50], [51]).

Согласно ATA MSG-3 работы по ТО изделий АТ делятся на две основные группы:

- плановые работы, выполняемые через определенные интервалы наработки (срока службы), которые могут включать:
  1) контроль работоспособности/визуальный контроль,
  2) проверку (осмотр) и контроль исправности,
  3) плановое восстановление после выработки ресурса с последующим ремонтом или списанием элемента,
- неплановые работы, являющиеся результатом:
  1) плановых работ, в ходе которых выявлены отказы,
  2) сообщений об отказах и повреждениях (обычно со стороны летного экипажа),
  3) анализа полетной информации и других эксплуатационных данных.

Цель плановых работ — предотвратить снижение заложенных в конструкцию ВС уровней безопасности и надежности путем своевременного выявления и предупреждения скрытых отказов (иногда называемых также нарушениями скрытых функций) систем и (или) их элементов (см. подразд. 5.1). Цель неплановых работ — восстановить работоспособное состояние путем устранения обнаруженных отказов и (или) выполнения специальных видов работ (после грубой посадки, удара молнии и т.п.).

Эффективными признаются только те работы, которые необходимы для достижения поставленных целей и не содержат избыточных действий, увеличивающих стоимость ТО без позитивного влияния на надежность и готовность ВС.

Анализ функциональных систем

Обоснование эффективного состава работ по ТО выполняется с использованием процедур принятия решений, логика которых представлена в виде формализованных схем. Логическая последовательность анализа ориентирована на оценку последствий возможных отказов ФС в целом (называемых на практике функциональными отказами), а также на анализ их причин — возможных видов отказов элементов ФС. Выбор работ по плановому

ТО ВС выполняется в значительной степени экспертно, специализированными рабочими группами, в состав которых могут входить: конструкторы по соответствующим ФС, инженеры в области надежности, безопасности, эксплуатационной технологичности и другим дисциплинам, инженеры-испытатели, представители заказчика (эксплуатанта), если он заинтересован в таком участии.

Особенностью реализованного в MSG-3 подхода является предваряющее собственно анализ выделение в составе ВС ограниченного перечня элементов (в терминах разд. 7 — элементов ЛСИ), называемых в MSG-3 «элементами, важными в плане ТО» или «MSI». Процесс выделения таких элементов основан на анализе ожидаемых последствий возможных отказов MSI, перечень которых формируется на основе результатов АВПО (см. более подробно разд. 8). Он выполняется по уровням разукрупнения конструкции ВС «сверху вниз» путем экспертной оценки значимости отказов и выявления в составе ВС важных для планирования ТО элементов с наивысшим, поддающимся управлению, уровнем разукрупнения. При этом на практике в качестве MSI выбирается ФС или подсистема ВС, применительно к которой проводится дальнейшая группировка работ планового ТО входящих в MSI элементов конструкции ФС.

Для каждого конструктивно-сменного элемента (LRU в составе MSI) рассматриваются следующие конструктивные особенности и сопутствующие факторы:

- может ли отказ быть не обнаружен или обнаружен с малой вероятностью летным экипажем во время выполнения им обычных обязанностей?
- может ли отказ, в том числе отказ систем безопасности и аварийного оборудования, повлиять на безопасность (на земле или в полете)?
- может ли отказ иметь существенное влияние на летную эксплуатацию?
- может ли отказ иметь существенное влияние на экономику эксплуатации?

Элементы, для которых по крайней мере на один из четырех вопросов есть положительный ответ, относят к MSI и предусматривают проведение анализа их возможных отказов.

Пример использования результатов АВПО в ходе решения задач MSG-3 приведен на рис. 9–1.

Следующий этап работ по методике MSG-3 связан с выбором работ по ТО.

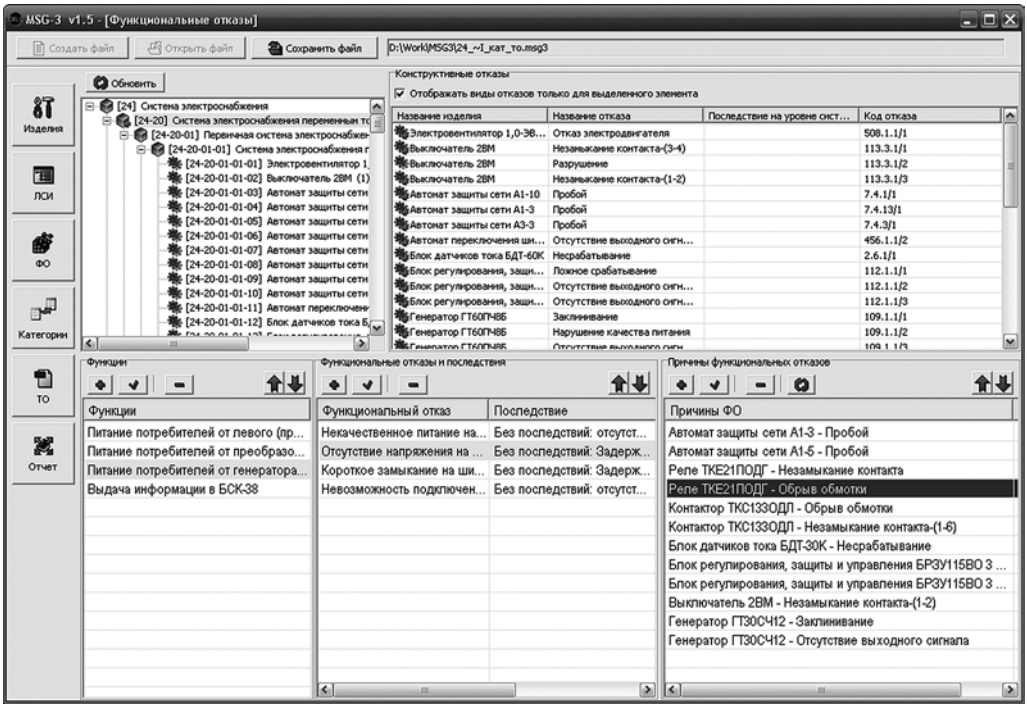


Рис. 9–1 Результаты АВПО в качестве исходных данных для MSG-3 анализа

Определение видов работ по ТО для ФС (включая СУ) осуществляется по логической схеме, приведенной на рис. 9–2. Схема имеет два уровня:

- уровень 1 (вопросы 1, 2, 3 и 4) требует определения для каждого ФО категории последствий, т.е. установления его влияния на безопасность, выполнение плана полета, экономику, безопасность с учетом отказа скрытой функции, т.е. функции, о нарушении которой летный экипаж не имеет информации, либо отказа скрытой функции, не влияющей на безопасность;
- уровень 2 (вопросы 5, 6, 7, 8 и 9 по категориям последствий A–F в соответствии с результатами первого уровня анализа) предусматривает анализ причин каждого из ФО, принятых для рассмотрения, в целях выбора приемлемых и эффективных работ по ТО.

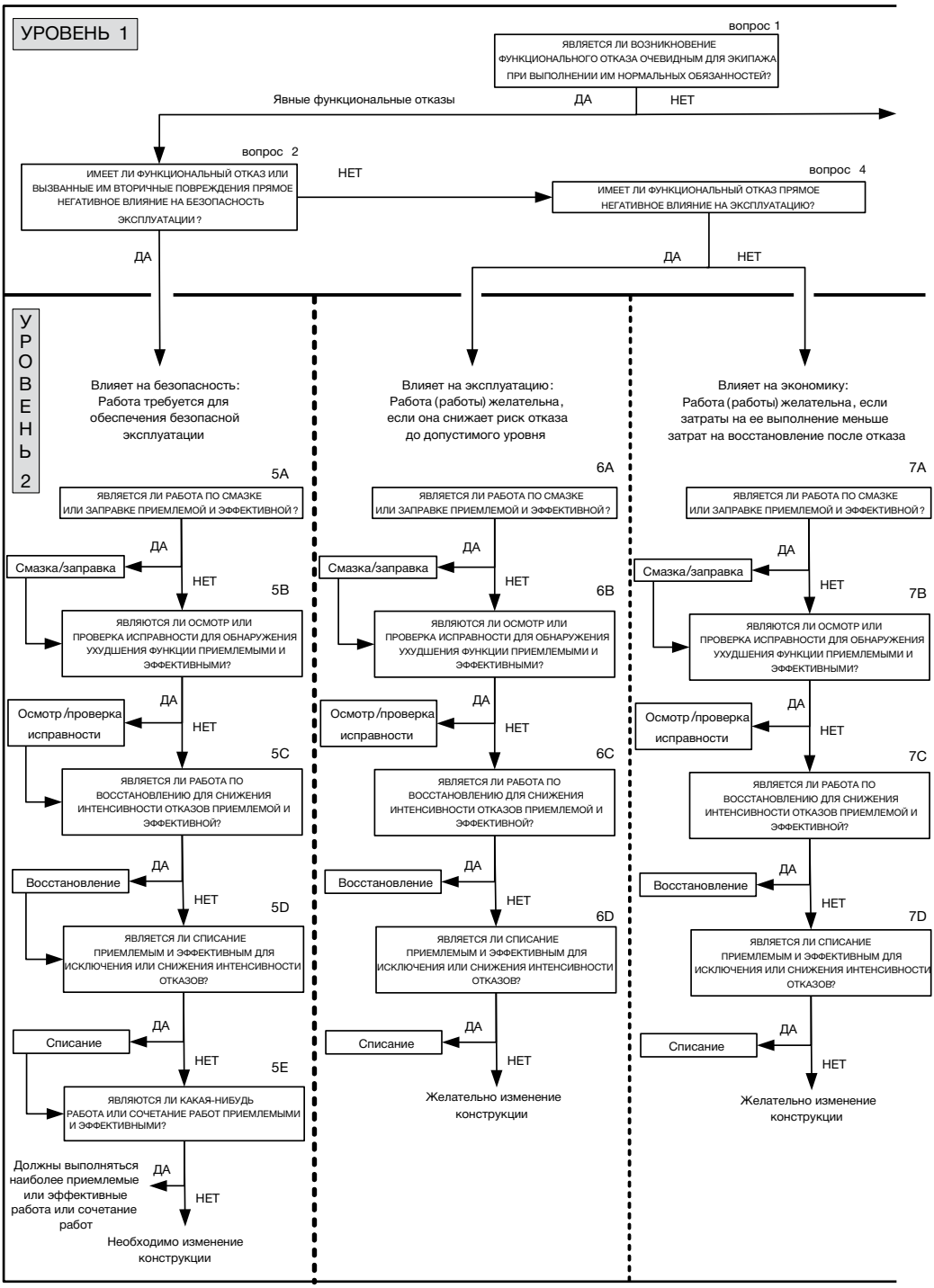


Рис. 9–2 а Логическая схема функциональных систем и силовой установки ВС. Явные функциональные отказы

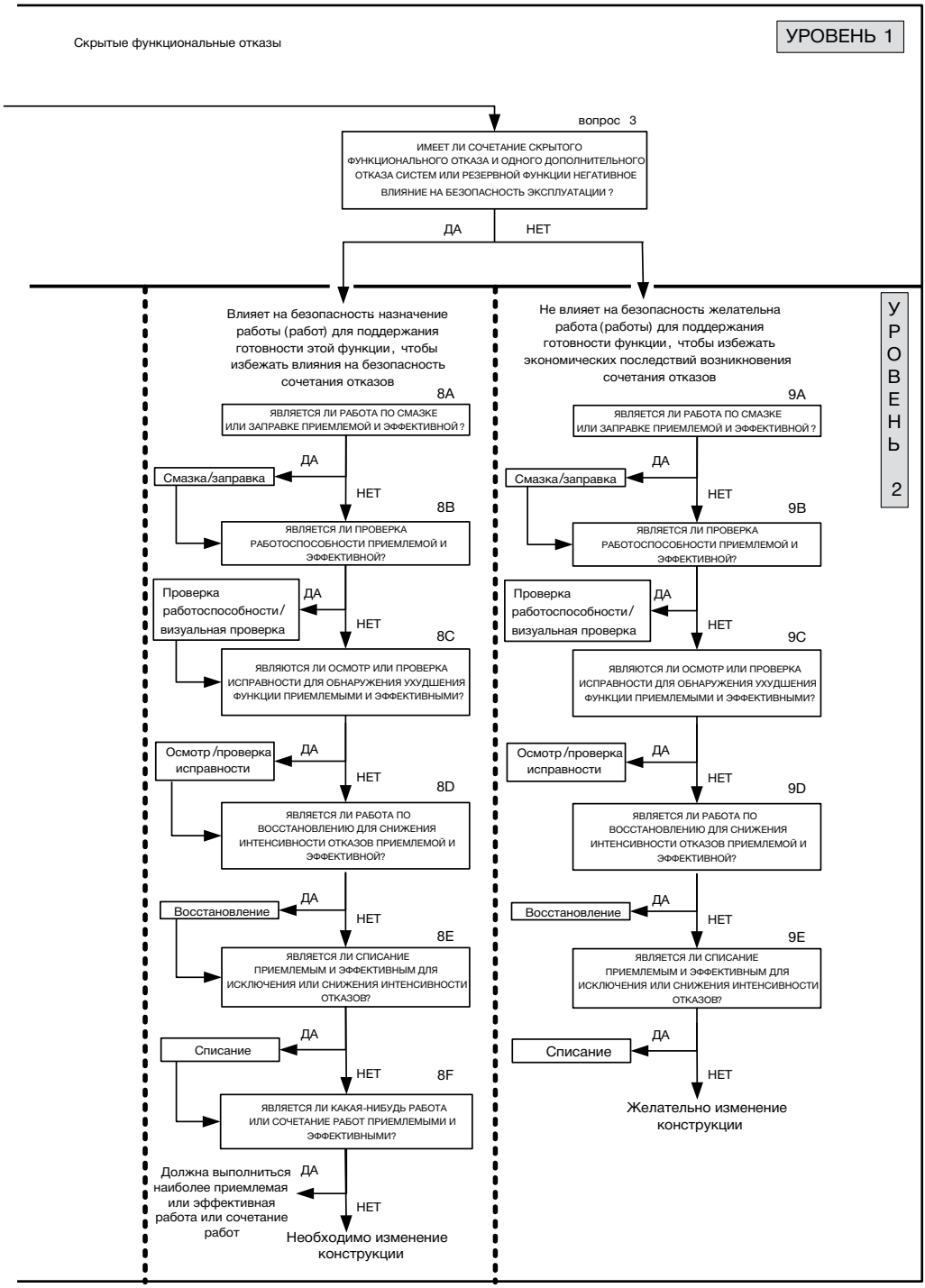


Рис. 9–2 б Логическая схема анализа функциональных систем и силовой установки ВС. Скрытые функциональные отказы

На первом уровне анализа рассматриваются четыре вопроса.

Вопрос 1: ***Можно ли отнести ФО в момент его возникновения к числу явных для экипажа ВС при выполнении им обычных обязанностей?***

Цель вопроса — в разделении явных и скрытых ФО. Ответ «ДА» означает, что ФО явный; переход к вопросу 2. Ответ «НЕТ» означает, что ФО скрытый; переход к вопросу 3.

Вопрос 2: ***Имеют ли ФО или вызванное им вторичное повреждение прямое негативное влияние на безопасность полетов?***

Чтобы иметь прямое влияние (ответ «Да»), ФО или обусловливаемое им вторичное повреждение должны вызывать последствия непосредственно, не в комбинации с другими ФО (резервирование отсутствует и изделие является основным в плане влияния его отказов на возможность вылета). Влияние на безопасность считается негативным, если последствия отказа не позволят безопасно завершить полет и выполнить посадку и (или) могут послужить причиной серьезного вреда здоровью или смерти людей на борту.

Ответ «НЕТ» означает, что последствия отказа связаны с выполнением плана полета или с экономикой эксплуатации, и должен быть задан вопрос 4.

Вопрос 3: ***Имеет ли комбинация скрытого ФО и одного дополнительного отказа связанной с ним или резервной функции системы влияние на безопасность полетов?***

Этот вопрос задается по каждому скрытому ФО, который был определен при ответе на вопрос 1, и предусматривает анализ отказов, при которых потеря одной скрытой функции (нарушение которой неизвестно экипажу ВС) само по себе не влияет на безопасность; однако в комбинации с дополнительным ФО (смежной или резервной системы) имеет негативное влияние на безопасность полетов.

Для скрытых функций систем безопасности или аварийного оборудования дополнительным отказом является событие, для парирования которого эта функция системы или оборудования предусмотрена, в этих случаях, если система не резервирована, должна быть присвоена категория последствий 8. Для резервированных систем, когда отказ системы остается скрытым при отказе первого канала резервирования, также назначается категория последствий 8. Это имеет место вне зависимости от того, пред-

усмотрена ли эта функция нормами или она вводится по желанию эксплуатанта.

Если определен ответ «ДА», то имеет место влияние на безопасность. Ответ «НЕТ» означает, что последствия не связаны с безопасностью полетов.

Вопрос 4: ***Имеет ли ФО прямое влияние на возможность планового завершения полета?***

Этот вопрос задается для выяснения, может ли ФО иметь неблагоприятное влияние на возможность продолжения полета, выражающееся:

a) необходимости введения дополнительных ограничений либо изменения профиля полета для его продолжения; или

b) необходимости использования экипажем ВС нештатных или аварийных процедур.

Этот вопрос задается по каждому явному ФО, не имеющему прямого негативного влияния на безопасность. Оценка, влияет или нет ФО на возможность планового завершения полета, может потребовать обращения к документации, содержащей правила летной эксплуатации.

Если ответ на этот вопрос «ДА», то ФО негативно влияет на возможность планового завершения. Ответ «НЕТ» означает, что имеет место влияние на экономику эксплуатации.

Результаты анализа могут быть представлены в форме набора документов, сформированных информационной системой (рис. 9–3).

В результате принятия решений по вопросам первого уровня анализа каждый ФО относится к одной из пяти категорий последствий, отражающих:

- влияние явных ФО на безопасность полетов (Категория 5 — Evident Safety — ES);
- влияние явных ФО на выполнение плана полета (Категория 6 — Evident Operational — EO);
- влияние явных ФО на экономику эксплуатации (Категория 7 — Evident Economic — EE);
- влияние скрытых ФО на безопасность (Категория 8 — Hidden Safety — HS);
- прочие последствия скрытых ФО (Категория 9 — Hidden Non-Safety — HN).

<u>Влияние явных ФО на безопасность (Категория 5)</u>

Категория ES должна рассматриваться с пониманием того, что работы

по ТО необходимы для обеспечения безопасной эксплуатации. Для этой категории должны быть заданы все вопросы соответствующей ветви логической схемы. Если ни одной эффективной работы по результатам анализа не будет выбрано, то обязательна доработка конструкции. Последовательность анализа для ФО категории ES приведена на рис. 9–2 а (*левая ветвь логической схемы*).

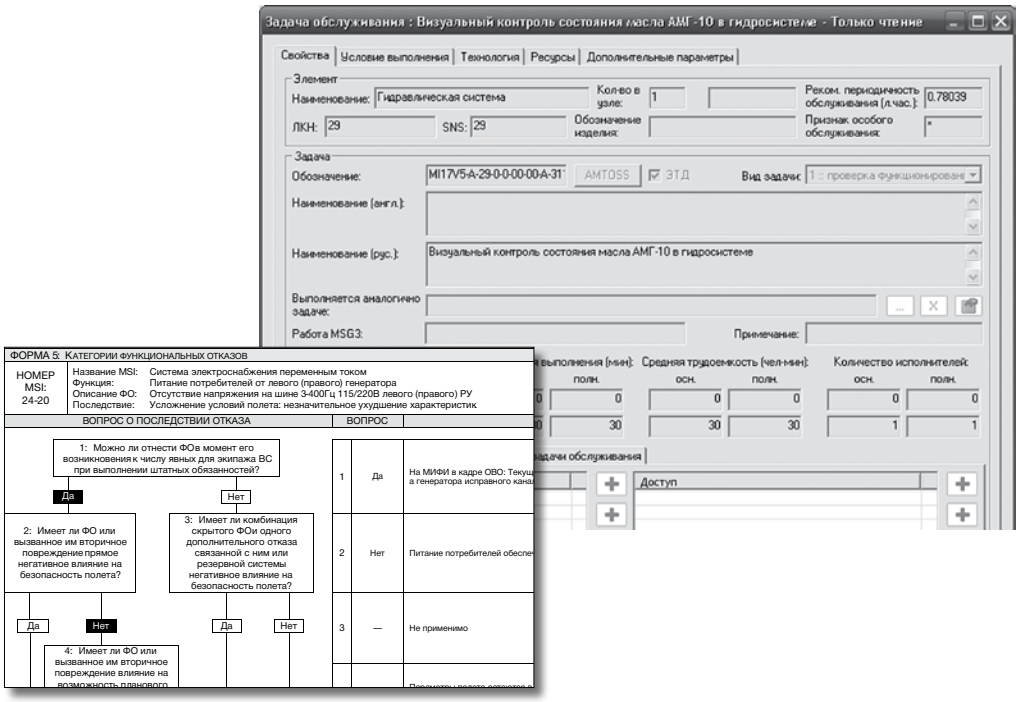


Рис. 9–3 Форма определения категории последствий функционального отказа MSI

<u>Влияние явных ФО на выполнение плана полета (Категория 6)</u>

Работы по ТО желательны, если они снижают риск отказа до приемлемого уровня. Анализ причин отказа по логической схеме начинается с обязательного рассмотрения первого вопроса (относительно смазки/обслуживание). На следующем шаге — ответ «ДА» завершает анализ и выбранная(ые) работа(ы) будет(ут) удовлетворять требованиям. Если все ответы «НЕТ» то не будет выбрано никаких работ по ТО. Если имеют место заметные эксплуатационные издержки в плане снижения регулярности полетов, то может быть целесообразна доработка конструкции. Последовательность анализа для ФО категории ЕО приведена на рис. 9–2 *а (средняя ветвь логической схемы)*.

Влияние явных ФО на экономику эксплуатации (Категория 7)

Работы по ТО желательны, если стоимость планового ТО меньше стоимости ремонта. Анализ причин отказа по логической схеме начинается с обязательного рассмотрения первого вопроса (относительно смазки/обслуживания). На следующем шаге ответ «ДА» завершает анализ и выбранная (ые) работа (ы) будет (ут) удовлетворять требованиям. Если все ответы «НЕТ», то не будет выбрано никаких работ по ТО. Если имеют место заметные экономические издержки, то может быть целесообразна доработка конструкции. Последовательность анализа для ФО категории ЕЕ приведена на рис. 9–2 а *(правая ветвь логической схемы)*.

Влияние скрытых ФО на безопасность (Категория 8)

Скрытые нарушения функций (ФО) категории HS требуют работ по ТО, выполнение которых исключит множественные отказы, влияющие на безопасность.

Подлежат рассмотрению все вопросы соответствующей ветви логической схемы. Если ни одной эффективной работы в результате анализа не будет выбрано, то обязательна доработка конструкции. Последовательность анализа для ФО категории HS приведена на рис. 9–2 б (*левая ветвь логической схемы*).

Прочие последствия скрытых ФО (Категория 9)

Категория HN показывает, что для данного ФО работы по ТО могут быть желательны для исключения влияния множественных отказов на экономику эксплуатации. Если все ответы «НЕТ», то не будет выбрано никаких работ по ТО, и если имеют место заметные экономические издержки, то может быть целесообразна доработка конструкции. Последовательность анализа для ФО категории HN приведена на рис. 9–2 б (*правая ветвь логической схемы*).

На втором уровне анализа производится выбор работ по ТО для каждой из пяти категорий последствий. Для определения состава работ по соответствующей логической схеме анализируются причины ФО, при этом последовательно рассматриваются шесть вопросов выбора работ в соответствии с категориями последствий ФО.

Смазка/технологическое обслуживание (все категории)

Вопросы 5А, 6А, 7А, 8А и 9А: ***Являются ли смазка / технологическое обслуживание приемлемыми и эффективными?***

Рассматривается любой вид смазки или ТО в целях поддержания заложенных в конструкцию характеристик.

Должны выполняться критерии:

- приемлемости (обслуживание должно снижать темп ухудшения качества функционирования);
- «эффективность — безопасность» (работа должна снижать риск отказа);
- «эффективность — выполнение плана полета» (работа должна снижать риск отказа до приемлемого уровня);
- «эффективность — экономика» (работа должна быть экономически эффективной, т.е. стоимость работы должна быть меньше стоимости устранения предупреждаемого ею отказа).

Контроль работоспособности/Визуальный контроль (только категории HS и HN для скрытых отказов)

Вопросы 8B и 9B: ***Является ли контроль работоспособности приемлемым и эффективным?***

Контроль работоспособности — это работа по определению того, может ли элемент выполнять функцию(ции) согласно его назначению. Визуальный контроль — это осмотр (наблюдение) для определения работоспособности элемента.

Должны выполняться критерии:

- приемлемости (возможность выявления вида отказа);
- «эффективность—безопасность» (работа должна обеспечивать готовность скрытой функции для снижения риска множественных отказов);
- «эффективность—экономика» (работа должна быть экономически эффективной).

Проверка (осмотр)/Контроль исправности (все категории)

Вопросы 5B, 6B, 7B, 8C и 9C: ***Является ли осмотр или контроль исправности для выявления ухудшения функционирования приемлемыми и эффективными?***

Проверка исправности может осуществляться в форме общего визуального осмотра, детального осмотра или специального детального осмотра.

Общий визуальный осмотр — это визуальный контроль зоны внутренней

или внешней части конструкции, агрегата или узла для выявления очевидного повреждения, отказа или отклонения.

Детальный осмотр — это тщательная визуальная проверка определенного изделия, агрегата или узла в целях выявления повреждения, отказа или отклонений. Может возникнуть необходимость в использовании вспомогательных средств контроля, такие как зеркала, увеличительные стекла и т. п. Могут требоваться процедуры очистки поверхности и обеспечения доступа.

Специальный детальный осмотр — это тщательная проверка определенного изделия, агрегата или узла в целях выявления повреждения, отказа или отклонений. Проверка предполагает интенсивное использование специальных методов и технологий контроля и (или) оборудования. Могут быть необходимы сложные процедуры очистки поверхности и обеспечения необходимого доступа либо разборки.

Контроль исправности — это количественный контроль, проводимый в целях установления того, выполняются ли одна или несколько функций элемента в соответствии с заданными требованиями.

Должны выполняться критерии:

- приемлемости (должны предусматриваться возможность выявления снижения устойчивости изделия к развитию отказа, а также достаточно устойчивый интервал между ухудшением состояния и функциональным отказом);
- «эффективность—безопасность» (работа должна снижать риск отказа в обеспечение безопасной эксплуатации);
- «эффективность—выполнение плана полета» (работа должна снижать риск отказа до приемлемого уровня);
- «эффективность—экономика» (работа должна быть экономически эффективной).

Восстановление (все категории)

Вопросы 5C, 6C, 7C, 8D и 9D: ***Являются ли плановые восстановительные работы для снижения частоты отказов приемлемыми и эффективными?***

Восстановление — это работа, необходимая для приведения элемента в состояние, соответствующее установленным требованиям. Должны выполняться критерии:

- приемлемости (к определенному сроку службы изделие может проявлять характеристики ухудшения функционирования, однако бóльшая доля парка изделий должна безотказно проработать в течение этого срока. Должна предусматриваться возможность восстановления изделия до заданного уровня устойчивости к развитию отказа);
- «эффективность—безопасность» (работа должна снижать риск отказа в обеспечение безопасной эксплуатации);
- «эффективность—выполнение плана полета» (работа должна снижать риск отказа до приемлемого уровня);
- «эффективность—экономика» (работа должна быть экономически эффективной).

Списание (все категории)

Вопросы 5D, 6D, 7D, 8E и 9E: ***Является ли плановое списание для предупреждения или снижения частоты отказов приемлемым и эффективным?***

Списание — это прекращение эксплуатации изделия при достижении установленного предела по ресурсу (сроку службы). Списание обычно применимо к неремонтируемым составным частям ВС.

Должны выполняться критерии:

- приемлемости (к определенному сроку службы изделие может проявлять характеристики ухудшения функционирования, однако бóльшая доля парка изделий должна безотказно проработать в течение этого срока);
- «эффективность—безопасность» (безопасный срок службы/ресурс должен снижать риск отказа);
- «эффективность—выполнение плана полета» (работа должна снижать риск отказа до приемлемого уровня);
- «эффективность—экономика» (срок службы/ресурс должен быть экономически обоснован, т.е. стоимость списания должна быть меньше затрат на устранение предупреждаемого отказа).

Комбинация работ (только категории ES и HS для отказов, влияющих на безопасность полетов)

Вопросы 5E и 8F: ***Является ли работа или комбинация работ приемлемой и эффективной?***

Поскольку это вопрос, относящийся к категории последствий по безопас-

ности, и требуется проведение работ по ТО, должны быть проанализированы все возможные пути обеспечения безопасности. Для этого необходим обзор всех приемлемых работ по ТО. По результатам такого рассмотрения должны быть выбраны наиболее эффективные работы по ТО.

В результате анализа для каждого вида отказа MSI формируется комплекс работ по ТО. Результат анализа может быть представлен в составе БД АЛП в виде рекомендуемого перечня работ по ТО, а также отчетного документа, автоматически формируемого информационной системой АЛП в ходе работы с логическими схемами (рис. 9–4).

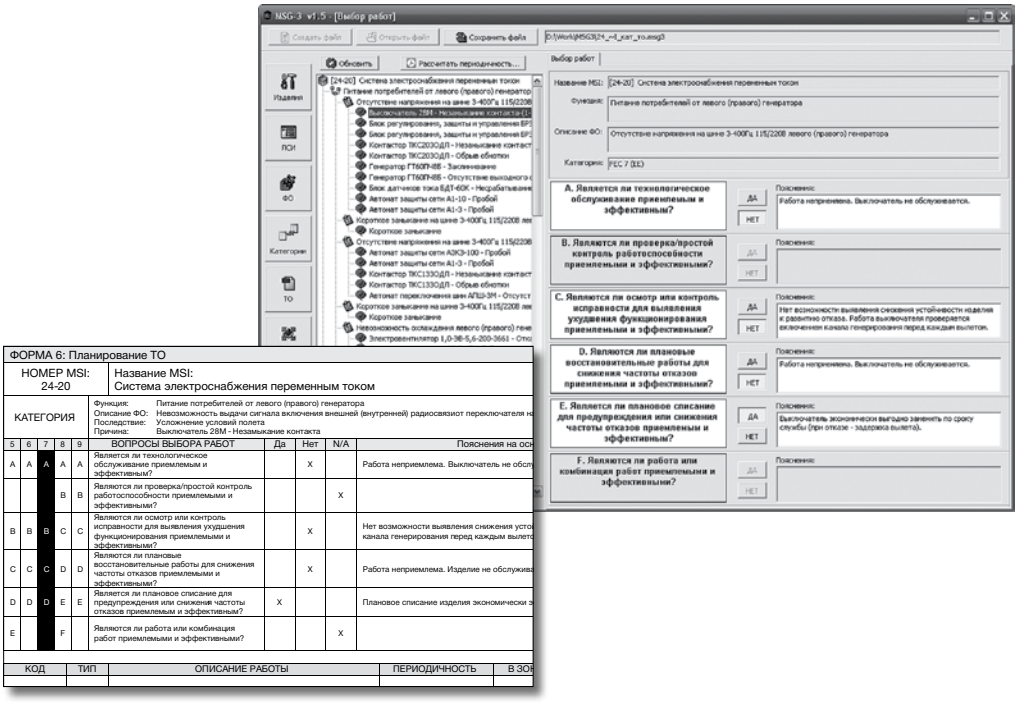


Рис. 9–4 Форма отчета по результатам выбора работ по ТО

Сертификационные требования к ТО

MSG-3 предусматривает дополнение выбранных по результатам анализа плановых работ по ТО особым перечнем плановых работ, именуемых в международной практике «сертификационные требования к ТО» или CMR. Речь идет об обязательных периодических работах, установленных в процессе сертификации типовой конструкции ВС в качестве эксплуатационного ограничения сертификата типа.

Происхождение этой категории работ связано с имеющими место в практике авиастроения случаями, когда в силу несовершенства конструкции возможен скрытый отказ, заметно влияющий на безопасность, но требующий больших затрат времени и (или) средств на его исключение либо снижение его вероятности. Для таких случаев международными стандартами Приложения 8 к Чикагской конвенции о международной гражданской авиации на государство разработчика ВС возлагается обязанность предоставлять сведения об особых требованиях к работам по ТО и их периодичности, установленных в качестве обязательных государством разработчика при утверждении типовой конструкции ВС [36].

Некоторые виды CMR требуют выполнения перед полетом определенных действий летного экипажа. При включении в CMR эти действия (процедуры) становятся обязательными и должны быть отражены в качестве таковых в утвержденном документе (руководстве), содержащем правила летной эксплуатации ВС.

В основу формирования CMR положен принцип, аналогичный формированию требований к плановому ТО и предусматривающий, что все скрытые отказы должны своевременно выявляться и устраняться. Поскольку методы выявления скрытых отказов могут включать использование систем контроля и предупреждения об отказах или проведение плановых работ по ТО (проверок работоспособности или исправности подсистем или элементов), то в качестве одного из специальных видов проверок и рассматриваются CMR, которые формируются организацией, разрабатывающей типовую конструкцию ВС, и утверждаются государством разработчика в процессе сертификации типа ВС. Обычно CMR включаются в состав ограничений летной годности ВС.

Выборочный контроль

Кроме того, в MSG-3 приведены некоторые общие рекомендации по методам выборочного контроля состояния ВС. Выборочный контроль — это осмотр или инструментальный контроль заданного числа элементов через определенные промежутки времени, чтобы убедиться в отсутствии ухудшения их характеристик.

Не попавшие в выборку элементы могут оставаться в эксплуатации до тех пор, пока результаты выборочного контроля не укажут на необходимость проведения дополнительного планового ТО.

Анализ силовой конструкции

Формирование требований к плановому ТО конструкции планера ВС производится на основе анализа значимости каждого элемента силовой конструкции для сохранения летной годности ВС, подверженности разным видам повреждений и степени сложности, связанной с выявлением каждого вида повреждения.

Понятие конструкции планера ВС включает все несущие нагрузку составные части, в том числе крыло, фюзеляж, оперение, узлы подвески двигателей, поверхности управления полетом и узлы их навески. Приводные части таких систем, как шасси, система управление полетом, двери, люки и т.д., рассматриваются как элементы ФС и анализируются в их составе. Узлы крепления приводов к планеру рассматриваются как его конструктивные элементы, однако, подвижные элементы, такие как шарнирные узлы системы управления, относятся к элементам ФС. Узлы стыковки агрегатов конструкции, не связанные с ФС ВС (например, узлы навески пилона и диагональные подкосы) и имеющие подшипники, рассматриваются как конструктивные элементы планера.

Выделяются важные и прочие элементы конструкции в соответствии с последствиями их отказов для безопасности полетов ВС:

- конструктивно важный элемент (SSI) — какая-либо деталь, элемент или агрегат, от которых существенно зависит восприятие полетных, наземных нагрузок, перепадов давления или управляющих нагрузок и отказы которых могли бы повлиять на конструктивную целостность, необходимую для безопасности ВС.
- прочая конструкция — это конструкция, элементы которой не отнесены к числу конструктивно важных, она определяется применительно как к внешним участкам конструкции, так и к внутренним, в пределах границ зон.

Основное назначение планового ТО конструкции планера — это поддержание заложенного в конструкцию уровня статической и усталостной прочности в течение всего срока эксплуатации ВС наиболее экономичным образом. Для достижения этого проверки и осмотры должны отвечать требованиям выявления повреждений, обоснованным при оценке повреждаемости по каждой из возможных причин.

Неметаллическая конструкция, выполненная их пластика, дерева, ткани и иных подобных материалов, включая композиционные материалы из неметаллов, подвержена повреждениям и (или) износу (например, расслаиванию и отклеиванию). Такая конструкция, классифицированная как SSI, будет требовать проведения проверок и осмотров в обеспечение ее прочности на

протяжении всего срока эксплуатации. Ее подверженность старению подлежит оценке с учетом условий эксплуатации, в первую очередь в таких зонах, как основные соединения, стыки с металлическими элементами и участки, подверженные высоким напряжениям.

Пороги начала выполнения проверок и осмотров и интервалы повторения устанавливаются для каждой причины повреждения.

Для случайного повреждения (AD) первый осмотр (порог) обычно устанавливается равным интервалу планового контроля, начиная с момента поступления ВС в эксплуатацию. Интервал повторения основывается на опыте эксплуатации аналогичных конструкций и обычно связан с периодичностью планового ТО.

Для повреждения от воздействия окружающей среды (ED) первоначальные пороги осмотров и интервалы повторения основываются на существующем опыте эксплуатации, рекомендациях разработчика и (или) установленном порядке продления срока службы.

Для усталостного повреждения (FD) интервалы контроля базируются на оценке допустимой повреждаемости.

В отношении предупреждения повреждений от воздействия окружающей среды используются программы предупреждения и контроля уровня коррозии (Corrosion Prevention and Control Program — CPCP).

Некоторая часть требований к осмотрам SSI и большинство требований к осмотрам элементов, отнесенных к «прочим конструкциям», могут быть реализованы в рамках программы зонных осмотров. Работы по ТО и периодичность их выполнения, включенные в программу зонных осмотров, должны основываться на опыте создания и эксплуатации подобных конструкций.

Методика формирования планового ТО планера укрупненно проиллюстрирована на логической схеме (рис. 9–5). Она предусматривает ряд процедур для принятия решений в такой последовательности:

1. Деление конструкции охватывает на зоны и конструктивные элементы его разработчиком.

2. Отнесение каждого элемента к SSI или к прочей конструкции на основе оценки последствий отказа или повреждения элемента в плане безопасности полетов ВС.

3. Элементы, категорированные как конструктивно важные, включаются в перечень SSI. Для этих элементов предусмотрены оценка устойчивости к повреждениям, а также анализ подверженности влиянию окружающей

среды и случайным повреждениям (AD/ED/CPCP, как для металлических, так и для неметаллических конструкций).

4. Элементы, отнесенные к «прочей конструкции», сравниваются с аналогичными элементами планеров существующих ВС, либо разработчиком планера принимаются решения, учитывающие новые материалы или конструктивные концепции.

5. Разработчик проводит два вида анализа: для металлических конструкций и неметаллических конструкций. Каждый SSI может состоять из металлических или неметаллических элементов, либо включать оба их вида.

6. Требования к работам по своевременному выявлению AD и ED устанавливаются для всех металлических SSI. Такие требования могут устанавливаться индивидуально для каждого SSI или для групп SSI, пригодных для совместной оценки с учетом их расположения, границ, условий доступа для осмотра, последовательности анализа и т. д.

7. Для каждого SSI, включающего металлическую конструкцию, определяются такие требования к ТО, чтобы рекомендации CPCP были выполнены.

8. Требования к проверкам и осмотрам, полученные в результате анализа ED, сравниваются с требованиями CPCP. Если они похожи или идентичны, то работы, включенные в связи с ED, будут перекрывать требования CPCP. Если требования CPCP не удовлетворены, то работы по выявлению ED должны быть пересмотрены и (или) дополнительные либо специальные работы включены в CPCP.

9. Каждый SSI, включающий неметаллическую конструкцию, оценивается на предмет чувствительности к случайным повреждениям с учетом расположения SSI, частоты воздействия источников повреждений и конкретного места повреждения.

10. Для SSI, содержащих неметаллическую конструкцию и отнесенных к числу подверженных AD, проводится оценка частоты воздействия каждого ожидаемого источника повреждений, вероятности множественных повреждений и их влияния на анализ ухудшения характеристик от воздействия окружающей среды.

11. При необходимости проводится анализ влияния случайных повреждений (AD) на выбор работ по ED, при этом SSI оценивается на предмет чувствительности к конструктивному исполнению и к окружающей среде с учетом марки (типа) материала.

12. Для всех SSI, включающих неметаллические конструкции, определяются требования к работам по своевременному обнаружению повреждения;

13. Все выбранные работы, следующие из анализа AD/ED, включаются в требования к плановому ТО планера.

14. Разработчик категорирует каждый SSI как устойчивый к повреждению (damage tolerant) или эксплуатируемый по «безопасному ресурсу» (safe-life).

15. Для каждого элемента, эксплуатируемого по «безопасному ресурсу», разработчик определяет предельную величину ресурса, которая включается в ограничения летной годности ВС, при этом для сохранения летной годности нет необходимости в проверках и осмотрах.

16. Все оставшиеся SSI являются устойчивыми к повреждению и разработчик определяет, зависит ли своевременное выявление усталостного повреждения от проведения плановых проверок и осмотров. Плановые осмотры, связанные с контролем усталостных повреждений, могут не требоваться для SSI, спроектированных с учетом работы при требуемой нагрузке при наличии повреждения, которое будет отчетливо выявляемо в процессе планового использования ВС.

17. Требования к работам по выявлению усталостных повреждений, подготовленные на основе выполненных разработчиком ВС оценок устойчивости конструкции к повреждениям, представляются на утверждение.

18. Могут потребоваться ужесточение требований к ТО (изменение вида работы и/или изменение условий доступа и (или) технологии выполнения), либо изменение конструкции SSI. В случае практической неприемлемости таких изменений для разработчика SSI должен быть классифицирован как эксплуатируемый по «безопасному ресурсу».

19. Требования к осмотрам по контролю усталостной повреждаемости включаются в перечень работ планового ТО планера.

20. В обеспечение процесса сертификации типа выбранные требования к осмотрам по контролю усталостной повреждаемости основных силовых элементов (PSE) должны быть перечислены в документе, содержащем ограничения летной годности.

21. Работы, полученные по результатам анализа AD, ED, FD (те, которые не относятся к ограничениям летной годности) и прочих конструкций, включаются в состав работ планового ТО планера.

22. Результирующие требования к ТО для всей конструкции планера передаются для утверждения и включения в требования к плановому ТО ВС в целом.

23. Часть Ограничений летной годности, относящаяся к ТО конструкции планера, как правило, оформляется отдельным документом (разделом).

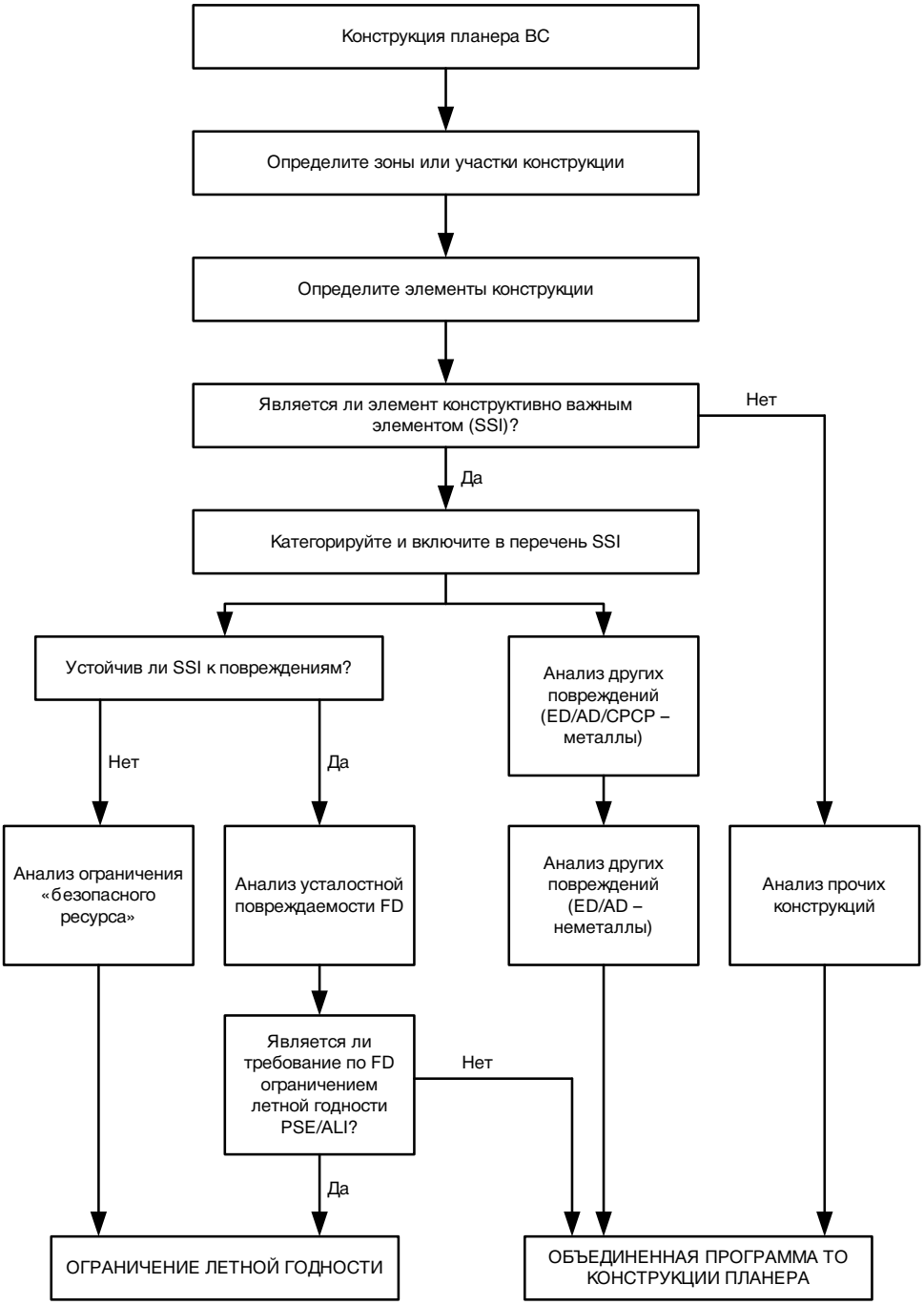


Рис. 9–5 Укрупненная логическая схема анализа конструкции планера ВС

Зонный анализ

Зонный анализ выполняется в целях разработки Программы зонных осмотров, включающей требования к визуальным осмотрам элементов конструкции и ФС, расположенным в данной зоне, выполняемым без использования специальных средств или с их применением, кроме того, рассматриваются работы по устранению повреждений и загрязнений в зоне (рис. 9–6).

Программа зонных осмотров имеет целью оценку состояния креплений элементов ФС, электропроводки и элементов конструкции, содержащихся в каждой зоне, а также выявление и устранение повреждений и скоплений пыли, грязи, натеков и др. Программа включает также выявление износа поверхностей трубопроводов, ослабления их креплений, повреждений и износа кабелей и тросовой проводки, выявление утечек жидкостей, контроль состояния металлизации и дренажей и т.д., включая условия для возникновения коррозии. Зонный осмотр не предназначен для контроля качества ТО по его завершении.

Программа зонных осмотров объединяет множество работ типа визуальных осмотров в единое целое для элементов систем и конструкции в пределах зоны.

Кроме того, в методике MSG-3 заметное внимание уделяется частному, но важному вопросу контроля состояния систем защиты ВС от электромагнитных полей высокой интенсивности и удара молнии (L/HIRF). Выделение этого раздела связано, по-видимому, с требованиями, принятыми в США по результатам расследования авиапроисшествий, поскольку в общем случае такой вид работ должен формироваться на основе общей методологии. В противном случае надо давать отдельные рекомендации по многим видам работ по ТО других, не менее важных ФС в составе ВС[26].

Документ содержит весьма общие рекомендации по решению рассматриваемой задачи. Каждый элемент системы защиты оценивается с точки зрения его подверженности ухудшению характеристик при воздействии внешней среды или случайном повреждении для выбора работы по ТО систем защиты от L/HIRF, представляемых на утверждение при сертификации типа ВС.

Используя логический анализ, основанный на оценке последствий отказа защиты, определяются виды работ планового ТО, которые приемлемы и эффективны, равно как и периодичность их выполнения (рис. 9–7).

---

[26] Например, в последние годы появились аналогичные особые требования к ТО систем электромонтажа (Electrical Wiring Interconnection System — EWIS), принятые после известной катастрофы самолета B-747 авиакомпании TWA 17.06.96 (рейс 800) вследствие воспламенения проводки в топливном баке, приведшего к взрыву вскоре после взлета и разрушению центроплана самолета.

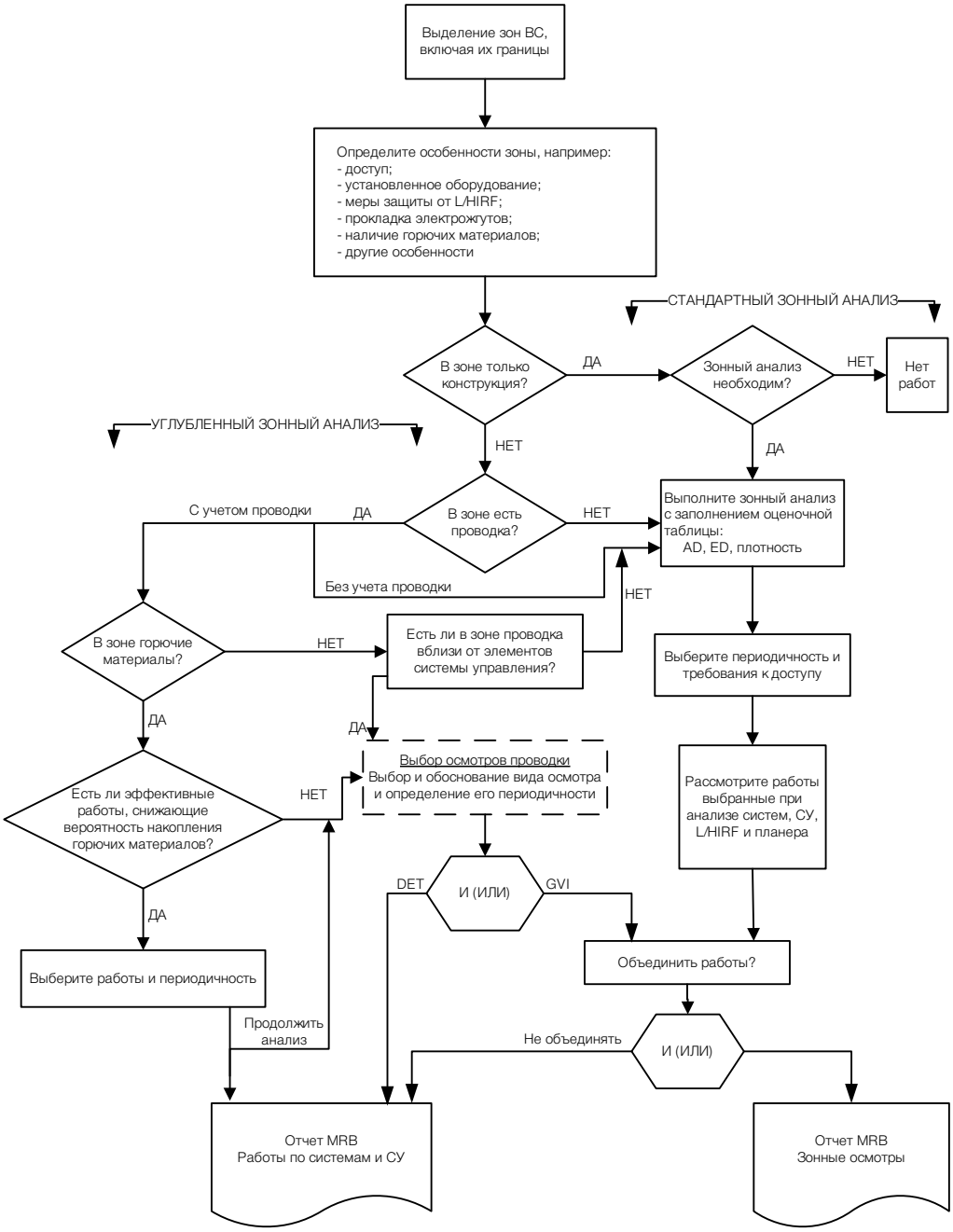


Рис. 9–6 Укрупненная логическая схема зонного анализа

В процессе анализа принимается допущение об общем характере ухудшения характеристик в локальной зоне анализа. При выборе работ систем защиты от L/HIRF оцениваются как внутренние, так и внешние элементы систем защиты. Работы по ТО систем защиты от L/HIRF разделяется на две категории:

- работы по средствам защиты от L/HIRF в конструктивно-сменных блоках (LRU);
- работы по внешним средствам защиты от L/HIRF на ВС.

Плановое ТО должно охватывать все рассмотренные системы защиты. Большинство из них охватывается зонными осмотрами. Там где зонное ТО не будет адекватно выявлять ухудшение состояния средств защиты, возможна разработка дополнительных требований к ТО.

В случаях, когда не выбраны работы по конкретным элементам защиты от L/HIRF, можно руководствоваться следующими концептуальными принципами:

1. Все видимые элементы защиты (провода, экраны, перемычки металлизации, кабельные каналы между соединителями или конечными точками) должны охватываться зонными осмотрами.

2. Защита внутри кабельного канала или радиатора проверяется при зонных осмотрах на целостность защитного покрытия.

3. Собственная проводимость конструкции ВС проверяется при зонных осмотрах.

4. Обтекатели из композитных материалов с проводящей сеткой проверяются при зонных осмотрах.

9.1.2. Развитие методологии MSG-3 в отечественной практике

Общие замечания

Методы планирования и оптимизации ТО, основанные на принципах RCM и MSG-3, развивались и в отечественной практике. Вместе с тем необходимо отметить, что методология MSG-3 не лишена ряда серьезных недостатков, что давно признано и зарубежными специалистами (см., например, [52]). Соответственно, идет процесс доработки этой методологии, который имеет особенности в отечественной практике.

К основным недостаткам MSG-3 можно отнести:

- низкую степень формализации алгоритмов и процедур анализа: документ MSG-3 — что-то вроде «библии» для экспертной элиты, его трудно применить без создания рабочей методики для конкретного проекта ВС;

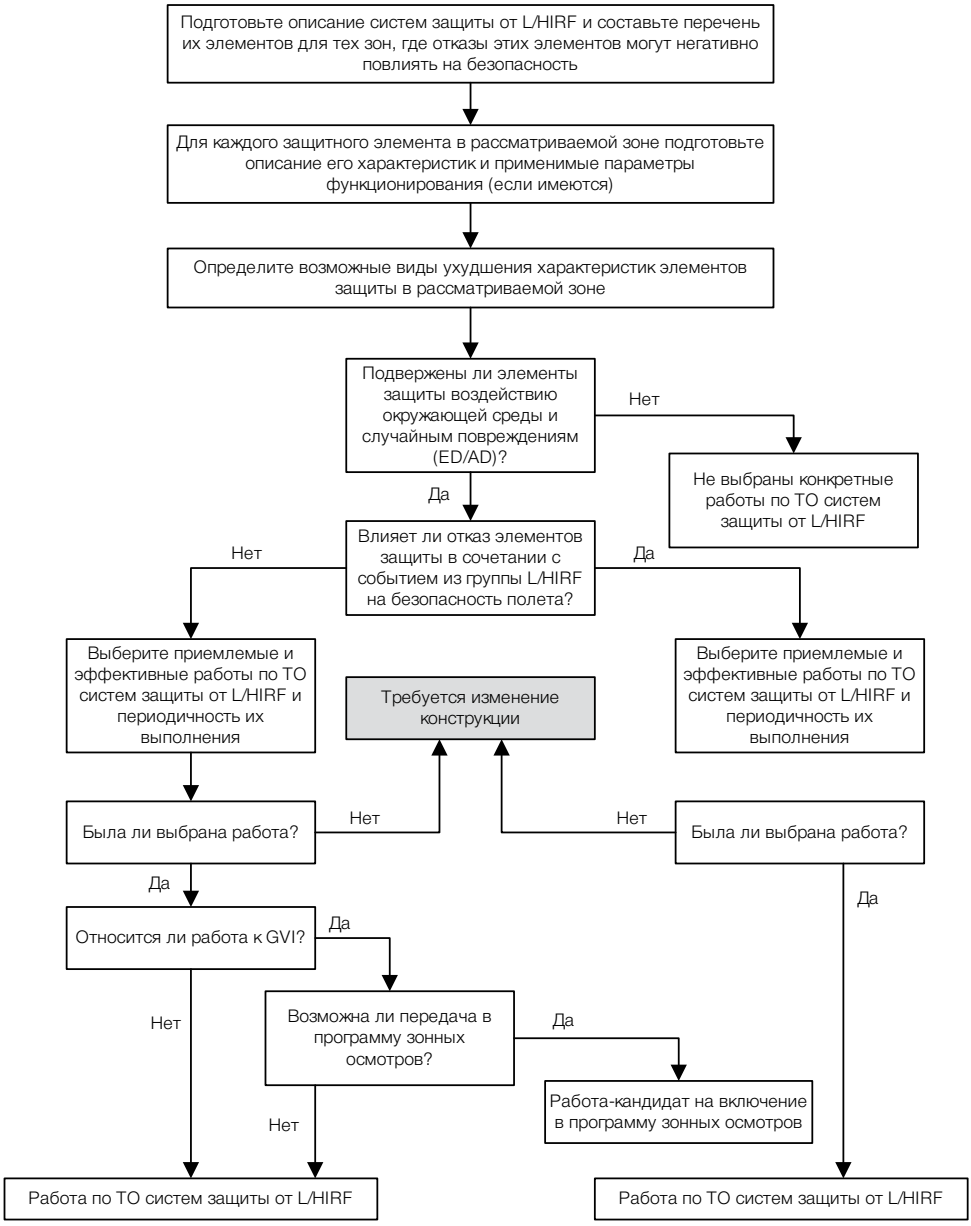


Рис. 9–7 Укрупненная логическая схема анализа систем защиты ВС от электромагнитных полей высокой интенсивности и удара молнии (L/HIRF)

- труднообъяснимый отказ от использования широко применяемых при обеспечении отказобезопасности ФС вероятностных и качественных (по видам особых ситуаций в полете) оценок отказов и их последствий;
- размытость в оценке последствий отказов по степени влияния на безопасность: вместо учета конкретных видов особых ситуаций в полете оценивается некое общее «влияние на безопасность»;
- отсутствие в ходе анализа регулярности полетов разделения задержек планового вылета и прерываний уже начатого полета (в виде прерванного взлета или вынужденной посадки), что негативно сказывается на оценке значимости (критичности) отказов и выборе работ по ТО;
- смешение видов отказов ФС в целом и видов отказов элементов ФС, что обусловлено использованием расплывчатого понятия MSI и его ФО (как было показан выше, MSI включает как ФС в целом, так и подсистему или элемент, блок, агрегат, модуль);
- отсутствие учета возможностей средств бортового автоматизированного контроля для выявления отказов (этот аспект только недавно начал рассматриваться в рамках рабочей группы ATA для совершенствования MSG-3);
- отсутствие количественных математических методов обоснования периодичности работ по ТО с учетом их влияния на безотказность ФС и летную годность типовой конструкции ВС — в MSG-3 есть лишь несколько абзацев с общими рекомендациями о подходе к экспертному выбору периодичности ТО.

Отечественные разработки в большей степени ориентированы на использование аналитических и имитационных математических моделей «надежность — система СТЭ», позволяющих оценивать надежность изделий АТ с учетом влияния видов ТО и периодичности их выполнения, что подтверждается опытом работ по повышению ЭТХ ВС (безопасности, надежности, эксплуатационной технологичности) за полувековой период. Весьма широкое применение получила, например, методология анализа надежности и отказобезопасности, разработанная на основе теории марковских процессов, которая использует математически корректные, но упрощенные количественные зависимости между характеристиками системы ТО и показателями надежности и безопасности ВС ([40], [53]).

Общей при любом методическом подходе целью разработки требований к плановому ТО является снижение эксплуатационных затрат при сохране-

нии летной годности ВС. Понятно, что в общей постановке при наличии всей необходимой исходной информации количественное подтверждение эффективности плана ТО ВС означает обеспечение заданных вероятностных показателей безопасности и эффективности применения ВС при минимизации удельных затрат на ТО. При этом основной трудностью является количественное подтверждение выполнения проектных требований к ВС, для чего необходима адекватная аналитическая модель для оценки влияния ТО на критерии безопасности и эффективности ВС.

Реальной альтернативой строгому количественному подходу действительно является применение предложенного в MSG-3 качественного инженерного анализа по выбору методов технической эксплуатации и работ по ТО ВС. Однако его целесообразно сочетать с количественной оптимизацией периодичности ТО на основе математической модели влияния планового ТО на надежность и безопасность бортовых ФС. Это позволяет формализовано анализировать влияние возможных отказов систем и их элементов на безопасность, регулярность полетов и экономичность эксплуатации ВС.

Накопленный в российской авиации опыт позволил предложить оригинальный методический подход, основанный на принципах RCM (MSG-3), который был опубликован в виде специального руководства по разработке программы ТО для ВС гражданского назначения [54]. Отечественная методология формирования требований к плановому ТО в авиационной практике включает:

- методику анализа ФС (основана на принципах RCM, но существенно расширена и детализирована);
- методику анализа конструкции планера;
- методику формирования программы зонных осмотров и анализа систем защиты от молнии и электромагнитных полей высокой интенсивности (основана на положениях RCM);
- методику выбора периодичности плановых работ (оригинальная отечественная разработка [37]).

Анализ функциональных систем

Методика анализа ФС, включая системы СУ, для выбора приемлемых и эффективных работ по ТО предполагает использование в качестве исходных данных результаты анализа надежности и отказобезопасности, начиная с ранних этапов создания ВС.

По аналогии с MSG-3 работы по ТО элементов ФС можно разделить на две основные группы: плановые контрольные, профилактические, восстановительные работы и неплановые работы по результатам контроля при ТО и в полете. Цель плановых работ — предотвратить снижение заложенных в конструкцию изделия уровней безопасности и надежности. Цель неплановых работ — привести ВС в работоспособное состояние путем устранения обнаруженных отказов и (или) выполнения специальных видов работ (после грубой посадки, удара молнии и т. п.).

Выбор методов технической эксплуатации 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 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. В зависимости от характеристик надежности элементов и последствий возможных видов их отказов:

- устанавливаются категории важности возможных видов отказов элементов (аналог оценки критичности отказа в классическом машиностроительном АВПКО);
- 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 бóльшую целенаправленность, поскольку в зависимости от выбранного метода ТЭ в первую очередь рассматриваются характерные для этого метода виды работ по ТО. Кроме того, обоснование допустимого метода ТЭ элемента разработчиком ВС позволяет более четко формировать требования к поставщикам покупных КИ, включая гарантийные и иные контрактные обязательства.

Завершается логическая часть анализа выбором по каждому виду отказа элементов ФС эффективных работ по ТО. Результаты логического анализа используются далее при обосновании рациональной периодичности плановых работ, которое предлагается выполнять с привлечением количественных методов анализа.

Для элементов ФС возможно применение одного из трех методов ТЭ, определяемых видом предельного состояния (отказ, предотказное состояние, выработка ресурса): ТЭО, ТЭП или 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 относятся к ТЭС, то есть предусматривают эксплуатацию элементов без установления для них ресурсов и сроков службы (до первого ремонта, межремонтных и иных). При выборе методов ТЭ в рамках логического анализа приняты следующие априорные положения:

- наиболее предпочтительным из экономических соображений является ТЭО;
- при достаточной достоверности контроля и прогнозирования технического состояния элементов ТЭП более экономичен, чем ТЭР;
- при условии существенного возрастания интенсивности отказов элемента с увеличением наработки и фиксированном составе профилактических работ ТЭП обеспечивает более высокий уровень надежности элемента, чем ТЭО.

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.

Первый уровень анализа проводится с использованием логической схемы анализа последствий возможных отказов ФС и необходимости планового контроля ФС в целом при ТО, приведенной на рис. 9–8. Результаты анализа вносятся в рабочую форму, пример заполнения которой приведен на рис. 9–9. Эти результаты используются на этапах выбора методов ТЭ и работ по ТО.

В процессе анализа по логической схеме первого уровня анализа определяется категория последствий $K_{\text{пос}}$ каждого из рассматриваемых видов отказов ФС и оценивается необходимость планового контроля ее работоспособности при ТО либо обосновывается необходимость соответствующих доработок (мер по устранению недостатков) конструкции ФС.

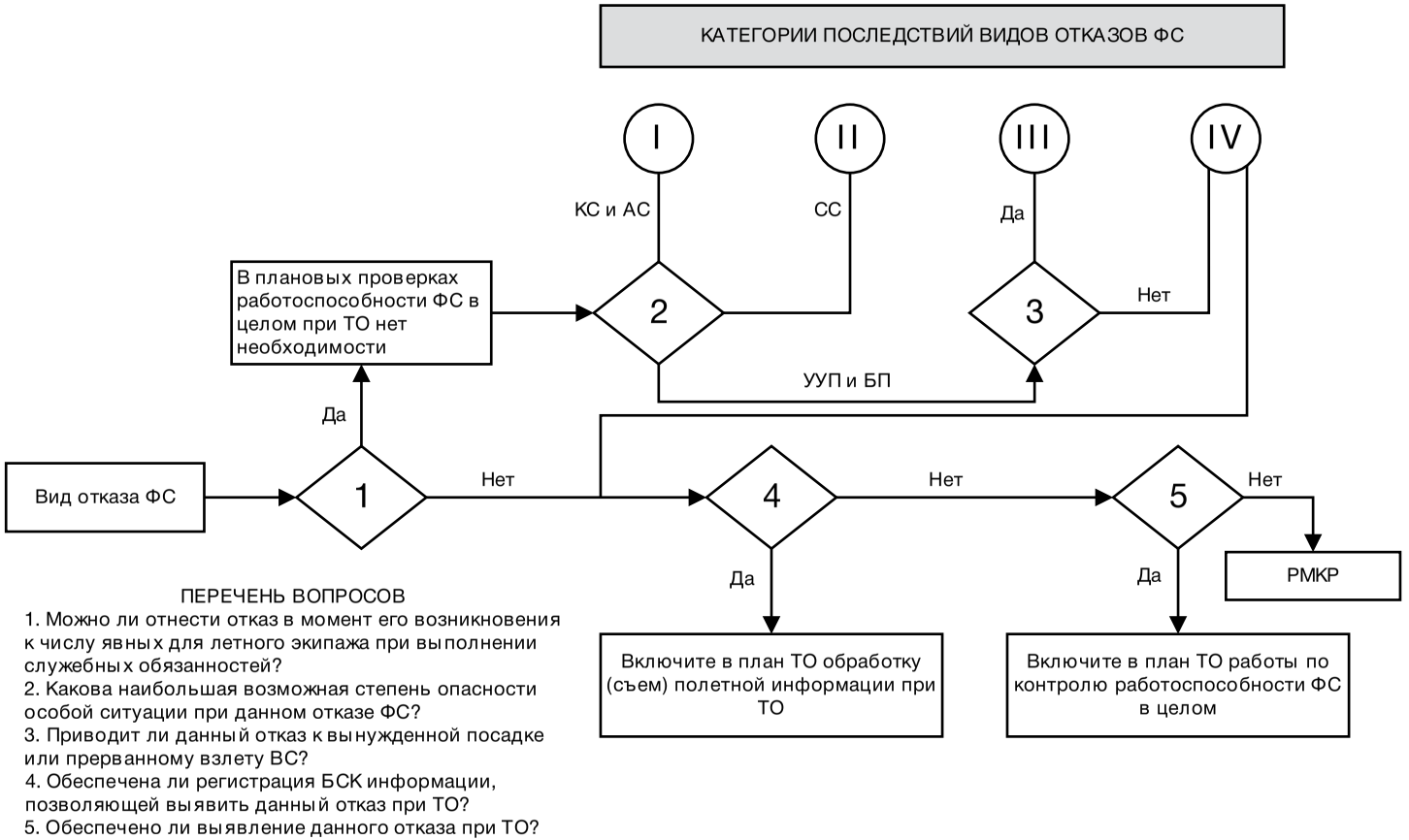


Рис. 9–8 Логическая схема анализа последствий возможных отказов ФС и необходимости планового контроля ФС в целом при ТО

Категория последствий вида отказа ФС (аналог КТПО) в этом случае характеризует степенью опасности особой ситуации, к которой он приводит в полете, и (или) необходимостью прерывания полета, т.е. отражает влияние вида отказа на безопасность и регулярность полетов. Влияние отказа на готовность ВС, связанную с задержками или отменами вылета (регулярность вылетов), рассматривается на следующем этапе при анализе отказов элементов.

При анализе приняты следующие четыре категории последствий (по аналогии с классификацией, рассмотренной в подразд. 8.1):

- **I категория** — отказ приводит к КС или АС;
- **II категория** — 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, т.е. выполняется прерванный взлет или иное изменение плана полета);
- **III категория** — отказ приводит к УУП и прерыванию полета (прерванному взлету или вынужденной посадке);
- **IV категория** — 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 (меньше ее номер), тем выше (при прочих равных условиях) требования к надежности элементов, отказы которых являются причинами рассматриваемого вида отказа ФС.

По логической схеме, приведенной на рис. 9–8, анализируются все принятые для рассмотрения виды отказов ФС в целом. Вопрос 1 задается для оценки того, будет ли летный экипаж иметь информацию о потере (отказе) функции при условии, что он выполняет свои обычные обязанности. Это необходимо для разделения явных и скрытых видов отказов.

При положительном ответе на вопрос 1 для явных отказов плановые работы по контролю работоспособности ФС в целом при ТО не проводятся, поскольку допускается, что достоверность контроля экипажем в полете достаточна. Во всех остальных случаях требуются плановый контроль работоспособности ФС в целом либо плановая обработка полетной информации, зарегистрированной БСК в полете и содержащей сведения о скрытых от экипажа отказах ФС в целом.

Отказ считается явным, если нарушаемая функция реализуется в каждом полете, и экипаж располагает информацией, позволяющей достоверно определить в полете факт отказа, а 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, рис. 9–8), возможно потребуется 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, относящимися к I категории последствий.

Ответ на вопрос 3 (рис. 9–8) позволяет отнести отказ, приводящий к УУП, к III или IV категории последствий.

В случае регистрации БСК данных о скрытом отказе (вопрос 4 на рис. 9–8) предусматривается использование этой информации при ТО. В этом случае в план ТО включаются указания относительно обработки информации с бортового эксплуатационного накопителя. Работы, связанные с использованием этой информации для устранения отказа или отнесения его к числу допустимых при вылете (согласно ТМПО), 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 меры, направленные на обеспечение контроля работоспособности (графа 6 рабочей формы анализа, рис. 9–9).

Выбор и обоснование эффективных работ, обеспечивающих контроль работоспособности ФС при ТО, производятся в соответствии с указаниями, которые будут рассмотрены ниже применительно к выбору работ по ТО элементов ФС.

Второй уровень анализа проводится с использованием логической схемы выбора категорий важности видов отказов и методов ТЭ элементов ФС, приведенной на рис. 9–10.

На основании исходных данных заполняются графы рабочей формы вто-

рого уровня анализа, пример заполнения которой приведен на рис. 9–11. В рабочей форме величина параметра m_β функциональной значимости β-го вида отказа элемента определяется минимальным количеством 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 для данного вида отказа ФС, например:

$m_\beta = 1$, 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;

$m_\beta = 3$, если β-й вид отказа элемента приводит к отказу ФС только в сочетании с отказами двух других элементов.

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, опасное сближение ВС с препятствием и т.д.), приводящие к включению в работу рассматриваемого элемента. Например, отказ блока противопожарной системы, приводящий к потере ее работоспособности, является единичным (m_β=1), если рассматривается в нормальном полете, и двойным (m_β=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 должно соответствовать формулировке рассматриваемого вида отказа ФС.

В графе 4 рабочей формы (см. рис. 9–11) указывается категория последствий, определенная на первом уровне анализа вида отказа ФС, к которому самостоятельно или в сочетании с другими событиями приводит рассматриваемый вид отказа элемента. Рассматриваемый вид отказа элемента может являться причиной нескольких видов отказов ФС (входить в разные функции отказности, а также в разные сочетания отказов элементов в пределах одной функции отказности). Рассмотрению и дальнейшему анализу подлежат только наиболее неблагоприятные (в смысле влияния на безопасность и регулярность полетов) сочетания последствий отказов ФС и параметра m_β рассматриваемого вида отказа элемента.

Применительно к одному и тому же виду отказа элемента такие сочетания выбираются на основании рассмотрения функций отказности и отбора наиболее тяжелых последствий ($К_{\text{пос}}$) для каждого из параметров m_β. При анализе 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.

Правил выбора указанных сочетаний иллюстрирует следующий пример.

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

$Q_1 = q_{1,1}\, q_{2,1} + q_{3,1}\, q_{5,1}$; $K_{\text{пос}_1} = \text{IV}$ $m_\beta = 2$ => рассматривается для отказа $q_{3,1}$

$Q_2 = q_{4,2} + q_{2,1}\, q_{8,1}$; $K_{\text{пос}_2} = \text{I}$ $m_\beta = 2$ => рассматривается для отказа $q_{2,1}$

$Q_3 = q_{2,1}\, q_{3,1}\, q_{4,1}$; $K_{\text{пос}_3} = \text{I}$ $m_\beta = 3$ => рассматривается для отказа $q_{3,1}$

$Q_4 = q_{2,1} + q_{4,1}$; $K_{\text{пос}_4} = \text{II}$ $m_\beta = 1$ => рассматривается для отказа $q_{2,1}$.

Тогда категории последствий видов отказов Q_1, Q_2, Q_3 и Q_4 соответственно будут следующие: IV, I, I и II.

В результате такого отбора для каждого вида отказа каждого типа элемента ФС будут определены множества наиболее неблагоприятных сочетаний $K_{\text{пос}}$ и m_β, с которыми осуществляется вход в логическую схему выбора категорий важности отказов и методов ТЭ элементов в составе ФС. При этом, если для одного вида отказа существуют два или более сочетания, различающиеся как категориями последствий, так и параметрами функциональной значимости, то при анализе рассматриваются все эти сочетания.

Оценка вероятности отказов при анализе дается на основе исходных данных по надежности (графы 1–6 рабочей формы на рис. 9–11) с помощью логической схемы второго уровня анализа (рис. 9–10), с использованием которой определяются категории важности видов отказов элементов и выбираются методы их ТЭ (графа 7 рабочей формы на рис. 9–11).

Установление категорий важности отказов элементов необходимо для последующего формирования состава работ по ТО. Чем выше категория, тем выше должны быть требования к эффективности выбираемых работ. Категории важности отказов обозначены цифрами в кружках (от 1 до 3) в порядке снижения значимости (понижения категории) отказов элемента в смысле влияния на указанные выше свойства ВС (рис. 9–10).

Все возможные виды отказов элементов анализируются по одной из частей логической схемы в зависимости от категорий последствий видов отка-

зов ФС, причинами которых являются рассматриваемые виды отказов элементов. Видам отказов элементов, имеющим параметр $m_\beta > 1$ при IV категории последствий, вне зависимости от их вероятности, а также $m_\beta \geq 3$ для I категории последствий и $m_\beta \geq 2$ для II и III категорий и являющимся УВ,— устанавливается категория важности «3» и назначается ТЭО. Для остальных случаев возможно применение лишь ТЭП или ТЭР.

В результате анализа для каждого вида отказа устанавливаются категория важности и рекомендуемый для нее метод ТЭ. Если одному виду отказа соответствует несколько строк в графах 3 и 4 рабочей формы, то необходимо проанализировать по схеме каждое из этих сочетаний, а в результирующую графу 7 этой рабочей формы 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 вида отказа 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 ТЭП или ТЭР. Однозначный выбор метода ТЭ обеспечивается ответом на вопрос 9 (см. рис. 9–10).

Метод ТЭП назначается элементу ФС только при следующих условиях:

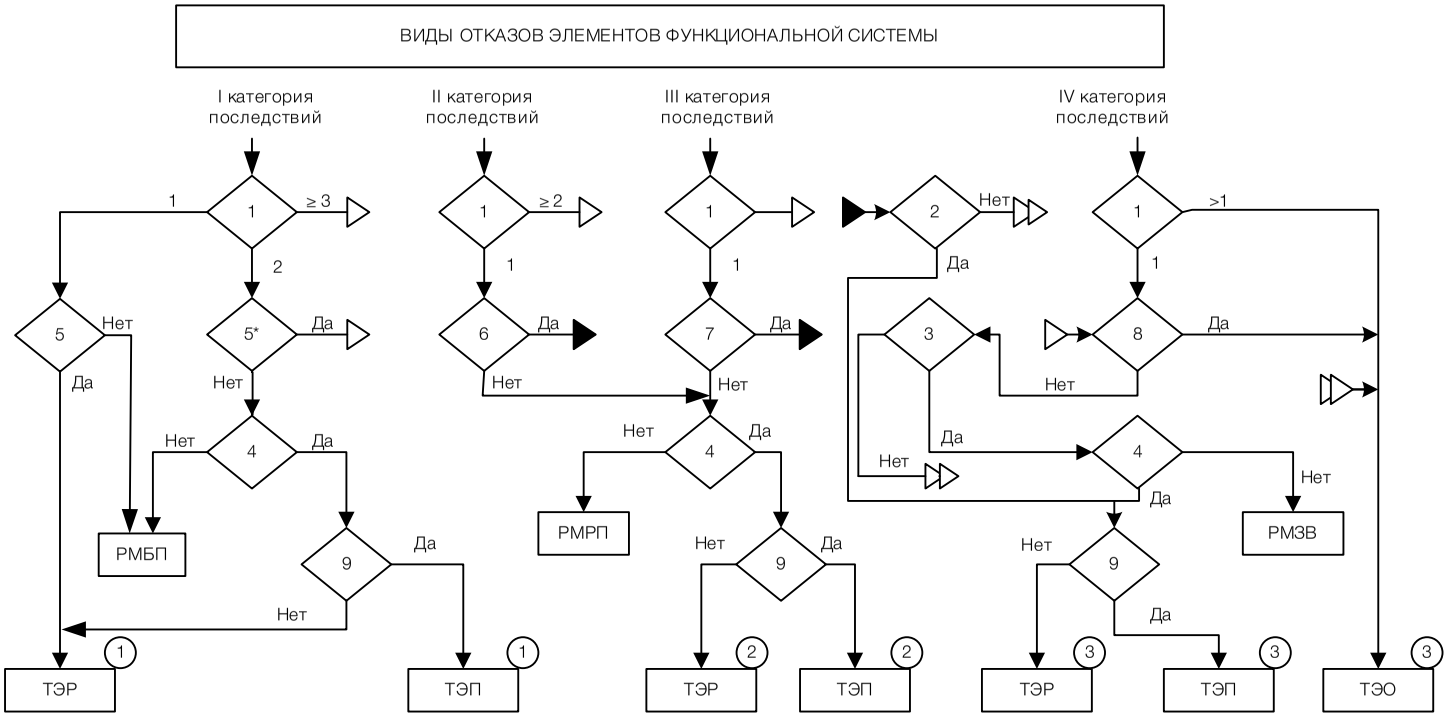
- наличие параметров, с достаточной достоверностью определяющих предотказное состояние элемента;
- наличие технического и методического обеспечения для контроля состояния элемента, возможности его восстановления (замены) при достижении предотказного состояния.

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 категории важности «1». При этом величина ресурса такого элемента должна обеспечивать практическую невероятность его отказа в пределах этого ресурса.

КОД: 24.50.00 СИСТЕМА/ПОДСИСТЕМА		СИСТЕМА: СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (СЭС)			
КОД ОТКАЗА	ВИД ОТКАЗА ФС	ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ ПЕРВОГО УРОВНЯ АНАЛИЗА		КАТЕГОРИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ $К_{пос}$	ОБОСНОВАНИЕ ОТВЕТОВ. ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ В ЦЕЛОМ ПРИ ТО (ИЛИ ДОРАБОТКИ)
		№ вопроса	Ответ		
1	2	3	4	5	6
24	Уменьшение располагаемой мощности по переменному току на 50 %	1	Да	IV	Отказ выявляется по информации комплексной системы контроля. 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 по информации комплексной системы контроля. В плановом контроле работоспособности СЭС в целом при ТО нет необходимости
		2	СС		

Рис. 9–9 Данные для разработки плана ТО. Первый уровень анализа



ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ

1. Каков параметр функциональной значимости данного вида отказа элемента?
2. Относится ли данный вид отказа к отказам механических элементов?
3. Приводит ли вид отказа к задержке вылета?
4. Существенно ли зависит частота отказа от наработки?
5. Является ли данный отказ не более частым, чем ПНВ?
5*. Является ли сочетание отказов не более частым, чем ПНВ?
6. Является ли отказ не более частым, чем КМВ?
7. Является ли отказ не более частым, чем МВ?
8. Является ли отказ не более частым, чем УВ?
9. Возможен ли контроль предотказного состояния элемента по данному виду отказа?

Рис. 9–10 Логическая схема выбора категорий важности видов отказов и методов ТЭ элементов в составе ФС

В случае выявления несоответствия характеристик рассматриваемого отказа элемента принятым при логическом анализе критериям принимается решение о необходимости доработки (разработки соответствующих мер) либо в обеспечение безопасности полета (РМБП), либо — регулярности полета (РМРП), либо — регулярности вылета (РМЗВ). Это решение также записывается в столбец 7 рабочей формы. Принятие такого решения необходимо в том случае, когда уровень надежности элемента не позволяет эксплуатировать его до безопасного отказа, и при этом надежность элемента не снижается по мере роста наработки, т.е. нет возможности выбрать соответствующую величину ресурса или периодичности контроля предотказного состояния элемента, гарантирующую нужный уровень надежности.

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

а) совершенствование схемных решений ФС (резервирование, блокировки ошибочных действий экипажа и т.д.) в целях увеличения параметра m_β элемента (путем повышения кратности резервирования) или снижения категории последствий видов отказов ФС;

б) совершенствование конструкции, материалов, технологии изготовления элемента и (или) улучшение условий его работы для повышения надежности по данному виду отказа.

Элементы, по которым намечена разработка таких мер, 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 группы б), то, независимо от результатов анализа отказов других элементов, производят соответствующее изменение исходных характеристик его надежности и повторный анализ этого вида отказа по логической схеме с выбором категории важности вида отказа и метода ТЭ элемента. 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 выбранное в качестве эффективного мероприятие входит в группу а), то в силу комплексного характера таких мероприятий (их влияния на многие элементы ФС) их разработка производится только после завершения анализа отказов всех элементов по логической схеме. После разработки мер группы а) и связанной с этим корректировки исходных данных: степени опасности особой ситуации из-за отказа, 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 мер 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 изделий, отказы которых имеют явный «износовый» характер (типа разрушения, негерметичности и т.п.).

Третий уровень анализа предусматривает выбор плановых работ по ТО для каждого вида отказа элемента согласно выбранной для него категории важности. Все виды отказов элементов к этому этапу анализа уже разделены на три группы:

1) категория важности «1» (применяются ТЭП или ТЭР);

2) категория важности «2» (применяются ТЭП или ТЭР) и

3) категория важности «3» (применяются 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 экономические последствия. С учетом этого разделения 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 элементов ФС. Результаты анализа заносятся в рабочую форму (рис. 9–12).

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

КОД: 24.50.00 СИСТЕМА/ПОДСИСТЕМА		СИСТЕМА: СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ			
НАИМЕНОВАНИЕ И ТИП ЭЛЕМЕНТА	ОБОЗНАЧЕНИЕ ОТКАЗА	ПАРАМЕТР m_β	КАТЕГОРИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ $К_{пос}$	ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ	
				№ вопроса — ответ	Обоснование ответа (при необходимости)
1	2	3	4	5	6
ЦРУ переменного тока, ЦРУ 372	$q_{1,1}$	2	II	8 — Да	Сочетание двух МВ отказов — ПНВ
…	…	…	…	…	…

Рис. 9–11 Данные для разработка плана ТО. Второй уровень анализа. Определение категории важности и метода ТЭ

КОД: 24.50.00 СИСТЕМА/ПОДСИСТЕМА		СИСТЕМА: СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ			
НАИМЕНОВАНИЕ И ТИП ЭЛЕМЕНТА	ОБОЗНАЧЕНИЕ ОТКАЗА	КАТЕГОРИЯ ВАЖНОСТИ	ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ		СОСТАВ РАБОТ
			№ вопроса — ответ	№ вопроса — ответ	
1	2	3	4	5	6
ЦРУ переменного тока, ЦРУ 372	$q_{1.1}$	5	1 — Нет	Эффективные профилактические работы отсутствуют	
			4 — Да	Отказ выявляется по информации комплексной системы контроля	В плановом контроле при ТО работоспособности по данному виду отказа нет необходимости
…	…	…	…	…	…

Рис. 9–12 Данные для разработки плана ТО. Второй уровень анализа. Выбор работ по ТО

- 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 путем выявления 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 (аналогично MSG-3) следующие виды работ по ТО:

- профилактические работы (смазка, чистка, мойка и другое технологическое обслуживание);
- плановые работы по контролю работоспособности, которые предусматривают только установление факта наличия или отсутствия отказа;
- плановые работы по контролю исправности с выявлением отказов (повреждений) и предотказных состояний работоспособных элементов;
- восстановительные работы при достижении изделием одного из видов предельного состояния (выработки ресурса, отказа, предотказного состояния).

Выбор неплановых работ ТО не является в общем случае предметом анализа по формированию 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 при ТО на земле либо устранения отдельных видов отказов в процессе полета. Для этого в логической схеме анализа предусмотрены соответствующие вопросы, ответы на которые могут иметь только экспертный характер и даются 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 непосредственно на борту ВС или замены элемента).

В процессе анализа учитываются следующие факторы:

- категория важности вида отказа элемента (последствия отказа для работы ФС, т.е. 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 СЧ), а также возможности выявления ранних признаков развивающегося отказа (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 обусловливаются конструкцией элемента, характеристиками его надежности и принятым методом ТЭ.

Принципиальную и практическую возможность выполнения работ по ТО определяют на основании качественного анализа ЭТ (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 доступа, которые не могут быть выполнены в условиях эксплуатации без специального оснащения.

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.

При анализе видов отказов элементов по логической схеме выбор работ по ТО осуществляется при формировании ответов на вопросы 1–6 (см. рис. 9–13).

Вопрос 1

Для ответа на этот вопрос анализируется конструкция элемента и рассматриваются его основные СЧ, 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 специальными 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 построения ФС в целом. Если рабочие параметры не могут быть сохранены в пределах, предусматриваемых в конструкторской документации, без поддержания заданных условий функционирования элемента, то этот вид работ должен выполняться независимо от того, к какой категории важности отнесен рассматриваемый вид отказа элемента.

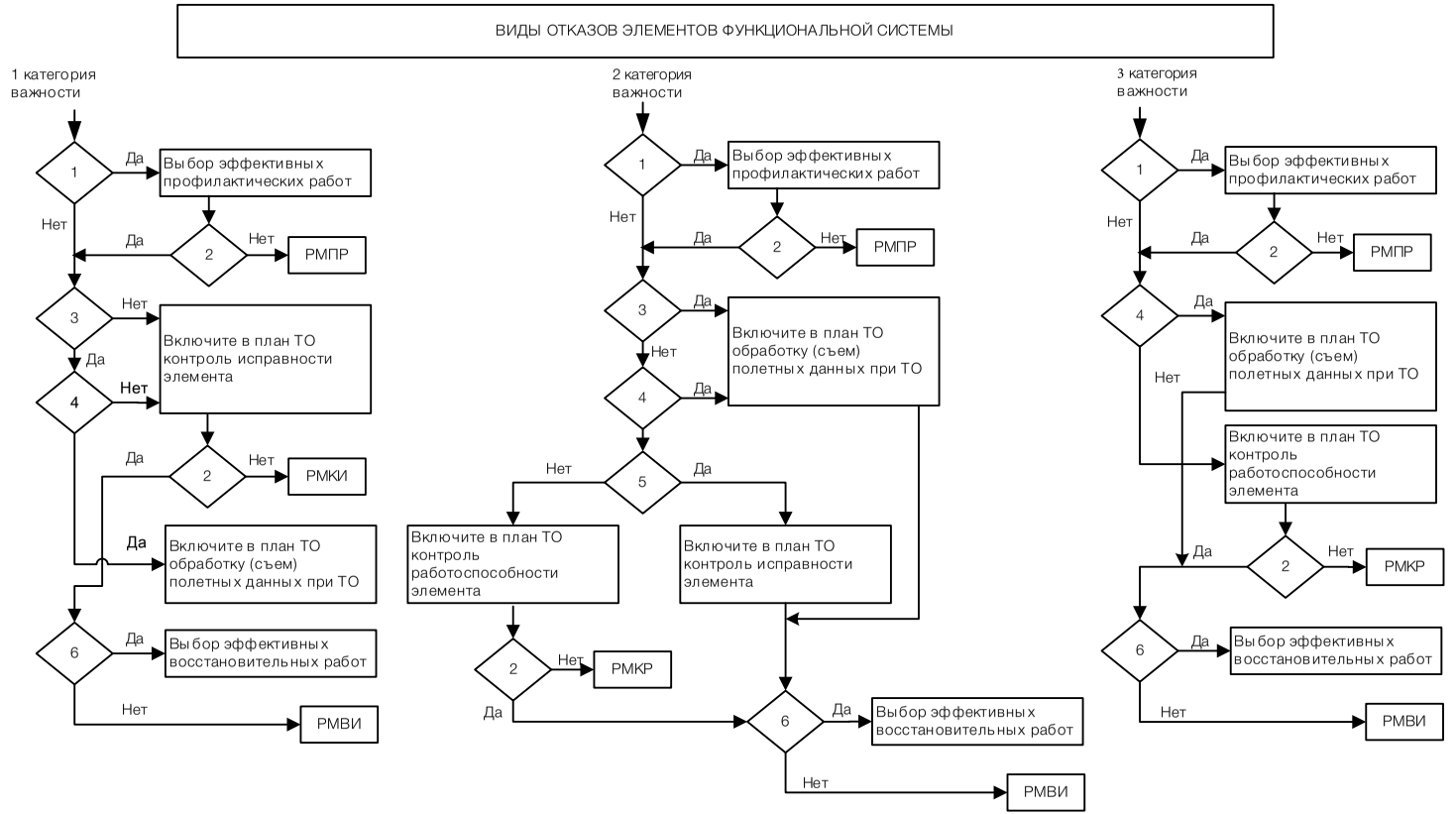
Вопрос 2

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 ВС 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



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. 9–13 Логическая схема выбора категорий важности видов отказов и методов ТЭ элементов в составе ФС

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, т.е. по изменившимся усилиям на органах управления, по запаху, вибрациям, шуму, температурным колебаниям, другим признакам.

Если анализируемый вид отказа элемента не приводит к АС или КС и ответ на вопрос 3 утвердительный, то элемент (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 оцениваются (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, т.е. 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 и 6.

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 технического состояния 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 СЧ), 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 (менее трудоемкие) работы, например органолептический контроль. Лишь в случае их низкой эффективности могут назначаться более сложные (дорогостоящие) работы, например проверки 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 ВС в лаборатории. Опыт эксплуатации свидетельствует о том, что методы контроля, связанные с демонтажом элемента, его транспортированием, проверкой на стенде и установкой на борт после проверки, зачастую обусловливают 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, мобильной 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 ВС 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 производятся 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 РМВИ при ТО. Однако 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.

В результате анализа всех возможных видов отказов элементов определяются эффективные плановые работы по ТО. Например, при различных видах отказов элементов может требоваться выполнение одной и той же контрольно-проверочной работы — поканальной проверки работоспособности ФС. Полученные результаты этапа анализа используются при определении периодичности выполнения работ и формировании программы зонных осмотров.

В случае принятия решения о необходимости доработок (РМПР, 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.

Для формирования состава плановых работ по ТО планера и зон ВС целесообразно пользоваться методическими рекомендациями, рассмотренными в подразд. 9.1.

Итоговый перечень работ по ТО представляется по форме, приведенной на рис. 9–14 и рис. 9–15.

Определение периодичности плановых работ по ТО

Периодичность плановых работ по ТО устанавливается таким образом, чтобы минимизировать естественное ухудшение заложенного в конструкцию уровня безопасности и надежности ВС, его ФС и элементов, не допуская выхода уровня летной годности ВС за пределы, установленные нормами летной годности. В процессе анализа должны быть учтены особенности модификаций данного типа ВС.

При определении периодичности работ по ТО ВС в качестве исходных условий (ограничений) рассматриваются типовые режимы его эксплуатации (средняя продолжительность типового полета, среднегодовой налет и т. п.).

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.

В общем случае при установлении периодичности работ по ТО рассматриваются три основные группы работ: целевые работы по контролю технического состояния, работы профилактического характера (смазка, очистка, мойка), вспомогательные работы по обеспечению доступа.

Объект ТО (наименование или код)	Код работы	Периодичность, ч	ПРИМЕНИМОСТЬ		ОПИСАНИЕ РАБОТЫ (предупреждаемые и контролируемые виды отказов)	Отметка о выполнении при зонном осмотре
			Модель	Двигатель		
Рулевой привод РП71–02	LS OC	1500 1500	С-2020	Д-2020	Пополнение и замена масла (1.1, 1.2) Контроль работоспособности каждого из двух каналов РП71–02 (1.1) — рекомендация	
Подсистема каналов управления	LS OC	1500 1500	С-2020	Д-2020	Очистка (продувка, промывка) элементов электроцепей питания и управления от загрязнений (2.2) Контроль работоспособности электроцепей питания и управления по каждому из каналов управления (2.1, 2.2) — рекомендация	
Механизм концевых выключателей МКВ-45	LS	1500	С-2020	Д-2020	Очистка (продувка, промывка) зоны установки МКВ-45 от загрязнений (3.3)	
Тормоз трансмиссии	LS OC DS	1500 1500 10000	С-2020	Д-2020	Очистка (продувка, промывка) внешних элементов тормоза от загрязнений (4.1, 4.2) Контроль работоспособности каждого из тормозов трансмиссии (4.1) Замена тормоза по выработке ресурса (4.2)	
Электрогидрокран ГА-165			С-2020	Д-2020	Необходима доработка для снижения вероятности вида отказа 5.1 или повышения кратности резервирования функции	
Редуктор контроля рассогласования закрылков	LS LS	1500 1500	С-2020	Д-2020	Очистка (продувка, промывка) зоны установки редуктора (6.1) Смазка вала (6.1)	
Подсистема СПР-1 контроля рассогласования			С-2020	Д-2020	Необходима доработка для снижения вероятности вида отказа 7.2 или повышения кратности резервирования функции	
Центральный дифференциальный редуктор трансмиссии	LS LS DS	1500 1500 10000	С-2020	Д-2020	Очистка (продувка, промывка) внешних элементов ДР от загрязнений (8.1) Смазка ДР (8.1) Замена ДР по выработке ресурса (8.1)	

Рис. 9–14 Сводные сведения о разработке плана ТО (лист 1)

Объект ТО (наименование или код)	Код работы	Периодичность, ч	ПРИМЕНИМОСТЬ		ОПИСАНИЕ РАБОТЫ (предупреждаемые и контролируемые виды отказов)	Отметка о выполнении при зонном осмотре
			Модель	Двигатель		
Угловой редуктор трансмиссии (верхний)	LS LS DS	1500 1500 10000	С-2020	Д-2020	Очистка (продувка, промывка) внешних элементов редуктора от загрязнений (9.1, 9.2) Смазка редуктора (9.1, 9.2) Замена редуктора по выработке ресурса (9.1)	
Угловой редуктор трансмиссии (нижний)	LS LS DS	1500 1500 10000	С-2020	Д-2020	Очистка (продувка, промывка) внешних элементов редуктора от загрязнений (10.1, 10.2) Смазка редуктора (10.1, 10.2) Замена редуктора по выработке ресурса (10.1)	
Винтовой механизм	LS LS DS	1500 1500 10000	С-2020	Д-2020	Очистка (продувка, промывка) внешних элементов ВМ от загрязнений (11.1, 11.2) Смазка ВМ (11.1, 11.2) Замена ВМ по выработке ресурса (11.1)	
Подсистема сигнализации СУМ			С-2020	Д-2020	Необходима доработка для снижения вероятности вида отказа 12.1 или повышения кратности резервирования функции	
Валы трансмиссии	LS LS DS	1500 1500 10000	С-2020	Д-2020	Очистка (продувка, промывка) валов от загрязнений (13.1, 13.2) Смазка подшипников опор и сочленений валов (13.1, 13.2) Замена валов по выработке ресурса (13.1)	

Рис. 9–15 Сводные сведения о разработке плана ТО (лист 2)

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:

- Имеются ли опытные данные для аналогичных элементов ФС, позволяющие прогнозировать эффективную периодичность плановых работ по смазке и иных работ профилактического характера?
- Проводились ли конструктивные усовершенствования элементов, планируемых к установке на ВС, которые были направлены на увеличение периодичности выполнения плановых профилактических работ?
- Каков массив собранных статистических данных по эксплуатации ВС-аналогов, которые позволили бы определить сроки выполнения работ?
- Есть ли основания для выбора (по опыту эксплуатации и др.) некоторой «типовой» периодичности профилактических работ?
- Есть ли и каков характер рекомендаций разработчика (поставщика) элемента по периодичности профилактических работ на основании результатов стендовых испытаний и (или) специального инженерного анализа или моделирования?
- Существуют ли нормативные требования или правила, устанавливающие периодичность выполнения определенных видов профилактических работ (например, по очистке замкнутых объемов от горючих загрязнений, промывке отдельных элементов, смазке)?
- 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 ($1 \le \beta \le$ В) контроля технического состояния (в часах налета), в которое переходит ФС при возникновении β-го вида отказа, производится при следующих предположениях:

- вероятности видов отказов элементов, эксплуатируемых в рамках

ТЭО и ТЭР, определяются принятыми в исходных данных интенсивностями (параметрами потока) видов отказов;

- вероятности видов отказов элементов, эксплуатируемых в рамках ТЭП, устанавливаются путем распределения нормативного значения вероятности вида отказа ФС Q_α между видами отказов элементов, а периодичности контроля работоспособности этих элементов считаются равными продолжительности типового полета (т.е. в каждом полете подтверждается либо работоспособность, либо отказ элемента).

Для определения оптимальной величины τ_β необходимо определить зависимости вероятностей видов отказов ФС за типовой полет Q_α от периодичностей τ_β:

$$Q_\alpha = f(\tau_1, \ldots, \tau_\beta, \ldots \tau_\text{В}).$$

Данные зависимости определяются путем добавления в расчетно-аналитические выражения для функций отказности коэффициентов корректировки K_α, отражающих влияние периодичности плановых работ на вероятность возникновения видов отказов конкретных элементов.

Коэффициенты K_α представляют собой постоянные множители, определяемые величиной τ_β и включаемые в слагаемые функций отказности, например

$$Q_\alpha = q_1 + K_1 q^2{}_3 + K_2 q_2 q_4 q_5 + \ldots \ . \qquad (9.1)$$

Расчетные формулы для определения коэффициентов корректировки, применяемых при последовательном соединении элементов, приведены в табл. 9–1.

После определения зависимостей для вероятностей видов отказов ФС за полет от вероятностей видов отказов и периодичности контроля резервированных элементов следует определить выражения для расчета затрат на выполнение работ планового ТО с периодичностями τ_β. Упрощенное выражение[27] для расчета удельных затрат на плановое ТО ($K_{\text{пз.пто}}(\tau_\beta)$) можно записать в виде:

$$K_{\text{пз.пто}}(\tau_\beta) = K_{\text{пз.пто.об}}(\tau_\beta) + K_{\text{пз.пто.восст}}(\tau_\beta), \qquad (9.2)$$

где $K_{\text{пз.пто.об}}$ — удельные затраты на плановые работы по контролю работоспособности элементов ФС, рассчитываемые по формуле

$$K_{\text{пз.пто.об}}\left(\tau_\beta\right) = C_\text{ч} \sum_{\beta=1}^{m} \frac{T_\beta}{\tau_\beta} \ , \qquad (9.3)$$

в которой T_β — трудоемкость планового контроля β-го вида отказа элемента;

---

[27] Более подробно методика расчета величины удельных прямых затрат на ТО изложена в подразд. 11.4.

$C_{ч}$ — тарифная ставка (стоимость нормо-часа) исполнителя работ по ТО;

m — количество разных видов отказов, выявляемых при данной плановой работе по контролю работоспособности;

$K_{пз.пто.восст}$ — удельные затраты на восстановление отказавших элементов, рассчитываемые по формуле

$$K_{пз.пто.восст}\left(\tau_{\beta}\right) = C_{ч}\sum_{\beta=1}^{m}\frac{T_{восст\,\beta}}{\tau_{\beta}} \qquad (9.4)$$

в которой $T_{восст\,\beta}$ — трудоемкость восстановления элемента при β-м виде отказа.

Макс. значение m_{β}	Совокупность отказавших элементов	Вероятность возникновения совокупности отказов элементов		Коэффициент корректировки (влияния периодичности контроля) K_{α}	Область применения формул ($n_{\beta} = \tau_{\beta} / t_{п}$)
		при полной работоспособности перед вылетом	с учетом периодичности контроля и восстановления		
1	1	q_1	q_1	1	
2	1, 2	$q_1\,q_2$	$K_2\,q_1\,q_2$	$(n_1 + n_2) / 2$	
3	1, 2, 3	$q_1\,q_2\,q_3$	$K_3\,q_1\,q_2\,q_3$	$1/12\,[3\,(n_1n_2 + n_1n_3 + n_2n_3) + 2n^2_1 + n^2_2]$	$n_1 \le n_2 \le n_3$
4	1, 2, 3, 4	$q_1\,q_2\,q_3\,q_4$	$K_4\,q_1\,q_2\,q_3\,q_4$	$1/24\,[3\,(n_1n_2n_3 + n_1n_2n_4 + n_1n_3n_4 + n_2n_3n_4) + 2n^2_1\,(n_2n_3n_4) + n^2_2\,(2n_1 + n_3 + n_4) + n^2_3\,(n_1 + n_2)]$	$n_1 \le n_2 \le n_3 \le n_4$
Примечание — q_{β} — средняя вероятность отказа за типовой полет продолжительностью $t_{п}$.					

Табл. 9–1 Коэффициенты влияния периодичности контроля работоспособности изделий на безотказность ФС

Отметим, что для обеспечения требуемого уровня безотказности ФС величины τ_{β} должны удовлетворять неравенствам:

$$Q_{\alpha} = f(\tau_{\beta}) \le Q^{н}_{\alpha},\ \alpha = 1 \ldots A,\ \beta = 1 \ldots B. \qquad (9.5)$$

где $Q^{н}_{\alpha}$ — нормативно установленная максимально допустимая вероятность возникновения вида отказа ФС в целом.

Таким образом, рациональную (экономически эффективную) периодичность планового контроля элементов τ_β можно определить при решении оптимизационной задачи (подробнее соответствующая методика рассмотрена в работе [37]):

$$K_{\text{пз.пто}}(\tau_1, ..., \tau_\beta) \to min$$
$$Q_\text{а} = f(\tau_\beta) \le Q^\text{н}_\alpha, \alpha = 1 \dots A, \beta = 1 \dots B. \quad (9.6)$$

Окончательное определение периодичности ТО конструкции планера базируется на результатах анализа элементов планера и направлено на установление сроков плановых работ с учетом ожидаемых условий эксплуатации ВС. Правила назначения периодичности выполнения выбранных работ по ТО основаны на ожидаемых характеристиках усталостной прочности (по результатам моделирования и испытаний), особенностях конструкции планера, рекомендациях разработчиков СЧ и опыте эксплуатации аналогичных типов ВС.

Периодичность планового ТО конструкции планера определяется традиционным консервативным способом в рамках работ по установлению (и продлению) ресурсов и сроков службы. При этом пороги начала и периоды выполнения работ, назначенные экспертно с учетом результатов испытаний силовой конструкции, устанавливаются в приложениях к заключениям об установлении ресурса (срока службы) силовой конструкции.

Определение периодичности выполнения зонных осмотров и сопутствующих работ в зоне также осуществляется экспертно и связано прежде всего с периодичностями, установленными для общих визуальных осмотров. При этом в зонные осмотры не включаются работы по ТО ФС и СУ, которые определены как CMR.

При необходимости выполняется группировка выбранных работ в плановые виды ТО. Это связано с тем, что ряд заказчиков ВС бывает заинтересован в рекомендациях разработчика ВС по построению так называемой пирамидальной структуры ТО, состоящей из базовых плановых видов ТО возрастающей периодичности, в связи с чем возникает задача группировки работ в виды ТО (оперативные и периодические виды ТО), которая повлияет и на рациональную плановую периодичность каждой из работ.

9.2. Формализованное описание работ по ТО в БД АЛП

Как отмечено в подразд. 9.1, работы по ТО можно условно разделить на следующие работы:

- работы планового ТО, определенного по описанным выше методикам;
- неплановые работы, необходимость в которых выявляется в результате выполнения плановых работ, сообщений об отказах и повреждениях, анализа полетной информации и других эксплуатационных данных.

В соответствии с информационной моделью, описанной в подразд. 5.3, процессы ТО в БД АЛП описываются при помощи объектов «набор_работ», «работа» и «операция», связанных соответствующими отношениями «входит в…», «состоит из …» и др.

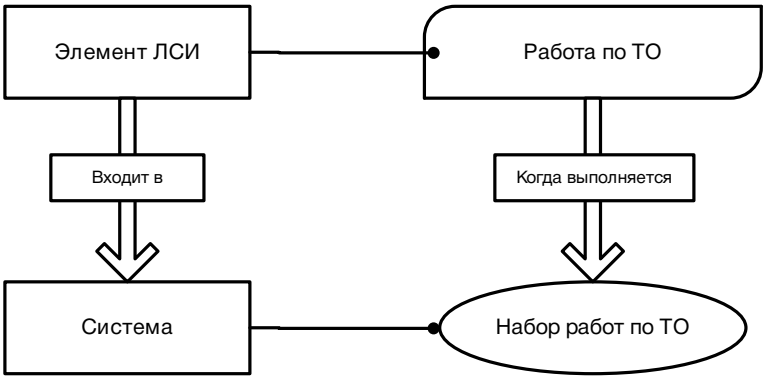


Рис. 9–16 Работы и наборы работ по ТО

Работы могут выполняться при определенных условиях: при достижении определенной наработки изделия, в случае обнаружения предотказного состояния или отказа и т. п. Для того чтобы отделить содержание выполняемой работы от условия их выполнения, используется информационный объект БД АЛП «набор работ», позволяющий сгруппировать работы с одинаковым интервалом выполнения или условием вида «перед полетом», «после полета» и т. п.

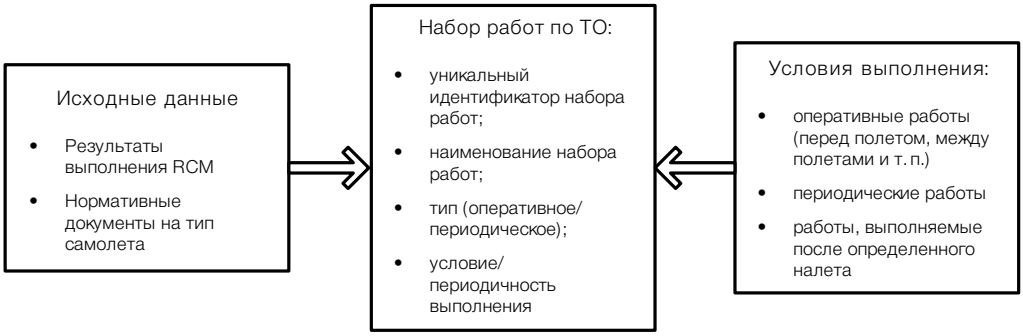


Рис. 9–17 Формирование наборов работ планового ТО

В свою очередь, работы состоят из операций. Например, работа «Проверка состояния узла У1» может включать следующие операции:

1. Открыть люк П1.
2. Демонтировать узел У2 (*препятствующий доступу к узлу У1*).
3. Выполнить проверку работоспособности узла У1.
4. Установить [при необходимости] новый узел У1.
5. Установить узел У2.
6. Закрыть люк П1.

Очевидно, что многие операции, такие как «открыть люк П1», «закрыть люк П1», «демонтировать узел У2», «установить узел У1» и т.д., будут повторяться много раз, в том числе в составе разных работ по ТО. Соответственно, работы и составляющие их операции необходимо описывать так, чтобы этими описаниями можно было многократно пользоваться.

Технология описания работ и операций в БД АЛП, построенная на на использовании объектной модели данных [1], [55], позволяет, описав однажды работу или операцию, пользоваться далее этим описанием везде, где это необходимо, устанавливая на него ссылку.

На рис. 9–18 показано, как работа может быть включена в справочник работ и далее ее описание может быть использовано в качестве составной части других работ путем установления соответствующей ссылки.

При описании технологических операций, составляющих содержание работы по ТО, а также шагов операций с ними связывают необходимые иллюстрации и дополнительную информацию (предупреждения, предостережения и примечания), а также указывают необходимые материальные и человеческие ресурсы. Если операция или ее отдельный шаг ссылается на уже описанную операцию, то повторный ввод информации не требуется.

Ресурсы подразделяются на элементы инфраструктуры, вспомогательное оборудование, инструменты, расходные материалы, запасные части и трудовые ресурсы. Для материальных ресурсов указывается расход ресурса на одно выполнение операции, а для трудовых — число, специальности, квалификации и занятость исполнителей (чел.–ч). Для всех перечисленных видов ресурсов в БД АЛП создаются специальные справочники.

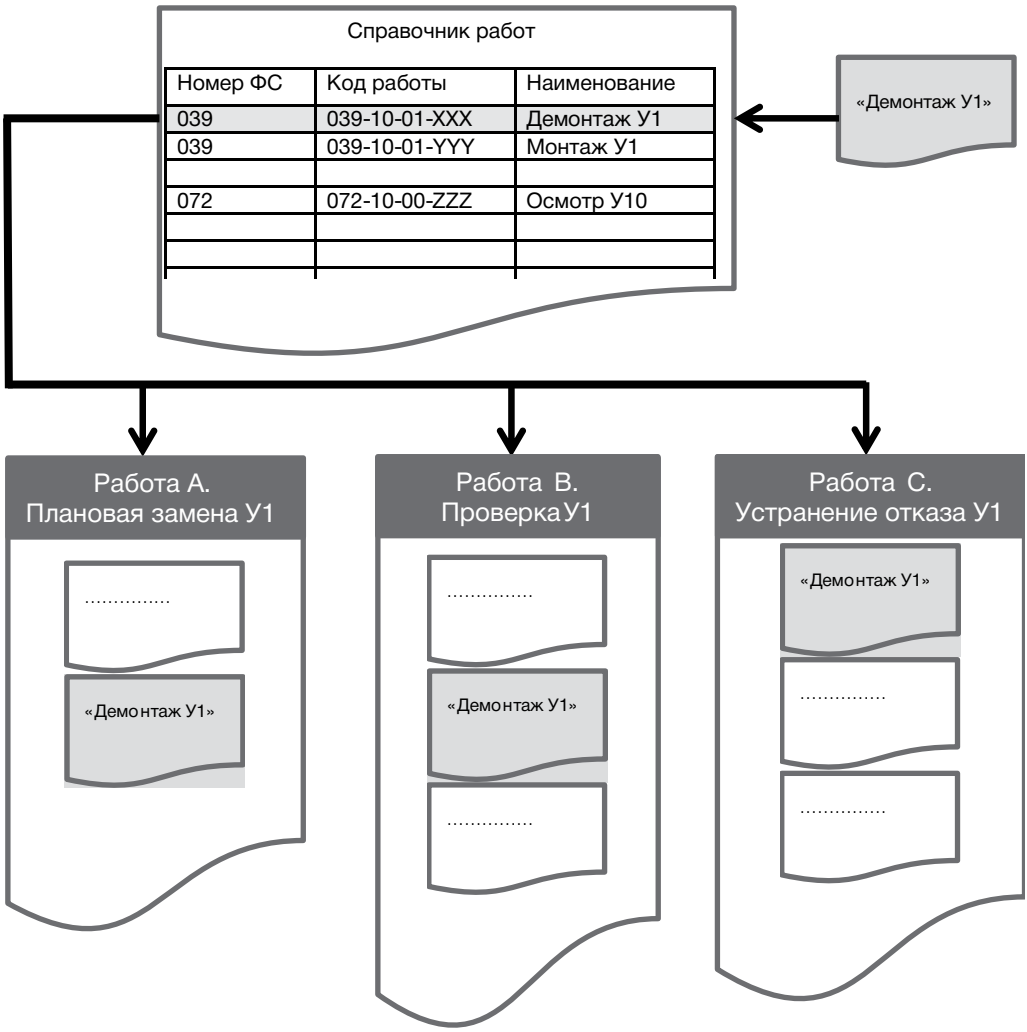


Рис. 9–18 Включение описания работ в справочник и последующее использование путем ссылки

На рис. 9–19 показан пример описания работы по осмотру состояния масла в гидросистеме и условия ее выполнения. Каждая работа имеет обозначение (сформированное на базе ССН и соответствующих нормативных документов [19], [56]).



Рис. 9–19 Пример описания работы по ТО и условий ее выполнения

Для каждой операции может быть задано время выполнения (рис. 9–20), что позволяет вычислить общую продолжительность и трудоемкость описываемых работ.

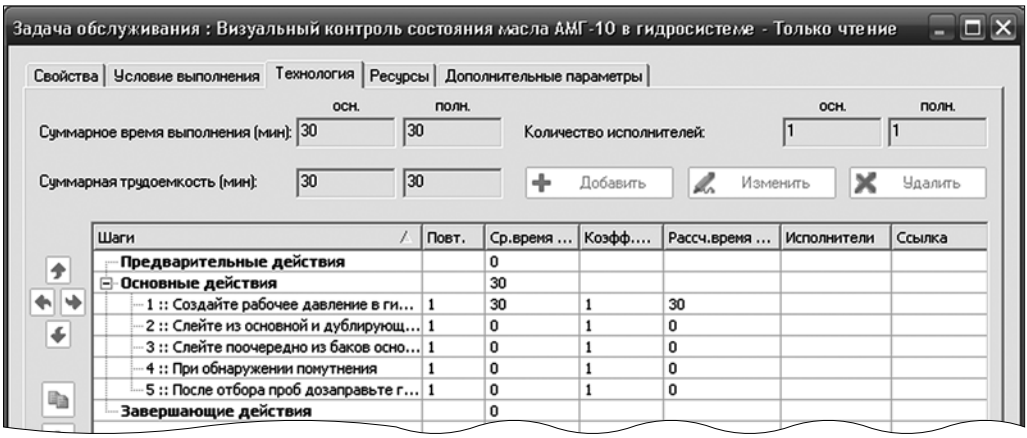


Рис. 9–20 Описание операции и составляющих ее шагов (переходов)

Описания работ и составляющих их операций связаны с информационными описаниями:

- обслуживаемых элементов ЛСИ;
- видов отказов, на устранение или предотвращение которых направлены соответствующие работы по ТО;
- материальных и человеческих ресурсов, необходимых для выполнения работ по ТО.

Это позволяет проводить формальный контроль полноты разработанной технологии ТО путем проверки того, что для всех элементов ЛСИ и всех анализируемых видов отказов предусмотрены соответствующие работы с необходимой детализацией.

Кроме того, сформированные в процессе АЛП данные (описания работ и составляющих их операций, перечни возможных видов отказов, перечни заменяемых изделий и используемых средств ТО и материалов) могут быть использованы для автоматизации подготовки эксплуатационной документации, как технологической, содержащей указания по выполнению ТО, так и удостоверяющей.

Эти сведения могут быть переданы в в автоматизированные системы разработки ЭД в стандартизованном формате (XML) в соответствии с требованиями [19].

10. ПЛАНИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

10.1. Общие сведения

Планирование МТО включает расчет потребностей в средствах эксплуатации ВС. К средствам эксплуатации относятся «здания, сооружения, технические устройства, в том числе инструмент, запасные части и расходные материалы» [57]. В данном разделе основное внимание уделено расчетам потребностей в запасных частях.

В целом процесс планирования МТО на этапах разработки АТ предполагает решение следующих основных задач:

1) анализ структур ВС и его ФС и формирование, с учетом результатов АВПО и разработанного плана ТО, перечня комплектующих изделий и материалов, являющихся предметами снабжения;

2) кодификация (каталогизация) предметов снабжения;

3) оценка общей потребности в запасных частях и материалах для планового и непланового ТО на период эксплуатации;

4) расчет объема начального запаса запасных частей и материалов, поставляемых с ВС в рамках начального МТО;

5) расчет объема текущих запасов, необходимых для обеспечения эксплуатации ВС;

6) определение основных параметров системы управления запасами (объема минимального запаса и объема партии поставки).

Исходными данными, необходимыми для решения этой задачи, являются:

- сценарий эксплуатации (содержащий сведения о числе эксплуатируемых ВС, планируемой наработке, условиях эксплуатации и др. (см. подразд. 6.3);
- сведения о составе ВС и СЧ, требующих ТО;
- технология ТО, описывающая перечень работ, номенклатуру и нормы расхода материалов и т. д.;

Планирование МТО может проводиться при проектировании нового изделия АТ (случай 1) или в ходе работ по созданию модификации эксплуатируемого изделия (случай 2). Эти сценарии существенно отличаются друг от друга.

В первом случае имеют место следующие условия:

- план ТО еще не сформирован, либо экспертно сформирован только

перечень работ без указания технологии их выполнения, трудоемкости и требуемых материальных ресурсов;

- многие вопросы управления запасами еще не определены, в лучшем случае известна длительность периода начального МТО (или гарантийный срок), указанные в контрактах с заказчиками;
- перечень съемных элементов конструкции (ЛСИ), требующих ТО (контроля, замены, ремонта) задан экспертно, для них может быть известен метод восстановления (ремонт или замена);
- могут быть известны нормативные значения безотказности и долговечности элементов, указанные в ТЗ;
- для элементов выбран метод технической эксплуатации и, соответственно, их важность (критичность) в плане безопасности и регулярности полетов.

В этом случае требуется:

а) сформировать перечень изделий с ограниченным ресурсом (метод ТЭР);

б) рассчитать объем запасных частей для планового и непланового ТО (в расчете на срок службы ВС/на один год/на 1 ч налета и т.д.);

в) оценить номенклатуру и объем запасных частей, поставляемых с ВС в рамках начального МТО;

г) выделить наиболее востребованные для замены СЧ в целях анализа причин и поиска путей снижения затрат;

д) рассчитать объем запасов для непланового ТО, величину минимального запаса, размер партии поставки и т.д.

Во втором случае планирование МТО для модификации ВС выполняется на основе плана ТО для базовой типовой конструкции при следующих условиях:

- для всех элементов известна и документирована технология снятия и установки в условиях эксплуатирующей организации с указанием трудоемкости и потребных ресурсов;
- замена элементов, эксплуатируемых по ресурсу, производится с известной периодичностью [назначенный ресурс и (или) срок службы], а элементов, эксплуатируемых по состоянию,— с периодичностью, обусловленной интенсивностью тех видов отказов, выявление которых приводит к замене элемента [замена их выполняется из начального или текущего запаса (аптечки) и относится к неплановому МТО].

Для разрабатываемой модификации необходимо:

а) рассчитать объем запчастей для планового и непланового ТО для име-

ющегося плана ТО (в расчете на срок службы ВС/на один год/на 1 ч налета и на 1 ВС либо на парк);

б) выделить наиболее востребованные для замены СЧ в целях анализа причин и поиска путей снижения затрат;

в) скорректировать (при необходимости) номенклатуру и объем запасных частей, поставляемых с ВС в рамках начального МТО;

г) скорректировать (при необходимости) перечень СЧ с ограниченным ресурсом;

д) уточнить объем запасов для непланового ТО, величину минимального запаса, размер партии поставки и т. д.

Ниже приведено описание методов расчета потребностей в запасных частях для планового и непланового ТО. Состав используемых для расчета данных и получаемых результатов соответствует информационной модели БД АЛП, описанной в подразд. 5.3.

Применимость предлагаемых методов для решения перечисленных выше задач зависит от принятой концепции снабжения и управления запасами и наличия исходных данных, которые на этой стадии разработки, как правило, недоступны. Предполагается, что заказ запасных частей осуществляется партиями, в каждую из которых могут входить различные типы СЧ. Заказ осуществляется через определенный период времени с определенной длительностью доставки, а запас расходуется равномерно. К числу исходных данных, необходимых для расчета, относятся: среднее время между заказами, продолжительность и стоимость доставки, стоимость хранения продукции на складе и т. д.

Приведенные расчетные методы позволяют получить ориентировочные оценки потребностей в запасных частях. Более точные расчеты потребностей в средствах МТО можно провести с использованием методики, описанной в подразд. 11.2 и посвященной анализу влияния параметров системы МТО на готовность ВС с оценкой показателя готовности комплекса «ВС — система МТО (ЗИП)» на основе рассмотрения различных моделей управления запасами и других факторов.

10.2. Подготовка данных и рассчитываемые параметры

При планировании МТО используются следующие данные, принятые в качестве исходных для АЛП либо полученные при его проведении:

τ_{Γ} — средняя наработка ВС в год в единицах измерения (е.и.) наработки;

N — количество ВС, шт.;

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

$T_{\text{с.с}}$ — срок службы ВС, лет, или

Z — число элементов ЛСИ (в разных зонах или выполняющих разные функции в рамках одной ФС), в которых используются СЧ (изделия) одного типа;

Для каждого j-го элемента ЛСИ ($j = 1 \ldots Z$):

$T_{\text{зак.}}$ — среднее время между заказами для изделия данного типа, мес;

$T_{\text{пост}}$ — среднее время выполнения поставки, мес.;

$T_{\text{р.н.}}$ — назначенный ресурс для изделия данного типа, е.и. наработки;

$T_{\text{рем.}}$ — среднее время ремонта изделия данного типа, мес;

n_j — число элементов ЛСИ, использующих изделия данного типа в j-й позиции структуры ВС, шт.;

λ_j — интенсивность отказов или интенсивность непланового съема (в зависимости от того, какой параметр используется при расчете) j-го элемента ЛСИ, 1/е.и. наработки;

В процессе планирования МТО подлежат расчету следующие параметры:

$A_{\text{ВС-пл}}$ – число плановых замен изделий данного типа в течение срока службы ВС;

$A_{\text{нач-пл}}$ – число плановых замен изделий данного типа за период начального МТО;

$A_{\text{ВС-непл}}$ – число неплановых замен изделий данного типа в течение срока службы ВС;

$A_{\text{тек-непл}}$ – объем текущего запаса для неплановых замен изделий, в том числе

$A_{\text{тек-непл нр}}$ – для неремонтируемых и $A_{\text{тек-непл р}}$ – для ремонтируемых изделий;

$A_{\text{min-непл}}$ – минимальный уровень запаса для изделий данного типа;

$A_{\text{нач-непл}}$ – объем начального запаса для неплановых замен изделий данного типа;

$A_{\text{ВС}}$ – суммарное число плановых и неплановых замен изделий данного типа в течение срока службы ВС.

Потребности в МТО для непланового ТО определяются на основе вероятностных оценок числа отказов (или случаев достижения предотказного состояния) в течение рассматриваемого периода времени. Предполагается, что число неплановых замен в течение времени T равно числу подтвержденных отказов в этот период.

Методика расчета потребностей в запасных частях для планового ТО основана на требованиях в отношении вероятности P_i наличия i-й запасной части [58] в момент, когда она потребовалась, или наоборот, риска ($R_i = 1 - P_i$) отсутствия нужной запасной части [59] в этот момент.

Расчетный объем запасных частей должен обеспечивать заданные требования в отношении этих вероятностей в рамках некоторого временного интервала, а именно:

для расчета текущего запаса — это период между заказами запасных частей ($T_{зак}$);

для минимального запаса (минимального уровня запасов на складе) — это среднее время поставки ($T_{пост}$);

для начального запаса — это период начального МТО ($T_{нач}$).

Исключение составляет расчет объема текущего запаса ремонтируемых изделий, который рассчитывается на основе длительности ремонта. Особенностью этого вида запаса является то, что он автоматически пополняется за счет возврата отремонтированных изделий. Если среднее время между отказами ремонтируемых изделий больше средней длительности ремонта, то этот запас представляет собой оборотный фонд условно постоянного объема.

Начальный запас поставляется вместе с ВС на период, когда регулярное МТО невозможно или нецелесообразно. Этот запас расходуется в течение периода начального МТО. Во избежание простоев регулярное МТО должно начаться в момент, когда остаток начального запаса больше или равен $A_{min\text{-}непл}$.

Значения $A_{тек\text{-}непл.\ нр}$, $A_{тек\text{-}непл.\ р}$ и $A_{зак\text{-}непл}$ используются для предварительной оценки объемов оборотных и обменных фондов запасных частей.

Сводный перечень рассчитываемых показателей МТО, номера расчетных формул и пояснения приведены в табл. 10–1. Сами расчетные формулы и необходимые пояснения к ним приведены ниже.

Неплановые замены

Изделия	Число неплановых замен изделия данного типа в течение срока службы ВС	Объем начального запаса изделий данного типа	Объем текущего запаса изделий		Минимальный уровень запаса для изделия данного типа
			неремонтируемых	ремонтируемых	
	$A_{\text{ВС-непл}}$	$A_{\text{нач-непл}}$	$A_{\text{тек-непл нр}}$	$A_{\text{тек-непл р}}$	$A_{\text{min-непл}}$
Неремонтируемые	Рассчитывается по формуле (10–1) при $T = T_{\text{с.с}}$ (срок службы ВС)	Рассчитывается по формуле (10–5) при $T = T_{\text{нач}}$ (период начального МТО)	Рассчитывается по формуле (10–5) при $T = T_{\text{зак}}$ (среднее время между заказами)		Рассчитывается по формуле (10–5) при $T = T_{\text{пост}}$ (длительность поставки)
Ремонтируемые				Рассчитывается по формуле (10–5) при $T = T_{\text{рем}}$ (длительность ремонта)	
Примечание		*Рассчитывается с учетом заданного уровня риска*	*Рассчитывается с учетом заданного уровня риска*	*Запас пополняется по мере получения отремонтированных изделий из ремонта. Объем запаса рассчитывается с учетом заданного уровня риска*	*Рассчитывается с учетом заданного уровня риска*

Плановые замены

Изделия	Число плановых замен изделий данного типа в течение срока службы ВС	Объем начального запаса изделий данного типа
	$A_{\text{ВС-пл}}$	$A_{\text{нач-пл}}$
Неремонто-пригодные	Рассчитывается по формуле (10–6) для $T = T_{\text{с.с.}}$ (срок службы ВС)	Рассчитывается по формуле (10–7) для $T = T_{\text{нач}}$ (период начального МТО)
Ремонто-пригодные		

Табл. 10–1 Перечень рассчитываемых параметров МТО

10.3. Расчет потребностей в запасных частях для планового и непланового ТО

Расчет параметров непланового МТО без учета уровня риска

Число неплановых замен $A_{\text{ВС-непл}}$ в год рассчитывается по формуле

$$A_{\text{ВС-непл}} = N\tau_{\text{г}}\sum_{j=1}^{Z}\lambda_j n_j \qquad (10\text{–}1)$$

Для получения грубой оценки показателей, перечисленных в табл. 10–1 (расчета части потребностей в запасных частях для неплановых замен, без учета создания страхового запаса), могут быть использованы следующие формулы:

$$\begin{aligned} A_{\text{нач-непл}} &= A_{\text{ВС-непл}}\frac{T_{\text{нач}}}{12} \\ A_{\text{тек-непл.нр}} &= A_{\text{ВС-непл}}\frac{T_{\text{зак}}}{12} \\ A_{\text{нач-непл.р}} &= A_{\text{ВС-непл}}\frac{T_{\text{рем}}}{12} \\ A_{\text{min-непл}} &= A_{\text{ВС-непл}}\frac{T_{\text{пост}}}{12} \end{aligned} \qquad (10\text{–}2)$$

Так как количество запасных частей может быть только целым числом, в качестве результата принимается ближайшее большее целое число. Заметим, что рассчитанные объемы численно равны среднему числу отказов за соответствующий период времени.

Расчет параметров непланового МТО с учетом уровня риска

Расчет количества запасных частей для непланового обслуживания в течение определенного периода времени основывается на оценке вероятности появления числа отказов (1, 2, 3, …, b) за этот период [58]. Если предположить, что поток отказов является простейшим (пуассоновским), то вероятность $P(b)$ появления b отказов j-го изделия за период времени T вычисляется по формуле

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

где $$\mu = Nn_j\lambda_j \frac{12\tau_г}{T} \quad (10–3)$$

— среднее число отказов за период времени T (в месяцах).

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

$$\sum_{i=0}^{b} P(b) = \sum_{i=0}^{b} \frac{\mu^i}{i!} e^{-\mu} \quad (10–4)$$

Допустимый уровень риска отсутствия нужной запасной части в момент, когда она необходима, устанавливается разработчиком ВС для каждого типа элементов ЛСИ в зависимости от возможности осуществления полетов с отказом данного элемента и допустимого времени эксплуатации ВС с таким отказом. Обозначив за R_j допустимый уровень риска для j-го типа элементов ЛСИ, необходимое число запчастей можно найти, решив следующее неравенство относительно b:

$$1 - R_j \le \sum_{i=0}^{b} \frac{\mu^i}{i!} e^{-\mu} \quad (10–5)$$

Решение этого неравенства позволяет получить значения начального запаса ($A_{\text{нач.непл.}}$), текущего запаса ($A_{\text{тек-непл.нр.}}$, $A_{\text{тек-непл.р.}}$) и минимального запаса ($A_{\text{min-непл.}}$) с учетом заданного уровня риска R_j, путем подстановки в (10–3) в качестве T величин $T_{\text{нач}}$, $T_{\text{зак}}$, $T_{\text{рем}}$ и $T_{\text{пост}}$, соответственно.

Расчет потребностей в запасных частях для планового ТО

Число плановых замен изделий данного типа в течение срока службы ВС может быть определено по формуле

$$A_{\text{ВС-пл}} = N\sum_{j=1}^{Z} n_j \,\text{ROUND}\left(\frac{T_{\text{с.с}}\tau_г - 1}{T_{\text{р.н}}}\right) \quad (10–6)$$

где ROUND — результат округления до ближайшего целого числа.

Аналогично, число плановых замен изделий данного типа за период начального МТО составляет:

$$A_{\text{нач-пл}} = N\sum_{j=1}^{Z} n_j \,\text{ROUND}\left(\frac{\frac{T_{\text{нач}}}{12}\tau_г - 1}{T_{\text{р.н}}}\right) \quad (10–7)$$

Расчет суммарных потребностей в запасных частях

Общее число замен изделий данного типа за период начального МТО рассчитывается как сумма таких замен при плановом и неплановом ТО:

$$A_{\text{нач}} = A_{\text{нач-непл}} + A_{\text{нач-пл}} \quad (10–8)$$

Общее число замен изделий данного типа за срок службы ВС соответственно:

$$A_{\text{ВС}} = A_{\text{ВС-непл}} + A_{\text{ВС-пл}} \quad (10–9)$$

10.4. Пример расчета потребности в запасных частях

Ниже приведен пример расчета потребностей в запасных частях для планового и планового обслуживания. В качестве примера рассмотрим часть гидросистемы ВС (табл. 10–2).

Наименование	МТЭ	T_c, ч	Возможность вылета с отказом	Кол-во на борту ВС	Назначенный ресурс, ч	Ремонтопригодность	Срок поставки, мес	Срок ремонта, мес
Насос шестеренчатый НШ-39М	ТЭР	4650	Нет	2	12000	Да	–	3
Гидроаккумулятор NA-01	ТЭП	20000	Нет	3	30000	Да	–	12
Клапан обратный ОК-10А	ТЭО	94700	Да	4	30000	Нет	3	–
Фильтр 8Д2.966.017	ТЭР	3450	Нет	2	2000	Нет	3	–
Фильтр тонкой очистки ФГ-11БН	ТЭР	780	Нет	2	2000	Нет	3	–
Кран электромагнитный ГА-74М	ТЭП	72900	Да	2	30000	Нет	3	–

Табл. 10–2 Исходные данные для расчета потребностей в запасных частях

В качестве исходных данных заданы:

- метод технической эксплуатации;
- наработка на отказ (T_c);
- возможность использования ВС по назначению в случае отказа рассматриваемого элемента;
- число изделий данного типа в ВС (в данном случае — в гидросистеме);

- назначенный ресурс (для элементов, эксплуатируемых методом ТЭР);
- подлежит ли изделие ремонту (возможность ремонта — да или нет) и его продолжительность;
- срок поставки.

Для расчета задан сценарий эксплуатации, предполагающий, что имеется 10 ВС со средней годовой наработкой 2000 ч, а период начального МТО составляет 12 мес. Среднее время между заказами (горизонт планирования) также составляет 12 мес. Потребность в запасных частях рассчитывается на период продолжительностью 15 лет.

Проведенный по приведенным выше методикам расчет дает следующие результаты (табл. 10–3):

Наименование	Плановые замены	Неплановые замены	Допустимый уровень риска	Текущий запас	Мин. уровень запаса	Нач. запас
Насос шестеренчатый НШ-39М	40	–	0,10	4	–	0
Гидроаккумулятор NA-01	–	–	0,10	5	–	–
Клапан обратный ОК-10А	–	13	0,10	2	1	2
Фильтр 8Д2.966.017	300	174	0,02	19	7	19
Фильтр тонкой очистки ФГ-11БН	300	770	0,02	67	21	67
Кран электромагнитный ГА-74М	–	9	0,10	2	1	2

Табл. 10–3 Потребность в запасных частях и расчетные объемы МТО (в штуках)

Как следует из табл. 10–2, «Насос шестеренчатый» эксплуатируется по методу ТЭР и должен заменяться каждый 12000 ч. Изделие ремонтопригодно, при этом продолжительность ремонта приблизительно равна сроку выполнения заявки на поставку нового изделия и составляет 3 мес.

Для планового обслуживания всего парка ВС в течение заданного периода времени расчетная потребность, вычисленная по формуле (10–6), составит 40 шт. Величина начального запаса, вычисленная по формуле (10–7), составит (с учетом округления) — 0 шт. Величина текущего запаса (который может потребоваться на время ремонта насосов) для заданного уровня риска (0,1) составит 4 шт. на парк.

Неремонтопригодный обратный клапан ОК-10А эксплуатируется по состоянию (метод ТЭО). Расчетная потребность в запасных частях для непланового ТО [формула (10–1)] составляет 13 шт. Начальный запас на 12 мес составляет 2 шт. Минимальный уровень запаса исходя из времени поставки нового или длительности ремонта составляет 1 шт.

Фильтр 8Д2.966.017 эксплуатируется по методу ТЭР. Для планового ТО на весь парк ВС в течение срока службы в общей сложности потребуется [по формуле (10–6)] 300 шт. На период начального МТО на парк потребуется [по формуле (10–7)] 19 шт. Потребность для непланового ТО на 15 лет на парк составит 174 шт. Минимальный уровень запаса исходя из времени поставки, составит 7 шт.

Кран электромагнитный ГА-74М эксплуатируется по методу ТЭП. Потребность в запасных частях для непланового обслуживания парка в течение 15 лет составляет 9 шт. Начальный запас на период 12 мес составляет 2 шт. Размер партии поставки (время поставки 3 мес, периодичность поставки 12 мес) составляет 2 шт. Минимальный объем запаса исходя из времени поставки нового изделия составляет 1 шт.

Представление исходных данных и результатов расчета приведено на рис. 10–1.

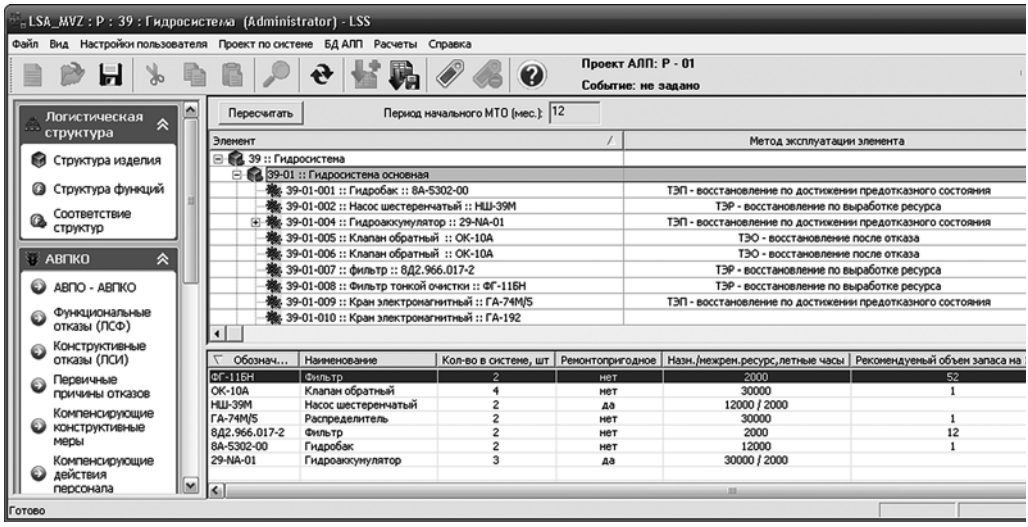


Рис. 10–1 Исходные данные и результаты расчета потребностей в запасных частях

11. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

11.1. Номенклатура показателей для оценки и анализа ЭТХ

Для оценки и анализа ЭТХ авиационной техники традиционно используют ряд групп показателей [25], [60], характеризующих безопасность полетов (в части влияния на нее отказов — отказобезопасность), надежность, контролепригодность, ЭТ и РТ АТ. Эти показатели включают как частные параметры, характеризующие отдельные эксплуатационные свойства объектов анализа, так и комплексные, характеризующие сразу несколько эксплуатационных свойств и зависящие от нескольких частных показателей.

Номенклатура показателей ЭТХ может быть структурирована следующим образом.

- показатели отказобезопасности;
- показатели надежности (включая показатели безотказности, долговечности и сохраняемости);
- показатели ЭТ и РТ;
- показатели контролепригодности;
- комплексные показатели.

Условные обозначения и определения используемых показателей ЭТХ для каждой из указанных групп приведены в табл. 11–1.

Табл. 11–1 Условные обозначения и определения показателей ЭТХ

Наименование показателя	Условное обозначение	Определение
Показатели безопасности полета		
1. Средний налет на авиационное происшествие	$T_{ап}$	Отношение налета рассматриваемой совокупности ВС к математическому ожиданию числа АП за определенный период эксплуатации

2. Среднее число катастроф на 100000 ч налета	$K_к$	Математическое ожидание числа катастроф на 100000 ч налета рассматриваемой совокупности ВС
3. Вероятность отсутствия авиационного происшествия	$P_{ап}$	Вероятность того, что в пределах заданного налета ВС АП не произойдет
4. Вероятность авиационного происшествия	$q_{ап}$	Вероятность того, что в пределах заданного налета ВС произойдет АП
5. Вероятность особой ситуации в полете	$q_с$	Вероятность того, что за время полета (этапа полета) ВС возникнет особая ситуация
6. Вероятность особой ситуации на один час полета	$Q_с$	Отношение вероятности особой ситуации в полете к продолжительности полета ВС
7. Коэффициент тяжести авиационных происшествий	$K_{ап}$	Отношение числа катастроф к общему числу АП за определенный период эксплуатации рассматриваемой совокупности ВС
8. Коэффициент опасности особой ситуации	$K_{ос}$	Вероятность того, что особая ситуация в полете приведет к катастрофе

Показатели надежности

Показатели безотказности

9. Вероятность безотказной работы при выполнении типового полета	$P_{тп}$	Вероятность того, что в типовом полете не возникнет отказ, приводящий к невыполнению полетного задания
10. Вероятность безотказной работы	$P(t)$	По ГОСТ 27.002
11. Средняя наработка на отказ	$T_о$	По ГОСТ 27.002
12. Средний налет на отказ	$T_{н.о}$	Отношение налета изделия к математическому ожиданию числа его отказов за определенный период эксплуатации
13. Средний налет на отказ, приводящий к невыполнению полетного задания	$T_{п.з}$	Отношение продолжительности типового полета к математическому ожиданию числа отказов в этом полете, приводящих к невыполнению полетного задания

14. Средняя наработка на отказ в полете	$T_{о.п}$	Отношение наработки восстанавливаемого изделия в условиях полета к математическому ожиданию числа его отказов за определенный период эксплуатации
15. Параметр потока отказов	$\omega(t)$	По ГОСТ 27.002
16. Интенсивность отказов	λ	По ГОСТ 27.002
17. Вероятность отказа определенного вида	$q_{о}$	Вероятность того, что в пределах заданной наработки изделия возникнет отказ определённого вида
18. Средний налет на отказ и повреждение	$T_{с}$	Отношение налета ВС к математическому ожиданию суммарного числа выявленных в полете и при всех видах ТО отказов и повреждений его СЧ за определенный период эксплуатации
19. Средний налет на отказ и повреждение в полете	$T_{п}$	Отношение налета ВС к математическому ожиданию суммарного числа выявленных в полете отказов и повреждений его СЧ за определенный период эксплуатации
20. Средний налет изделия на неплановый съем с борта ВС	$T_{н.с}$	Отношение наработки восстанавливаемого изделия в условиях полета к математическому ожиданию числа неплановых съемов изделий с борта ВС

Показатели долговечности

21. Назначенный ресурс (срок службы)	$T_{р.н}$ ($T_{с.н}$)	По ГОСТ 27.002
22. Проектный ресурс (срок службы)	$T_{р.п}$ ($T_{с.п}$)	Принятый при разработке и (или) сертификации типовой конструкции вид назначенного ресурса (срока службы) изделия или ВС в целом, в пределах которого обеспечивается необходимый уровень безопасности конструкции по условиям прочности
23. Ресурс (срок службы) до списания	$T_{р.с}$ ($T_{с.с}$)	Наработка изделия (календарная продолжительность) от начала его эксплуатации до перехода в предельное состояние, при котором изделие подлежит списанию

24. Гамма-процентный ресурс	$T_{\text{рγ}}$	По ГОСТ 27.002
25. Средний срок службы	$T_{\text{с.ср}}$	По ГОСТ 27.002
Показатели сохраняемости		
26. Средний срок сохраняемости	$T_{\text{сх.ср}}$	По ГОСТ 27.002
27. Назначенный срок хранения	$T_{\text{сх.н}}$	По ГОСТ 27.002
Показатели эксплуатационной (ремонтной) технологичности		
28. Удельная суммарная трудоемкость ТО (ремонта)	$K_{\text{т.то}}\,(K_{\text{т.р}})$	Отношение математического ожидания суммарной трудоемкости ТО (ремонта) к налету ВС за определенный период эксплуатации
29. Средняя трудоемкость ТО (ремонта)	$T_{\text{то}}\,(T_{\text{р}})$	По ГОСТ 18322
30. Средняя трудоемкость (продолжительность) работы планового ТО	$T_{\text{пл.то}}\,(t_{\text{пл.то}})$	Математическое ожидание трудоемкости (продолжительности) выполнения определенной плановой работы при ТО
31. Удельная суммарная продолжительность ТО (ремонта)	$K_{\text{п.то}}\,(K_{\text{п.р}})$	Отношение математического ожидания суммарной продолжительности ТО (ремонта) к налету ВС за определенный период эксплуатации
32. Средняя продолжительность ТО (ремонта)	$t_{\text{то}}\,(t_{\text{р}})$	По ГОСТ 18322
33. Среднее время восстановления работоспособного состояния	$t_{\text{в}}$	По ГОСТ 27.002
34. Вероятность восстановления работоспособного состояния	$P_{\text{в}}$	По ГОСТ 27.002
35. Коэффициент загрузки исполнителя (средства)	$K_{\text{з}}$	Отношение средней суммарной продолжительности работы исполнителя (средства) при выполнении определенного вида ТО или ремонта к его средней суммарной продолжительности

Показатели контролепригодности

36. Полнота контроля отказов, отказов, непосредственно приводящих к особым ситуациям в полете	$\eta_{ос}$	Отношение математического ожидания числа контролируемых отказов, приводящих к особым ситуациям, к математическому ожиданию общего числа отказов, приводящих к особым ситуациям
37. Частота неподтвержденных отказов	$N_{н.о}$	Отношение математического ожидания числа отказов, не подтвержденных в результате проверки демонтированных из-за признаков отказа изделий после съема их с борта ВС заданными средствами контроля, к математическому ожиданию общего числа съемов изделий с борта ВС из-за признаков отказов
38. Вероятность ложной информации	$P_{л.и}$	Вероятность выдачи средствами контроля информации о событии при условии, что оно не произошло
39. Вероятность невыдачи информации	$P_{н.и}$	Вероятность невыдачи средствами контроля информации о событии при условии, что оно произошло
40. Среднее время поиска отказа	$t_{п.о}$	Математическое ожидание времени поиска отказавшей СЧ ВС, восстановление которой предусмотрено в заданных условиях

Комплексные показатели надежности и ЭТ (РТ)

41. Среднее число прерванных полетов на 1000 вылетов	$K_{1000\ пп}$	Математическое ожидание общего числа прерванных взлетов и вынужденных посадок, приходящихся на 1000 вылетов ВС
42. Коэффициент готовности к вылету	$K_{г.в}$	Вероятность того, что запланированный на определенное время вылет не будет задержан сверх допустимого времени или отменен из-за неисправности ВС
43. Коэффициент технической готовности	$K_{т.г}$	Вероятность того, что в произвольный момент времени ВС не будет находиться на плановом ТО (ремонте) и его вылет не будет задержан сверх допустимого времени или отменен из-за неисправности ВС
44. Коэффициент готовности	$K_{г}$	По ГОСТ 27.002

45. Коэффициент планируемого применения	$K_{\text{п.п}}$	Доля определенного периода эксплуатации, в течение которой ВС не должен находиться на плановом техническом обслуживании (ремонте)
46. Удельная суммарная продолжительность восстановления работоспособного состояния	$K_{\text{п.в}}$	Отношение математического ожидания суммарной продолжительности ТО, связанного с восстановлением работоспособного состояния ВС к его налету за определенный период эксплуатации
47. Удельные суммарные затраты на ТО (ремонт)	$K_{\text{с.з.то}}$ ($K_{\text{с.з.р}}$)	Отношение математического ожидания суммарных затрат на ТО (ремонт) к налету ВС за определенный период эксплуатации
48. Удельные прямые затраты на ТО (ремонт)	$K_{\text{пз.то}}$ ($K_{\text{пз.р}}$)	Затраты, возникающие на регулярной основе, от начала эксплуатации ВС и до ее прекращения, включающие затраты на оплату труда, затраты на запасные части и расходные материалы, отнесенные на 1 ч налета ВС
49. Коэффициент эксплуатационно-экономической эффективности	$K_{\text{э}}$	Отношение рассматриваемой вероятностной характеристики готовности ВС к величине удельных прямых или суммарных затрат на ТО
50. Коэффициент эксплуатационной готовности	$K_{\text{э.г}}$	Вероятность того, что в произвольный момент времени в реальных условиях эксплуатации ВС будет работоспособно и в состоянии выполнить полет хотя бы одному из типовых вариантов применения

Для составных частей ВС могут использоваться не все, а лишь часть из приведенных показателей ЭТХ. Например, для авиационных двигателей устанавливают значения таких показателей, как средний налет на авиапроисшествие из-за отказа двигателя, средний налет на выключение двигателя в полете, средняя наработка на отказ в полете, средняя наработка на отказ и повреждение. Для различных видов систем и оборудования ВС устанавливают значения показателей: средняя наработка на отказ в полете или средний налет на отказ, средний налет (средняя наработка) на отказ и повреждение и т. д.

Средние показатели долговечности (гамма-процентные и средние показатели ресурса и срока службы), а также ресурс и срок службы до списания весьма полезны при обеспечении и контроле долговечности изделий, эксплуатируемых по техническому состоянию, т. е. без установления назначенных реурсов и сроков службы.

Оценка показателей ЭТ (РТ) основана на определении затрат труда, времени и материальных средств, связанных с выполнением видов планового ТО (ремонта) и сопутствующих неплановых работ. Такие комплексы плановых работ (виды ТО или ремонта ВС) оперативного (подготовки к полетам) и периодического (регламентные работы) ТО либо соответствующие виды планового ремонта (средний, капитальный) регламентируются ЭД (РД) для данного типа ВС. Затраты труда и времени на эти виды ТО (ремонта) определяют показателями «средняя трудоемкость ТО (ремонта)» и «средняя продолжительность ТО (ремонта)».

При использовании комплексных показателей следует учитывать, что они в значительной степени зависят не только от свойств конструкции АТ, но и от характеристик других составляющих системы технической эксплуатации, включая организационные аспекты ИЛП АТ. Соответственно, показатели этой группы в зависимости от условий оценки и учитываемых при определении показателей составляющих затрат труда, времени и материальных средств могут характеризовать как уровень БНКТ собственно изделия АТ, так и совершенство системы технической эксплуатации в целом.

Коэффициент технической готовности характеризует готовность ВС в зависимости от безотказности АТ и трудоемкости ее ТО (ремонта) и вычисляется по формуле

$$K_{тг} = K_{пп} K_{гв} \qquad (11–1)$$

Показатель $K_{пп}$ оценивается по формуле

$$K_{пп} = 1 — K_{п} \overline{\tau}, \qquad (11–2)$$

где $\overline{\tau}$ — интенсивность эксплуатации, которая определяется как отношение налета ВС τ за календарный год к расчетному годовому фонду времени, ч.

Показатели $K_{пп}$, $K_{п}$, $K_{тг}$ определяют при расчетной (нормированной) интенсивности эксплуатации либо по фактической эксплуатационной статистике.

Показатель $K_{п}$ рассчитывается как сумма удельной суммарной продолжительности плановых видов ТО $K_{пто}$ и удельной суммарной продолжительности восстановления $K_{пв}$:

$$K_{п} = K_{пто} + K_{пв}. \qquad (11–3)$$

Показатель $K_{пв}$ определяется как отношение математического ожидания суммарной продолжительности работ по восстановлению работоспособного

состояния ВС за определенный период эксплуатации к налету ВС за этот же период.

Оценка показателя $K_{гв}$ проводится по формуле

$$K_{гв} = K_г + (1 - K_г)\, P_в, \qquad (11–4)$$

где $P_в$ — вероятность восстановления ВС в заданное время в процессе подготовки к вылету.

Эта вероятность определяется с учетом нормативной продолжительности подготовки ВС к полету, допустимого времени задержки вылета (15 мин) и возможностей выполнения полета с отдельными отказами (согласно Минимальному перечню оборудования) по следующим формулам:

$$P_в = \exp\,(-t_{расп}/t_в), \qquad (11–5)$$

$$t_{расп} = t_в + 0{,}25\ ,$$

где $t_{пп}$ — средняя продолжительность подготовки к полету (предполетной в начале летного дня или транзитного ТО между полетами), ч;

$t_в$ — среднее время восстановления, ч.

При отсутствии необходимых данных для оценки указанной вероятности можно вместо показателя $K_{гв}$ использовать классический показатель $K_г$

$$K_г = T_с / (T_с + t_в). \qquad (11–6)$$

Обеспечение необходимого уровня готовности требует проведения планового и непланового ТО и влечет соответствующие затраты. Для оценки этих затрат используют показатели удельных прямых или суммарных затрат. Величина удельных прямых затрат на ТО зависит от надежности и ЭТ типовой конструкции ВС, особенностей системы его технической эксплуатации и рассчитывается путем суммирования всех составляющих прямых затрат на ТО и отнесения их к 1 ч налета ВС.

Прямые затраты на ТО включают следующие составляющие:

- затраты на плановое ТО, включающие оплату труда при проведении планового ТО, в том числе при восстановлении ресурса (заменах изделий в связи с выработкой ими назначенного ресурса), и затраты на запасные части и расходные материалы;
- затраты на неплановое ТО, включающие оплату труда при проведении непланового ТО и затраты на запасные части и расходные материалы.

Возможна оценка удельных прямых затрат отдельно для планового и непланового ТО.

Удельные суммарные затраты на ТО (ремонт) дополнительно включают

составляющие косвенных затрат, обусловленные накладными расходами, по согласованию заинтересованных сторон.

Для комплексной оценки совершенства типовой конструкции образца АТ и системы его технической эксплуатации целесообразно использовать «коэффициент эксплуатационно-экономической эффективности», который характеризует эффективность вложений в обеспечение ЭТХ и отражает потребные затраты на одну расчетную единицу приращения уровня готовности ВС. Этот коэффициент может определяться с использованием одного из следующих соотношений:

$$K_э = K_{тг} / K_{пз.то} \text{ или } K_э = K_{тг} / K_{сз.то}. \quad (11–7)$$

Возможно также использование раздельных оценок для определения эффективности затрат, обусловленных плановым и неплановым ТО, по следующим формулам:

$$K_{э.пп} = K_{пп} / K_{пз.пто}, \quad (11–8)$$

где $K_{пз.пто}$ — часть $K_{пз.то}$, связанная с плановым ТО;

$$K_{э.гв} = K_{гв} / K_{пз.нто}, \quad (11–9)$$

где $K_{пз.нто}$ — часть $K_{пз.то}$, связанная с неплановым ТО.

11.2. Оценка технической готовности

В инженерной практике под фразой «повышение уровня технической готовности» понимается задача — сделать так, чтобы изделие (в данном случае ВС) больше времени находилось в состоянии готовности к применению и, соответственно, меньше времени простаивало по любой технической причине.

В экономической литературе уровень готовности парка изделий часто называется «средним уровнем исправности» или схожими терминами. Однако при попытке выразить «уровень готовности» с помощью конкретных численных показателей неизбежно возникает терминологическая путаница, связанная с особенностями определения этих показателей в отечественных и зарубежных стандартах. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

К причинам, по которым ВС может быть не готово к использованию по назначению, относят:

1. Выполнение планового ТО в сроки, указанные в ЭД.
2. Выполнение непланового ТО (поиск и устранение отказов и повреждений при необходимости).

3. Отсутствие необходимых запасных частей.
4. Административные простои, не связанные с техническими причинами,
5. Пребывание изделия на хранении (с выполнением его консервации).

Очевидно, что последние две причины в этом списке никак не связаны со свойствами ВС и системы его технической эксплуатации, поэтому далее рассматриваться не будут.

В зарубежной литературе и стандартах [1], [61] приняты три основных показателя, характеризующих готовность, а именно:

Inherent availability (A_i). «Собственная» готовность ВС, которая оценивается по формуле

$$A_i = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad , \tag{11–10}$$

где MTBF (Mean Time Between Failures) — среднее время между отказами;

MTTR (Mean Time To Repair) — среднее время восстановления изделия (при наличии всех необходимых для этого ресурсов).

Как видно из формулы этот показатель учитывает только длительность простоев, связанных с отказами ВС. Причем время восстановления не включает задержки, вызванные отсутствием запасных частей.

Achieved availability (A_a). «Достигнутая» готовность ВС, оцениваемая по формуле

$$A_i = \frac{\text{MTBM}}{\text{MTBM} + \bar{M}} \ , \tag{11–11}$$

где MTBM (Mean Time Between Maintenance) — среднее время между выполнением ТО (как планового, так и непланового);

$\bar{M}$ — средняя продолжительность ТО при наличии всех необходимых для этого ресурсов.

Отличием этого показателя от предыдущего является учет простоев, связанных с выполнением как непланового, так и планового ТО. Простои, связанные с отсутствием запасных частей, не учитываются.

Operational availability (A_o). «Эксплуатационная» готовность ВС, оцениваемая по формуле

$$A_i = \frac{\text{MTBM}}{\text{MTBM} + \text{MDT}} \tag{11–12}$$

где MDT (Mean Down Time) — средняя продолжительность ТО.

Этот показатель учитывает все простои как при непосредственном выполнении планового и непланового ТО, так и в ожидании запасных частей.

Используемые в отечественной практике комплексные показатели ЭТ и РТ приведены в подразд. 11.1. Как видно из определений этих показателей, зарубежному термину «inherent availability» в большей степени соответствует показатель «коэффициент готовности к вылету». Термину «achieved availability» — показатель «коэффициент технической готовности». Для зарубежного показателя «operational availability», учитывающего также простои, связанные с отсутствием запасных частей, явного аналога нет.

Авторы отечественной учебной литературы в области надежности [62], [63] для того, чтобы устранить этот пробел, вводят еще три показателя:

Коэффициент готовности изделия при бесконечном ЗИП ($K_{Г_\infty}$): определение этого показателя совпадает с определением коэффициента готовности.

Коэффициент готовности изделия с учетом ЗИП (K_{Σ}): стационарный коэффициент готовности пары «изделие—система ЗИП», т.е. стационарная вероятность застать изделие в работоспособном состоянии при восстановлении с помощью ЗИП.

Коэффициент готовности системы ЗИП ($K_{Г_{ЗИП}}$): стационарная вероятность застать пару «изделие—система ЗИП» в состоянии, когда отсутствуют неудовлетворенные заявки от изделия на запасные части.

Такое количество различных стандартизованных показателей, характеризующих готовность изделия, а также не вполне однозначное соответствие зарубежных и отечественных терминов зачастую приводят к некорректному их применению в литературе и технических документах. Например, зарубежный термин «operation availability» зачастую переводят дословно как «оперативная готовность» или «коэффициент оперативной готовности», хотя в отечественных документах этот показатель несет иной смысл.

Учитывая вышеизложенное можно сделать вывод, что наилучшим образом уровень готовности комплекса «ВС–СТЭ» описывает принятый в зарубежной практике показатель «operational availability», учитывающий все простои по техническим причинам. Это понятно, поскольку эксплуатирующую организацию в первую очередь интересует доля времени, в течение которого ВС фактически будет работать и, соответственно, генерировать прибыль (при гражданском применении) или обеспечивать боеготовность (для военной техники). При этом причины простоев изделия отходят на второй план.

В отечественной литературе наиболее близким к «operation availability» показателем, который можно оценивать на этапе проектирования, являет-

ся «коэффициент эксплуатационной готовности», с той оговоркой, что его расчет должен выполняться с учетом простоев из-за отсутствия запасных частей. Далее для оценки готовности будем использовать именно этот показатель.

Как уже было отмечено, при оценке уровня готовности следует учитывать простои ВС в связи со следующими тремя видами причин: выполнение планового ТО, выполнение непланового ТО, отсутствие необходимых запасных частей (отказ системы ЗИП). Таким образом, приближенную формулу для расчета эксплуатационной готовности можно представить как произведение трех показателей:

$$K_{\text{эг}} \approx K_{\text{пп}} K_{\text{г}\,\infty} K_{\text{г ЗИП}} \qquad (11\text{–}13)$$

где $K_{\text{пп}}$ — коэффициент планируемого применения (отражает долю времени, в течение которого ВС не должно находиться на плановом ТО);

$K_{\text{г}_\infty}$ — коэффициент готовности ВС при бесконечной системе ЗИП (отражает долю времени, в течение которого ВС не должно находиться на неплановом ТО, без учета времени простоев, вызванных отсутствием запасных частей);

$K_{\text{г}_{\text{ЗИП}}}$ — коэффициент готовности системы ЗИП (отражает долю времени, в течение которого система ЗИП находится в работоспособном состоянии, т.е. все заявки на запасные части удовлетворяются).

Рассмотрим методики расчета этих трех коэффициентов.

Значение **коэффициента планируемого применения** ($K_{\text{пп}}$) рассчитывается на основе требований к плановому ТО, хранимых в базе данных АЛП. Введем следующие обозначения:

$m_{\text{ПТО}}$ — перечень видов планового ТО;

$\tau^i_{\text{ПТО}}$ — периодичность выполнения i-го вида планового ТО ($i = 1,..., m_{\text{ПТО}}$) в единицах наработки;

$t_{\text{ТО}_i}$ — продолжительность выполнения i-го вида планового ТО в календарных часах.

Тогда расчет коэффициента планируемого применения можно выполнять по следующей формуле

$$K_{\text{пп}} = \prod_{i=1}^{m_{\text{пто}}} \frac{\psi \tau_i^{\text{пто}}}{\psi \tau_i^{\text{пто}} + t_{\text{то}\,i}} \qquad (11\text{–}14)$$

где ψ — коэффициент для перевода наработки в календарные часы.

Этот коэффициент можно рассчитать, зная сценарий использования изделия по назначению, например, если известно, что ВС выполняет три полета

в день ($n_{\text{пол}} = 3$), а средняя продолжительность полета составляет 4 ч ($\tau_{\text{П}} = 4$), то коэффициент можно рассчитать по формул:

$$\psi = \frac{24}{n_{\text{пол}} \tau_{\text{п}}} \qquad (11–15)$$

Коэффициент готовности изделия при бесконечной системе ЗИП (K_{Γ_∞}) рассчитывается в соответствии с известными методами оценки надежности технических систем [63].

Исходными данными для расчета являются следующие сведения, хранимые в базе данных АЛП:

- данные о составе ВС;
- схемы резервирования, используемые в изделии;
- данные о надежности СЧ (интенсивности отказов);
- данные о нормативах восстановления после отказов СЧ (среднее время устранения отказов).

Отметим, что для АТ одной из мер повышения готовности с использованием резервирования является допуск к эксплуатации ВС с определенными безопасными отказами в течение ограниченного периода. Перечень таких отказов оформляют в виде отдельного эксплуатационного документа («Типовой минимальный перечень оборудования» или ТМПО), на основе которого эксплуатант вправе принимать самостоятельное решение о допустимости полетов с тем или иным отказом. Таким образом, при расчете коэффициента готовности при бесконечной системе ЗИП с использованием известных математических методов [64] можно использовать правила и ограничения, изложенные в утвержденном при сертификации типовой конструкции ВС ТМПО.

Коэффициент готовности системы ЗИП ($K_{\Gamma_{\text{ЗИП}}}$) отражает долю времени, в течение которого ВС простаивает из-за отсутствия необходимых для устранения отказов запасных частей.

Исходными данными для расчета значения этого коэффициента являются:

- данные о составе ВС;
- данные о надежности СЧ (интенсивности отказов);
- данные о среднем времени поставки (ремонта) СЧ;
- данные о начальном объеме запасных частей каждого типа (см. подразд. 10.2),
- данные о модели (стратегии) управления запасами.

Коэффициент готовности системы ЗИП в целом рассчитывается как произведение коэффициентов готовности для каждого типа изделий:

$$K_{\text{ГЗИП}} = \prod_{i=1}^{M} K_{\text{ГЗИП}_i} \qquad (11\text{–}16)$$

где M — число видов (номенклатура) запасных частей;

$K_{\text{Г ЗИП}\,i}$ — коэффициент готовности системы ЗИП для изделий i-го типа ($i = 1,...,M$).

Расчетные формулы для оценки коэффициента готовности системы ЗИП для изделий i-го типа $K_{\text{Г ЗИП}\,i}$ зависят от принятой для данного типа изделий модели управления запасами. Параметром любой модели управления запасами является начальный объем запасов $A_{\text{нач.непл}} = (A_1,..., A_M)$, рассчитываемый в соответствии с описанной в подразд. 10.3 методикой (A_i — величина начального запаса изделий i-го типа, $i = 1,...,M$).

В зарубежной и отечественной литературе описаны рассмотренные далее три основные модели управления запасами. Приведенные для этих моделей расчетные формулы справедливы только для одноуровневой системы управления запасами.

Модель с непрерывным пополнением запасов. Эта модель подразумевает, что при отказе установленного на ВС изделия восстановление производится путем замены отказавшего изделия на работоспособное из комплекта ЗИП, после чего сразу же формируется заявка на пополнение комплекта. Модель чаще всего применяется для ремонтопригодных изделий в ситуации, когда у эксплуатирующей организации есть возможность сразу же отправлять неисправные изделия в ремонт и получать их обратно (исправными) через известное среднее время ремонта.

Для этой модели формула расчета коэффициента готовности системы ЗИП для изделий i-го типа ($K_{\text{Г ЗИП}\,i}$) выглядит следующим образом [63]:

$$K_{\text{ГЗИП}_i} = 1 - \frac{\left(m_i \lambda_i T_i\right)^{A_i+1}}{\left(A_i+1\right)! \sum_{j=0}^{A_i+1} \frac{\left(m_i \lambda_i T_i\right)^j}{j!}} \qquad (11\text{–}17)$$

где m_i — число эксплуатируемых изделий i-го типа;

λ_i — интенсивность отказов изделий i-го типа, выраженная в календарном времени;

T_i — среднее время от момента формирования заявки на пополнение ЗИП до момента доставки, т.е. среднее время ремонта (для ремон-

тируемых изделий) или среднее время поставки (для неремонтируемых изделий);

A_i — начальный запас изделий i-го типа.

Модель с периодическим пополнением запасов. Эта модель подразумевает, что пополнение запасов производится через фиксированные промежутки времени. При этом пополнение осуществляется до начального (A_i) уровня. Данная модель применяется в случаях, когда парк техники эксплуатируется в удаленном регионе, и транспортирование запасных частей осуществляется через заданные периоды времени (например, транспортный самолет осуществляет перевозки только раз в несколько месяцев).

Для этой модели формула расчета $K_{\text{Г ЗИП }i}$ выглядит следующим образом [63]:

$$K_{\text{ГЗИП}_i} = \frac{1}{m_i \lambda_i T_i} \sum_{j=0}^{A_i} \left(1 - \sum_{k=0}^{j} \frac{\left(m_i \lambda_i T_i\right)^k}{k!} e^{-m_i \lambda_i T_i} \right) \qquad (11\text{–}18)$$

где T_i — периодичность пополнения запасов.

Модель с пополнением запасов по уровню. В данной модели предполагается, что начальный запас изделий i-го типа A_i расходуется для устранения отказов, пока уровень запасов не достигнет некоторого заданного порогового значения a_i, после чего формируется заявка на пополнение запасов данного типа объемом $(A_i - a_i)$.

Модель применяется, как правило, при высокой стоимости доставки запасных частей, когда эксплуатирующей организации целесообразно осуществлять пополнение запасов достаточно большими партиями. Для этой модели при существенно меньшей величине порогового запаса a_i, чем начального A_i (при $2\,a_i + 2 \le A_i$), формула расчета $K_{\text{Г ЗИП }i}$ выглядит следующим образом [63]:

$$K_{\text{ГЗИП}_i} = 1 - \frac{\left(m_i \lambda_i T_i\right)^{a_i+2}}{\left(m_i \lambda_i T_i\right)^{a_i+2} + \left(A_i - a_i\right)\left(1 + m_i \lambda_i T_i\right)^{a_i+1}} \qquad (11\text{–}19)$$

где T_i — среднее время доставки запасных частей.

Таким образом, определив модель и параметры системы управления запасами для каждого типа изделий можно определить коэффициент эксплуатационной готовности ВС в целом.

Следует отметить, что приведенные методики оценки уровня готовности

можно использовать для расчета величины начальных запасов при заданных требованиях к готовности (обратная задача).

Для ее решения коэффициент готовности системы ЗИП запишем как функцию от величины начальных запасов $A_{\text{нач.непл}} = (A_1,...,A_M)$. Предположим, что требуется обеспечить значение коэффициента эксплуатационной готовности не менее μ, т. е.:

$$K_{\text{эг}} \approx K_{\text{пп}} K_{\text{г}\infty} K_{\text{г ЗИП}} \left(A_{\text{нач-непл}} \right) \geq \mu \qquad (11\text{–}20)$$

Предположив, что коэффициент планируемого применения $K_{\text{пп}}$ и коэффициент готовности при бесконечной системе ЗИП K_{Γ_∞} известны, это выражение можно записать в следующем виде:

$$K_{\text{эг}} \approx K_{\text{пп}} K_{\text{г}\infty} K_{\text{г ЗИП}} \left(A_{\text{нач-непл}} \right) \geq \mu \qquad (11\text{–}21)$$

Таким образом требуется сформировать такой начальный запас, чтобы обеспечить значение коэффициента готовности системы ЗИП, не меньшее, чем величина γ. Поскольку эта задача имеет бесконечное число решений, так как обеспечить данный уровень готовности можно бесконечной комбинацией достаточно больших объемов запасов, в качестве дополнительного условия примем, что начальный запас должен иметь минимальную стоимость приобретения. Тогда задачу определения количества начальных запасов можно представить как оптимизационную:

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{M} A_i C_i \to \min, \\ &K_{\text{г ЗИП}} \left(A_{\text{нач-непл}} \right) \geq \gamma \end{aligned} \qquad (11\text{–}22)$$

где C_i — стоимость изделия i-го типа.

Эта задача решается с использованием метода покоординатного спуска и состоит из следующих шагов:

Шаг 0. Устанавливается начальный вектор параметров $A^{(0)}_{\text{нач.непл}}$, в котором запасы изделий всех типов равны нулю:

$$A^{(0)}_{\text{нач.непл}} = (0,...,0)$$

Рассчитывается величина $K_{\Gamma_{\text{ЗИП}}}(A^{(0)}_{\text{нач.непл}})$.

Шаг i+1. На $(i+1)$-м шаге рассматриваются векторы $A^{(i)(+j)}_{\text{нач-непл}}$, полученные путем увеличения величины запасов j-го типа на единицу. Количество таких векторов будет равно количеству типов изделий M.

Для каждого j-го типа рассчитывается значение

$$\Delta N_j = \frac{\ln K_{\text{г зип}}\left(A_{\text{нач-непл}}^{(i)(+j)}\right) - \ln K_{\text{г зип}}\left(A_{\text{нач-непл}}^{(i)}\right)}{C_j} \qquad (11\text{–}23)$$

Значение вектора устанавливается равным значению вектора $A_{\text{нач-непл}}^{(i)(+j)}$ с таким индексом j, для которого величина максимальна.

После этого выполняется проверка условия $K_{\text{Г }ЗИП}(A_{\text{нач-непл}}^{(i+1)}) \geq \gamma$.

Если это условие выполняется, искомый вектор равен $A_{\text{нач-непл}}^{(i+1)}$ и алгоритм прекращает работу. В противном случае осуществляется переход на шаг $i+2$.

Данный алгоритм можно применять взамен описанной в разд. 10 методики при известных требованиях к показателю готовности.

11.3. Оценка удельной трудоемкости технического обслуживания

Важнейшим показателем, характеризующим совершенство системы ТО, является удельная трудоемкость технического обслуживания [42]. Эта величина может быть получена расчетным путем на основе данных, хранимых в БД АЛП.

В соответствии с [42] суммарная трудоемкость технического обслуживания ВС складывается из суммарной трудоемкости оперативного обслуживания, суммарной трудоемкости периодического обслуживания и суммарной трудоемкости восстановления работоспособного состояния:

$$T_{\text{то}} = T_{\text{то.оп}} + T_{\text{то.пер}} + T_{\text{то.нто}} \qquad (11\text{–}24)$$

Удельная трудоемкость оперативного ТО может быть вычислена по формуле:

$$K_{\text{т.оп}} = \frac{T_1 + T_3 + T_2\left(n_{\text{пол}} - 1\right)}{\tau_{\text{пол}} n_{\text{пол}}} \qquad (11\text{–}25)$$

где T_1 — трудоемкость предполетного, T_2 — послеполетного, а T_3 — транзитного ТО;

$\tau_{\text{пол}}$ — средняя продолжительность полета;

$n_{\text{пол}}$ — число полетов (миссий) в день.

Удельная трудоемкость периодического обслуживания может быть вычислена по формуле

$$K_{\text{т.пер}} = \frac{1}{\tau_{\text{г}} T_{\text{с.с}}} \sum_{i=1}^{m_{\text{пто}}} \text{ROUND}\left(\frac{T_{\text{с.с}} \tau_{\text{г}} - 1}{\tau_i^{\text{пто}}} \right) T_i \qquad (11\text{–}26)$$

где

$T_{\text{с.с.}}$ — срок службы ВС;

$\tau_{\text{Г}}$ — средний годовой налет на одно ВС;

$m_{\text{пто}}$ — количество работ планового ТО;

$\tau^{\text{пто}}_{i}$ — периодичность выполнения i-й работы планового ТО, выраженная в часах полета воздушного судна;

T_i — средняя трудоемкость выполнения i-й работы планового ТО.

Удельная трудоемкость непланового ТО может быть приблизительно оценена по формуле:

$$K_{\text{т.нто}} = \sum_{m=1}^{M} \lambda_m x_m \tau_{\text{восст}_m} \qquad (11\text{–}27)$$

где M — число типов СЧ (изделий) в составе ВС;

λ_m — интенсивность отказов СЧ m-го типа (m = 1,...,M);

x_m — количество СЧ m-го типа в составе ВС;

$\tau_{\text{восст}\,m}$ — трудоемкость восстановления (замены) СЧ m-го типа, в чел.-ч.

В качестве примера на рис. 11–1 приведен раздел отчета, содержащего результаты расчета удельной трудоемкости планового ТО для среднемагистрального самолета.

Анализ суммарной и удельной трудоемкости технического обслуживания

Периодическое ТО. ФС 021. Налет 3000 ч в год

Форма ТО	Перио-дичность, л-ч	Обозначение работы	Наименование работы	Число выпол-нений	Сумм. трудоем-кость, чел.-ч
Ф1-21	600	21-00-00-02	Осмотр агрегатов, трубопроводов и узлов крепления СКВ	5	50,0
		21-00-00-01	Система кондиционирования воздуха – Автоматизированный наземный контроль	5	0,4
Ф1-21-20	600	21-25-00-01	Проверка работоспособности вентиляторов бытовых помещений	5	0,5
		21-00-00-05	Внешний осмотр и проверка соединений трубопроводов системы вентиляции	5	10,0
Ф1-21-30		21-00-00-03	Проверка САРД с помощью встроенного контроля	5	3,0
	600	21-01-00-02	Продувка трубопроводов малого диаметра САРД	5	10,0
		21-00-00-04	Осмотр трубопроводов и агрегатов САРД	5	5,0
		21-00-00-06	Проверка САРД от ВСУ	5	1,5
			.....		
Ф1-21-60	600	21-60-00-02	Проверка работоспособности крана горячего воздуха при работающей СКВ	5	1,5
Ф1-21-80	600	21-00-00-01	Встроенный наземный контроль СКВ	5	0,3
Ф1-21-91	600	21-91-00-01	Осмотр отверстий клапанов слива конденсата из гермокабины	5	1,0
Ф2-21	3000	21-01-00-03	Осмотр и проверка на герметичность компенсаторов 74.88.7603.280.00, 74.00.7603.290.00, 74.00.7603.280.000	1	120,0
		21-01-00-01	Проверка трубопроводов СКВ на герметичность	1	240,0
.....					
Ф2-21-30	3000	21-30-00-05	Замена фильтроэлементов воздушных фильтров 11ВФ12	1	180,0
		21-30-00-04	Проверка характеристик УВПД-5-0,8ф и ВРФ-6МПБ в лаборатории	1	120,0
		21-30-00-01	Проверка САРД с помощью пульта 6047	1	1920,0
Ф2-21-30	3000	21-30-00-03	Контроль заряда баллончиков с пусковой головкой аварийной герметизации фюзеляжа	1	18,0
					2891,3

Удельная трудоемкость = 0,96 чел.-ч на 1 ч налета

Рис. 11–1 Пример отчета с расчетом суммарной и удельной трудоемкости периодического ТО

11.4. Оценка эксплуатационных затрат

11.4.1. Общие сведения

Величина затрат, возникающих в ходе использования изделия по назначению (эксплуатационных затрат), является важнейшей характеристикой, напрямую влияющей на конкурентоспособность изделия. Для изделий АТ, в соответствии с принятыми в гражданской авиации методиками расчета себестоимости перевозок анализ величины эксплуатационных затрат производится путем вычисления и оценки интегрального показателя «прямых эксплуатационных затрат» (Direct Operating Costs — DOC) [65]. При расчете величины показателя прямых эксплуатационных затрат учитываются следующие составляющие:

- затраты на топливо и смазочные материалы;
- затраты на выплату аэропортовых сборов и метеообеспечение полетов;
- затраты на страхование ВС и перевозок;
- затраты на оплату труда экипажа;
- затраты на ТО;
- лизинговые платежи и т. п.

Существенной долей прямых эксплуатационных затрат, величина которой напрямую зависит от принятых в процессе проектирования решений, являются затраты на ТО — затраты, направленные на поддержание изделия в процессе его эксплуатации в исправном (работоспособном) состоянии. Для оценки этих затрат на этапе проектирования используется, в свою очередь, другой комплексный показатель — «прямые затраты на техническое обслуживание» (Direct Maintenance Costs — DMC). Общая типовая структура и взаимосвязь показателей прямых эксплуатационных затрат и прямых затрат на ТО представлены на рис. 11–2.

По данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО), вклад прямых затрат на ТО в общую величину прямых эксплуатационных затрат составляет от 8 до 25 % (в зависимости от типа ВС). В практике отечественных авиакомпаний, по существующим оценкам, доля затрат на ТО зачастую достигает 40 %. Очевидно, что при схожих летно-технических характеристиках более конкурентоспособным окажется тот тип ВС, для которого прямые затраты на ТО будут меньше. В связи с этим оценки показателя прямых затрат на ТО должны проводиться и тщательно анализироваться, начиная с ранних этапов разработки новых типов ВС.

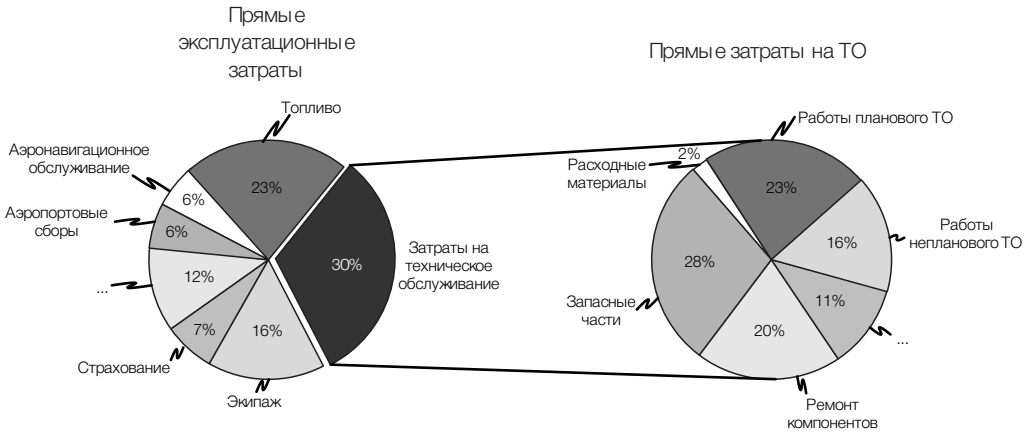


Рис. 11–2 Структура и взаимосвязь показателей прямых эксплуатационных затрат и затрат на ТО

Главным источником сведений для расчета величины показателя прямых затрат на ТО в целом и составляющих его СЧ служит база данных АЛП. Действительно, формируемая в ходе АЛП база содержит сведения о конструкции изделия (см. разд. 7), разработанные программы ТО (см. разд. 9), МТО (см. разд. 10) и другие данные, на основе которых могут быть рассчитаны показатели, характеризующие совершенство конструкции изделия и его системы технической эксплуатации, в том числе прямые затраты на ТО.

Далее будет рассмотрены практические подходы к вычислению и анализу затрат на ТО для АТ.

11.4.2. Методика расчета затрат на техническое обслуживание

Совокупные затраты, возникающие в процессе эксплуатации в связи с проведением ТО, включают следующие статьи затрат:

- затраты на оплату труда при проведении планового (оперативного и периодического) ТО;
- затраты на восстановление КИ и приобретение расходных материалов, необходимых для выполнения работ планового (оперативного и периодического) ТО;
- затраты на оплату труда при восстановлении ресурса (заменах КИ в связи с выработкой ими назначенного ресурса, далее — восстановление ресурса);
- затраты на КИ с ограниченным ресурсом (восстановление ресурса);
- затраты на оплату труда при проведении непланового ТО;

- затраты на восстанавление (ремонт) КИ и приобретение расходных материалов, используемых при неплановом ТО (устранении отказов);
- затраты на создание начального пула запасных частей (КИ), необходимых для выполнения непланового ТО (устранения отказов);
- затраты на приобретение контрольно-проверочной аппаратуры и инструмента для выполнения планового и непланового ТО;
- затраты на создание инфраструктуры СТЭ.

Расчет величины затрат по указанным статьям можно выполнять как для ВС в целом, так и для отдельных его ФС и узлов. Кроме того, перечень статей затрат может быть разбит на группы в соответствии с некоторыми признаками. Например, группа «затраты на плановое ТО» включает затраты на КИ и расходные материалы, необходимые для выполнения работ планового ТО, плюс затраты на оплату труда технического персонала при проведении планового ТО. В международных стандартах статьи затрат для изделий всех типов группируют в соответствии со следующими признаками:

- **по времени возникновения:** начальные затраты (non-recurring costs) и периодические затраты (recurring costs);
- **по виду ТО:** затраты на плановое ТО (preventive maintenance costs) и неплановое ТО (corrective maintenance costs);
- **по типу ресурсов:** затраты на оплату труда (labor costs) и затраты на материалы и запасные части (material costs).

При анализе прямых затрат на ТО АТ гражданского назначения в зарубежной литературе также отдельно выделяют следующие важные составляющие:

- затраты на оперативное ТО (line checks);
- затраты на плановые виды (формы) периодического ТО (B, C и др.);
- затраты на обслуживание ФС и СЧ, работающих с высокой интенсивностью (heavy duty components), к которым, как правило, относят ВСУ, колеса, шины, тормоза и т.д.);
- затраты на ТО маршевых двигателей, в которых выделяют замены деталей и узлов в связи с выработкой ими назначенного ресурса (Limited Life Parts — LLP) и затраты на ТО в ходе планового контрольно-восстановительного обслуживания (overhaul);
- затраты на ремонтируемые ПКИ (rotable components).

Перечень статей затрат и типовые способы их группирования представлены на рис 11–3.

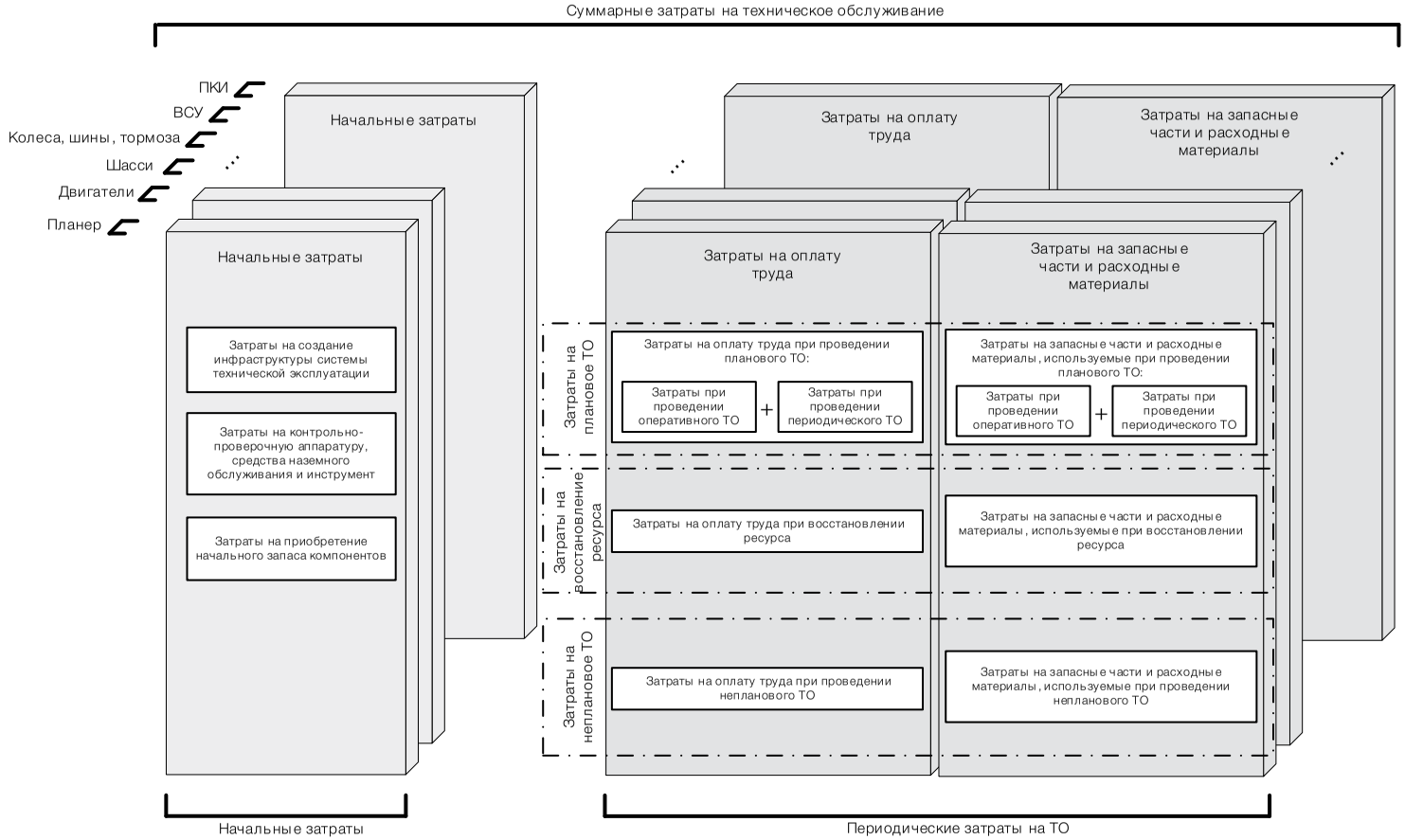


Рис. 11–3 Статьи затрат на ТО и принятые способы их суммирования

Основными количественными показателями затрат на ТО, характеризующими эксплуатационно-экономическую эффективность ВС, являются:

- начальные затраты на ТО — $I_{\text{ТО}}$;
- удельные прямые затраты на ТО — $K_{\text{пз.ТО}}$.

Величина начальных затрат на ТО представляет особый интерес, так как, во-первых, эти затраты в бизнес-плане авиакомпании рассматриваются как компонент начальных инвестиций и их величина впрямую влияет на срок окупаемости проекта по закупке и эксплуатации парка ВС, во-вторых, в величину начальных затрат входят затраты на создание начального пула запасных частей, а значит величина этих затрат напрямую связана с уровнем готовности парка техники (см. подразд. 11.2).

Начальные затраты на ТО рассчитываются как удельный показатель — в расчете на одно ВС:

$$I_{\text{то}} = \frac{1}{N}\left(I_{\text{инф}} + I_{\text{обор}} + I_{\text{нач}}\right) \qquad (11\text{–}28)$$

где N — число ВС в парке (в соответствии с заданным сценарием эксплуатации);

$I_{\text{инф}}$ — начальные затраты на создание инфраструктуры для эксплуатации парка, состоящего из N ВС;

$I_{\text{обор}}$ — начальные затраты на приобретение необходимого количества контрольно-проверочной аппаратуры, инструмента и средств наземного обслуживания для эксплуатации парка ВС;

$I_{\text{нач}}$ — начальные затраты на приобретение начального запаса СЧ (КИ).

К инфраструктуре СТЭ относят здания, сооружения и стационарные технические устройства, необходимые для выполнения планового и непланового ТО ВС. Затраты на создание инфраструктуры рассчитываются как сумма затрат на приобретение (создание) объектов этой инфраструктуры:

$$I_{\text{инф}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{инф}}} C_i^{\text{инф}} \qquad (11\text{–}29)$$

где $N_{\text{инф}}$ — число объектов инфраструктуры, необходимых для выполнения планового и непланового ТО;

$C_i^{\text{инф}}$ — стоимость i-го объекта инфраструктуры.

Затраты на вспомогательное оборудование — контрольно-проверочную аппаратуру, инструмент, принадлежности, средства наземного обслужива-

ния — рассчитываются аналогичным образом как сумма затрат на приобретение необходимого количества каждого типа оборудования:

$$I_{\text{обор}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{обор}}} n_i^{\text{обор}}\left(N\right) C_i^{\text{обор}} \qquad (11\text{–}30)$$

где $N_{\text{обор}}$ — число типов вспомогательного оборудования, необходимого для выполнения планового и непланового ТО ВС;

$C_i^{\text{обор}}$ — стоимость единицы оборудования i-го типа;

$n_i^{\text{обор}}(N)$ — число единиц оборудования i-го типа, необходимое для выполнения работ планового и непланового ТО парка, состоящего из N воздушных судов.

Затраты на формирование начального запаса изделий (запасных частей), необходимых для устранения отказов, состоят из затрат на запасные части каждого типа:

$$I_{\text{нач}} = \sum_{i=1}^{M} A_{\text{нач-непл}_i} C_i \qquad (11\text{–}31)$$

где M — число типов запасных частей;

C_i — стоимость запасной части i-го типа;

$A_{\text{нач-непл}_i}$ — расчетное число запасных частей i-го типа в начальном запасе (см. подразд. 10.3,11.2).

Показатель удельных прямых затрат на ТО, как уже было отмечено ранее, является одним из основных показателей, характеризующих конкурентоспособность ВС и системы его технического обслуживания. В повседневном инженерном обиходе этот показатель часто используют при сравнении различных типов ВС (см. п. 11.4.4), при задании требований к вновь проектируемым типам ВС, а также при оценке себестоимости полетов. Значение этого показателя рассчитывается как сумма затрат на оплату труда, приобретение расходных материалов и ремонт КИ, возникающих при выполнении планового ТО, непланового ТО, восстановлении ресурса СЧ:

$$K_{\text{пз.то}} = K^{\text{тр}}_{\text{пз.пто}} + K^{\text{мат}}_{\text{пз.пто}} + K^{\text{тр}}_{\text{пз.рес}} + K^{\text{мат}}_{\text{пз.рес}} + K^{\text{тр}}_{\text{пз.нто}} + K^{\text{мат}}_{\text{пз.нто}} \qquad (11\text{–}32)$$

где $K^{\text{тр}}_{\text{пз.тпо}}$ — удельные затраты на оплату труда при проведении планового ТО;

$K^{\text{мат}}_{\text{пз.тпо}}$ — удельные затраты на восстановление КИ и приобретение расходных материалов, используемых при плановом ТО;

$K^{\text{тр}}_{\text{пз.рес}}$ — удельные затраты на оплату труда при восстановлении ре-

сурса СЧ ВС (на замену КИ в связи с выработкой ими назначенного ресурса);

$K^{\text{мат}}_{\text{пз.рес}}$ — удельные затраты на приобретение невосстанавливаемых КИ с ограниченным ресурсом и расходных материалов, используемых при восстановлении ресурса СЧ ВС;

$K^{\text{тр}}_{\text{пз.нто}}$ — удельные затраты на оплату труда при проведении непланового ТО;

$K^{\text{мат}}_{\text{пз.нто}}$ — удельные затраты на восстановление КИ и приобретение расходных материалов, используемых при неплановом ТО.

Величина удельных затраты на оплату труда при проведении работ планового ТО рассчитывается путем умножения показателя удельной трудоемкости оперативного и периодического ТО на среднюю стоимость нормо-часа работ технического персонала:

$$K^{\text{тр}}_{\text{пз.пто}} = C_{\text{ч}}\left(K_{\text{т.оп}} + K_{\text{т.пер}}\right) \qquad (11\text{–}33)$$

где $C_{\text{ч}}$ — средняя стоимость нормо-часа работ технического персонала, задействованного в выполнении ТО, с учетом накладных расходов;

$K_{\text{т.оп}}$ — удельная трудоемкость оперативного ТО (см. подразд. 11.3);

$K_{\text{т.пер}}$ — удельная трудоемкость периодического ТО (см. подразд. 11.3).

Величину удельных затрат на восстановление КИ и приобретение расходных материалов, используемых при плановом ТО, можно рассчитать по формуле:

$$K^{\text{мат}}_{\text{пз.пто}} = \frac{1}{\tau_{\text{г}} T_{\text{с.с}}} \sum_{i=1}^{m_{\text{пто}}} \text{ROUND}\left(\frac{\tau_{\text{г}} T_{\text{с.с}} - 1}{\tau_i^{\text{пто}}}\right)\left(C_i^{\text{зч}} + C_i^{\text{рм-пто}}\right) \qquad (11\text{–}34)$$

где $m_{\text{пто}}$ — число видов работ планового ТО;

$\tau_i^{\text{пто}}$ — периодичность выполнения i-й работы планового ТО, выраженная в летных часах ($i = 1,..., m_{\text{пто}}$);

$C_i^{\text{зч}}$ — затраты на восстановление КИ в процессе выполнения i-й работы планового ТО ($i = 1,..., m_{\text{пто}}$) равные C_i , если КИ неремонтопригодно, или $\rho_i C_i$, если КИ ремонтопригодно;

C_i — цена нового КИ,

ρ_i — отношение средней стоимости ремонта к цене нового КИ i-го типа;

$C_i^{\text{рм-пто}}$ — стоимость материалов, расходуемых в процессе выполнения i-й работы планового ТО ($i = 1,..., m_{\text{пто}}$).

Величина удельных затрат на оплату труда при проведении работ непланового ТО вычисляется по формул:

$$K_{\text{пз.нто}}^{\text{тр}} = C_{\text{ч}} K_{\text{т.нто}} \qquad (11\text{–}35)$$

где $K_{\text{т.нто}}$ — удельная трудоемкость непланового ТО (см. подразд. 11.3).

Ориентировочную величину удельных затрат на восстановление (ремонт) КИ и приобретение расходных материалов, используемых при неплановом ТО, можно рассчитать на основе известных значений интенсивности отказов КИ:

$$K_{\text{пз.нто}}^{\text{мат}} = \sum_{i=1}^{M} \lambda_i x_i \left(C_i^* + C_i^{\text{рм-нто}} \right) \qquad (11\text{–}36)$$

где λ_i — интенсивность отказов КИ i-го типа;

x_i — число компонентов i-го типа в составе ВС;

$C_i^{\text{рм-нто}}$ — стоимость материалов, расходуемых в процессе устранения отказа КИ i-го типа.

C_i^* — затраты на восстановление отказавшего КИ i-го типа, равные $C_i^* = N_{\text{но}\,i}\, C_{\text{тест}\,i} + (1 - N_{\text{но}\,i})\, \rho_i C_i$, если КИ ремонтопригодно, или $C_i^* = C_i$, если КИ неремонтопригодно;

C_i — цена нового КИ,

ρ_i — отношение средней стоимости ремонта к цене нового КИ i-го типа;

$N_{\text{но}\,i}$ — частота неподтвержденных отказов КИ i-го типа;

$C_{\text{тест}\,i}$ — затраты на проведение проверки КИ i-го типа, демонтированного с борта ВС из-за предполагаемого отказа.

Величину удельных затрат на оплату труда при проведении работ по восстановлению ресурса СЧ ВС можно рассчитать, вычислив количество замен КИ в связи с выработкой ими назначенного ресурса в течение срока службы ВС и умножив эту величину на трудоемкость замены, чел.-ч, и принятую нормативную стоимость 1 чел.-ч (нормо-часа):

$$K_{\text{пз.рес}}^{\text{тр}} = \frac{C_{\text{ч}}}{\tau_{\text{г}} T_{\text{с.с}}} \sum_{\{i \in (1 \ldots M) \mid Ei = \text{ТЭР}\}} x_i \, \text{ROUND}\left(\frac{\tau_{\text{г}} T_{\text{с.с}} - 1}{T_{\text{р.н}}^i} \right) T_{\text{зам}}^i \qquad (11\text{–}37)$$

где $T_{\text{с.с}}$ — срок службы ВС, лет;

$\tau_{\text{г}}$ — средний годовой налет ВС;

E_i — метод ТЭ СЧ i-го типа ($i \in 1,...,M$), $E_i \in \{ТЭО, ТЭР, ТЭП\}$: ТЭО — метод ТЭ с восстановлением (списанием) после отказа, ТЭП — метод ТЭ с восстановлением (списанием) при достижении предотказного состояния, ТЭР — метод ТЭ с восстановлением (списанием) после выработки ресурса;

x_i — количество $C_ч$ i-го типа в составе ВС;

$T^i_{р.н.}$ — назначенный ресурс СЧ i-го типа, приведенный к часам полета ВС;

$T^i_{зам}$ — трудоемкость замены СЧ i-го типа.

Соответствующие удельные затраты на приобретение невосстанавливаемых КИ с ограниченным ресурсом и расходных материалов, необходимых для восстановления ресурса СЧ ВС, вычисляются аналогичным образом, с той лишь разницей, что число замен умножается на цену КИ и расходуемых при его замене материалов:

$$K^{мат}_{пз.рес} = \frac{1}{\tau_г T_{с.с}} \sum_{\{i \in (1...M) | Ei = ТЭР\}} x_i \, \mathrm{ROUND}\left(\frac{\tau_г T_{с.с} - 1}{T^i_{р.н}} \right) \left(Ci + C_i^{рм\text{-}рес} \right) \quad (11\text{–}38)$$

где C_i — стоимость КИ i-го типа;

$C_i^{рм\text{-}рес}$ — стоимость расходных материалов, затрачиваемых при замене одного КИ i-го типа.

С использованием приведенных соотношений можно рассчитать показатели прямых затрат на ТО как для ВС в целом, так и для отдельных его ФС и групп СЧ. Для этого в приведенных выше формулах следует учитывать только те компоненты и связанные с ними работы планового ТО, которые относятся к выбранной функциональной системе.

Также удельные показатели можно приводить как к одному часу полета ВС, так и к другим единицам измерения наработки, например циклам работы ВСУ, двигателя и т.п. Для этого в приведенных формулах следует использовать взамен среднегодового налета среднюю наработку ВС в год в выбранных единицах измерения.

Далее рассмотрены некоторые примеры анализа показателей прямых затрат на ТО.

11.4.3. Примеры расчета затрат на ТО и их интерпретации

Расчет показателей прямых затрат на ТО может выполняться как на этапе проектирования ВС, так и в ходе его эксплуатации. Анализ в ходе проектирования обычно преследует следующие цели:

- сравнение полученных результатов с изделиями-аналогами для оценки конкурентоспособности проектируемого образца;
- анализ в процессе проектирования структуры затрат и разработка мероприятий по их снижению.

На этапе эксплуатации расчет, как правило, выполняется в целях:

- определения экономически целесообразной цены контрактов на сервисное обслуживание техники с компанией, предоставляющей услуги по ТО;
- определения разработчиком изделия уровня гарантий, предоставляемых покупателю, а также расчета себестоимости работ по обслуживанию на гарантийный период.

Расчеты затрат на ТО с использованием описанной выше методики и анализ полученных результатов удобно проводить с использованием специальных программных средств. Например, применение информационно-аналитической системы, подобной LSS, позволяет не только автоматизировать расчеты, но и сформировать на основе БД АЛП следующие отчеты:

1) график роста суммарных затрат на ТО в заданный период эксплуатации;
2) график роста суммарных затрат по отдельным СЧ ВС;
3) диаграмму распределения затрат по системам ВС;
4) диаграмму распределения затрат по видам ТО.

Рассмотрим несколько модельных примеров проведения анализа значений показателей прямых затрат на ТО на этапе проектирования и эксплуатации (при проведении модернизации базовой конструкции).

Пример 1. Авиакомпания приобретает парк вертолетов для выполнения регулярных коммерческих (грузовых) перевозок. Очевидно, что при равномерной загрузке парка, суммарная выручка от такой коммерческой деятельности будет с течением времени расти приблизительно линейно (с поправкой на инфляцию).

Выполнив необходимые расчеты и добавив к полученным результатам прочие затраты (топливо, аэропортовые сборы и т. п.), можно построить график роста суммарных затрат на эксплуатацию и сравнить его с аналогичным графиком роста суммарной выручки авиакомпании. Пример такого графика приведен на рис. 11–4, где пунктирной линией отображен рост суммарной выручки авиакомпании (с поправкой на инфляцию), а сплошной линией — рост суммарных затрат на эксплуатацию.

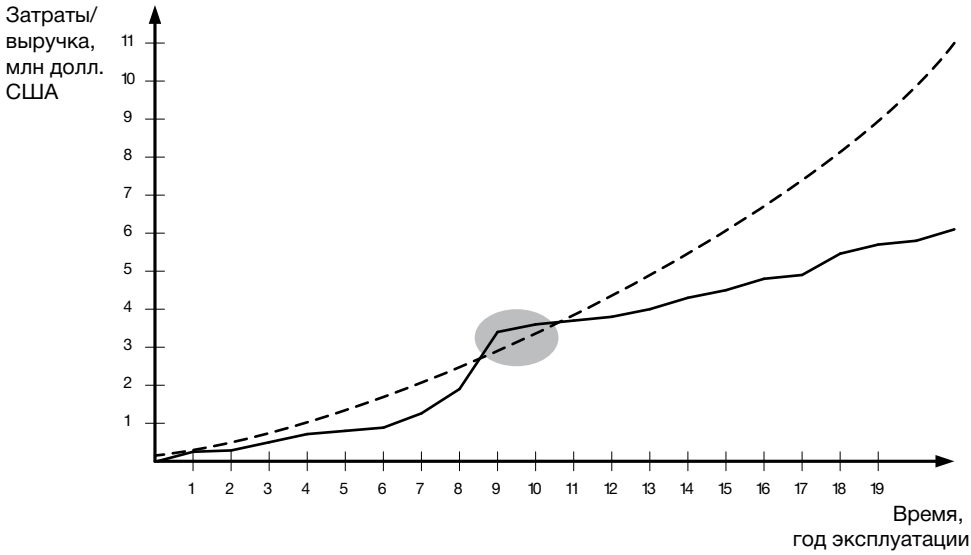


Рис. 11–4 График роста выручки авиакомпании и затрат на эксплуатацию

Как видно из графика, коммерческая эксплуатация парка вертолетов в течение заданного периода оказывается экономически выгодной (в конце эксплуатации пунктирная линия существенно выше сплошной), несмотря на то, что с 9-го по 11-й год эксплуатации авиакомпания фактически оказывается в убытке по причине очень резкого роста затрат в 9-й год эксплуатации.

Для анализа причин такого резкого роста эксплуатационных расходов требуется построить аналогичные графики по отдельным статьям затрат в соответствии с формулами (11–32) — (11–36). В данном примере предположим, что рост затрат обусловлен одновременной выработкой назначенного ресурса нескольких дорогостоящих СЧ, которая совпала с трудоемкой формой обслуживания.

Таким образом, проведя анализ затрат, конструкторское бюро еще на этапе проектирования вертолета может внести изменения в его конструкцию или систему технической эксплуатации для обеспечения более ритмичного роста затрат в ходе эксплуатации (даже не имея сведений о выручке авиакомпании).

Пример 2. Предположим, что выполненный на этапе проектирования расчет показателя прямых затрат на ТО показал его выход за рамки допустимого диапазона и существенное превышение по сравнению с самолетами-аналогами.

Для выявления причин такого значения показателя был сформирован

отчет о распределении затрат по СЧ, который, в свою очередь, показал что максимальный вклад в суммарные затраты вносят неплановые (связанные с устранением отказов) замены агрегатов.

Для уточнения перечня агрегатов, вносящих наибольший вклад в данную статью затрат, была сформирована диаграмма распределения затрат по самолетным системам. Пример такого отчета приведен на рис. 11–5:

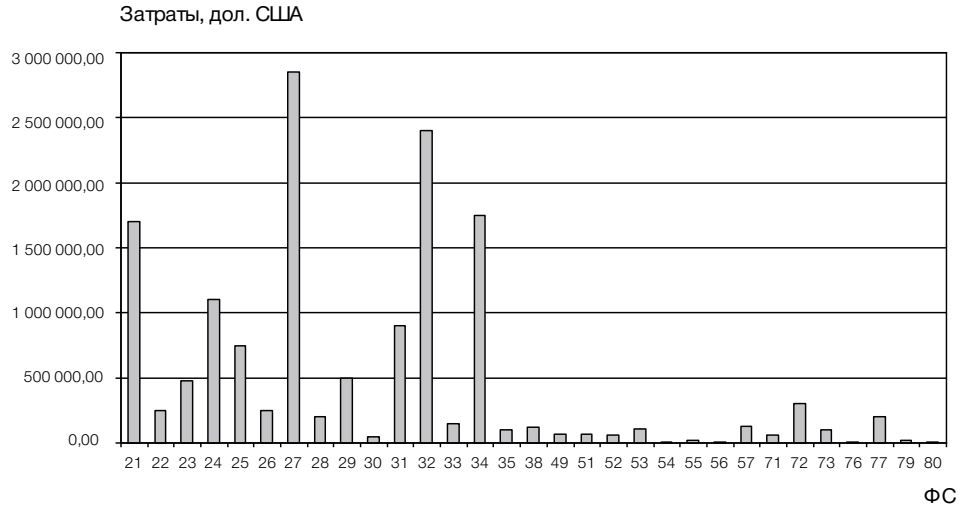


Рис. 11–5 Диаграмма распределения затрат по системам самолета

Как видно из диаграммы, наибольший по стоимости вклад в затраты на замену отказавших блоков вносят агрегаты ФС 27 «Системы управления самолетом» [17].

Предположим, что в силу невозможности смены поставщика или повышения надежности агрегатов этой системы, между компанией — поставщиком самолета, поставщиком комплектующих изделий и авиакомпанией было заключено соглашение о переводе данных блоков на абонентское обслуживание, а именно:

- авиакомпания производит фиксированные отчисления с каждого часа налета;
- поставщик обязуется производить собственными силами оперативный ремонт (замену) отказавших блоков в течение 24 ч.

Размер таких отчислений, экономически целесообразный для сторон, может быть рассчитан с использованием приведенных в предыдущих разделах выражений.

Пример 3. При проведении работ по модернизации вертолета в расчетах была учтена накопленная статистика по базовой модели. Расчеты показали, что затраты, связанные с выполнением периодического ТО, у базового вертолета выше, чем у вертолетов-аналогов.

Для анализа причин высоких эксплуатационных расходов была сформирована диаграмма распределения затрат (и, соответственно, трудоемкости) на выполнение планового периодического ТО (пример на рис. 11–6).

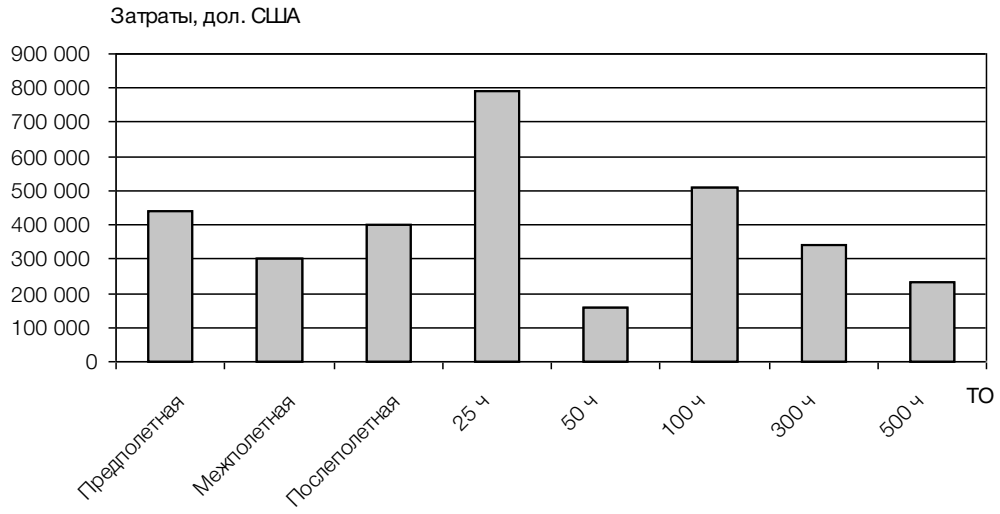


Рис. 11–6 Диаграмма распределения затрат по видам ТО

Анализ диаграммы показывает, что наибольший вклад в трудоемкость планового ТО вносят работы с периодичностью выполнения 25 ч налета. Предположим, что в результате анализа входящих в этот вид ТО работ выяснилось, что наибольший вклад в стоимость вносят работы по смазке. Для снижения затрат по этой статье были приняты следующие решения:

- в состав средств ТО были включены современные смазочные пистолеты, позволяющие выполнять работы одному технику за меньшее время;
- в некоторых изделиях были применены новые материалы для контактирующих поверхностей (т. н. «несмазываемые» подшипники), что сократило объем ТО.

Таким образом, по результатам анализа показателей прямых затрат на ТО была снижена трудоемкость выполнения плановых работ.

11.4.4. Сравнительный анализ значений прямых затрат на ТО зарубежных пассажирских самолетов

Требования к величине прямых затрат на ТО вновь проектируемых ВС определяются на этапе предпроектных исследований и являются неотъемлемой частью требований к ВС. Традиционно эти требования формируются путем задания максимального значения показателя «Удельная суммарная стоимость ТО» (по [25], в котором нормативное значение этого показателя рассчитывается как доля от стоимости ВС с учетом проектного ресурса для самолетов):

$$K_{\text{пз.то}} \le 0,00001\, C_{\text{вс}} \left(1 + \frac{T_{\text{р.с}} - 60000}{60000} \right) \qquad (11–39)$$

где $C_{\text{вс}}$ — стоимость воздушного судна;

$T_{\text{р.с}}$ — проектный (средний) ресурс воздушного судна.

Однако кроме установленных стандартами нормативных значений при создании современных отечественных ВС целесообразно также принимать во внимание значения соответствующих ЭТХ аналогичных зарубежных ВС. При этом следует рассматривать не только интегральный показатель прямых затрат на ТО, но и такие важные для авиакомпаний показатели, как величина прямых затрат на ТО:

- приходящаяся на 1 т максимальной взлетной массы ВС;
- приходящаяся на одного пассажира;
- наиболее «дорогих» в эксплуатации систем: двигатели, шасси, колеса, шины и тормоза, ВСУ и т.п., а также составляющие этих затрат (например, затраты на восстановление ресурса элементов двигателей);
- применительно к некоторым дорогостоящим видам (комплексам) работ.

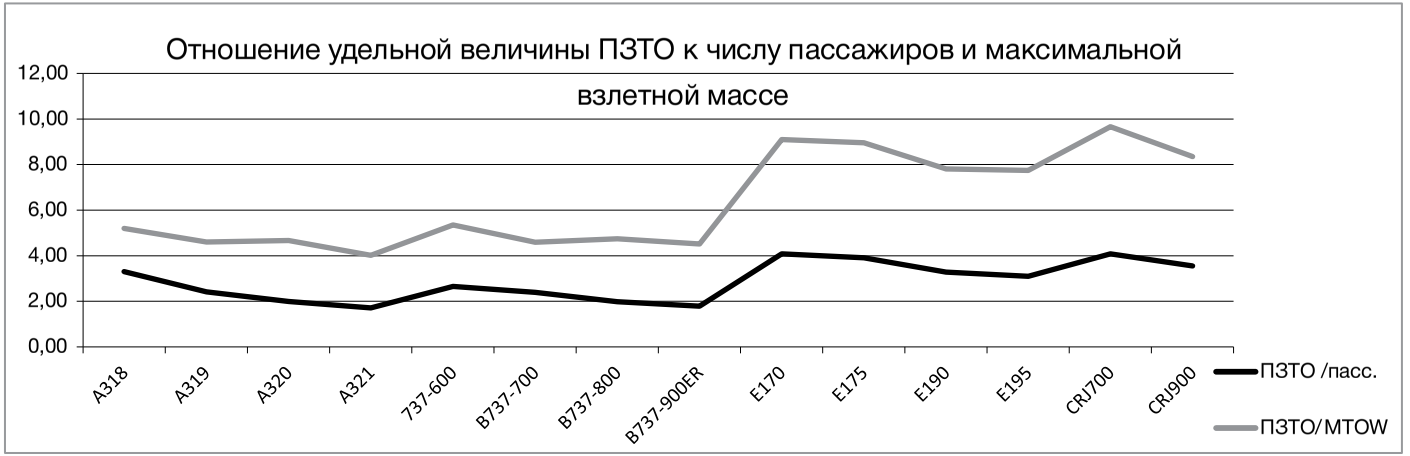
Ниже приведены данные, полученные путем обобщения информации из зарубежных периодических изданий [66], [67].

В таблице табл. 11–2 приведены величины прямых затрат на ТО (ПЗТО, в долларах США на 1 ч налета) для самолетов Airbus 318/319/320/321, Boeing 737–600/700/800/900ER, Embraer 175/190/195 и Bombardier CRJ 700/900 [67] при выполнении ими полетов средней продолжительностью 4 ч (это значение используется для перевода циклов в часы налета).

На рис. 11–7 показано изменение величины удельных затрат на ТО в зависимости от стоимости ВС, его максимальной взлетной массы и числа пассажиров.

		Макс. взлетн. масса (MTOW)	Цена, млн долл.	Кол-во пасс.	Виды планового ТО		Двигатели		Шасси на цикл	Колеса, шины, тормоза на цикл	ВСУ на цикл	ПКИ на 1 ч налета	ПЗТО на 1 ч налета	ПЗТО на 1 пасс.	ПЗТО на 1 т MTOW	ПЗТО, % цены
					C-Check	D-Check	ТО	LLP								
					на 1 ч налета	на 1 ч налета	на 1 ч налета	на цикл								
	Тип ВС															
Airbus	A318	68,0	65,2	107	46	41	90	45,0	12,0	43,0	25,5	145	353,38	3,30	5,20	0,18
	A319	76,0	77,7	145	48	44	80	49,5	12,0	43,0	25,5	145	349,50	2,41	4,60	0,22
	A320	77,0	85,0	180	51	47	84	49,5	12,0	43,0	25,5	145	359,50	2,00	4,67	0,24
	A321	93,5	99,7	220	55	50	92	55,0	12,0	43,0	25,5	145	375,88	1,71	4,02	0,27
Boeing	737–600	65,5	56,9	132	45	40	92	48,0	15,0	23,5	27,0	145	350,38	2,65	5,35	0,16
	B737–700	77,6	67,9	149	47	42	93	50,0	15,5	24,0	27,0	145	356,13	2,39	4,59	0,19
	B737–800	79,0	80,8	189	51	45	104	54,0	15,5	24,0	27,0	145	375,13	1,98	4,75	0,22
	B737–900ER	85,1	85,8	215	56	49	104	55,5	15,5	25,0	27,0	145	384,75	1,79	4,52	0,22
Embraer	E170	35,9	41,0	80	42	19	103	34,0	10,0	8,0	10,0	147	326,50	4,08	9,09	0,13
	E175	37,5	42,0	86	43	19	103	68,0	10,0	8,0	10,0	147	336,00	3,91	8,96	0,13
	E190	47,8	44,0	114	48	21	118	39,0	11,5	9,5	10,0	169	373,50	3,28	7,81	0,12
	E195	48,8	46,0	122	49	22	118	39,0	12,0	14,0	10,0	170	377,75	3,10	7,74	0,12
Bombardier	CRJ700	33,0	37,0	78	40	18	102	33,5	9,5	8,0	20,0	141	318,75	4,09	9,66	0,12
	CRJ900	38,3	43,0	90	41	18	102	33,5	9,5	8,0	20,0	141	319,75	3,55	8,35	0,13

Табл. 11–2 Удельные прямые затраты на ТО самолетов Airbus 318/319/320/321, Boeing 737–600/700/800/900ER, Embraer 175/190/195, Bombardier CRJ 700/900



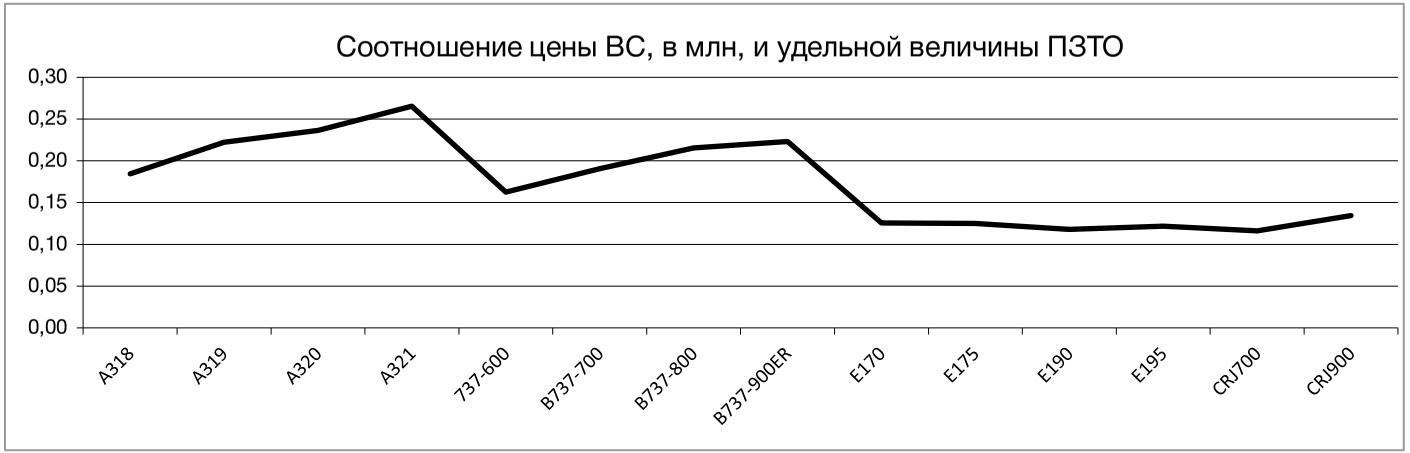


Рис. 11–7 Соотношение прямых затрат на ТО (ПЗТО) и характеристик ВС

11.5. Актуализация БД АЛП и значений ЭТХ в ходе ЖЦ ВС

Изложенная методология АЛП свидетельствует о возможности получения на основе БД АЛП оценок для основных показателей ЭТХ ВС: надежности (безотказности и долговечности), эксплуатационной (ремонтной) технологичности (трудоемкости и продолжительности работ по ТО), абсолютных и удельных показателей затрат на ТО.

На ранних этапах разработки ВС некоторые исходные данные (по надежности, ценам и т. д.) задаются нормативно или прогнозируются на основе анализа ЭТХ ВС-аналогов, конъюнктуры, тенденций развития рынка АТ и т. д. Полученные на основе этих данных оценки ЭТХ не могут претендовать на высокую достоверность и используются исключительно для предварительного сравнительного анализа проектных решений.

На последующих этапах проектирования при детализации типовой конструкции ВС расчетные значения показателей ЭТХ уточняются, в том числе с учетом возникающих конструкторских изменений и особенностей отдельных конфигураций ВС, разрабатываемых по требованиям заказчиков.

Наконец, на стадии эксплуатации могут быть получены фактические данные о безотказности и долговечности ВС и его СЧ, о фактически возникающих видах отказов, о реальной трудоемкости и продолжительности работ по ТО, о расходе запасных частей и других материальных ресурсов, о простоях ВС при ожидании ТО, о фактической стоимости ТО.

Получение фактических сведений о характеристиках ВС и его СЧ позволяет в случае необходимости повторить этапы расчета и анализа, связанные с формированием СТЭ и уточнить ее основные параметры, в том числе связанные с составом работ по ТО и условиями их выполнения, потребностями в МТО и др.

Кроме того, сбор, статистическая обработка и анализ данных в ходе мониторинга эксплуатации позволяют решить еще ряд задач, например:

- установить соответствие (или, напротив, несоответствие) фактических ЭТХ ВС их расчетным значениям;
- обосновать совершенствование конструкции ВС и СТЭ в текущем и новых проектах (т. е. реализовать обратную связь «заказчик/эксплуатант — разработчик/изготовитель»);
- повысить эффективность процессов эксплуатации на основе данных о фактическом техническом состоянии ВС и его СЧ (это важно, в частности, при переходе от планово-предупредительной эксплуатации к эксплуатации по техническому состоянию);

- установить соответствие текущей конфигурации конструкции конкретного экземпляра ВС его сертифицированной типовой конструкции;
- контролировать физическое и моральное старение СЧ ВС с принятием необходимых мер для снижения издержек участников авиационной деятельности.

Объектами мониторинга являются ВС в целом, его СЧ, процессы эксплуатации и элементы СТЭ. Эти сведения фиксируются в информационной системе эксплуатанта и далее передаются в систему ИЛП разработчика для окончательной обработки, анализа и принятия решений. После необходимой фильтрации и иной обработки данные мониторинга используют для актуализации БД АЛП ВС.

Сбор данных о разных объектах и процессах при испытаниях и эксплуатации ВС представляет собой сложную организационно-техническую задачу, многие аспекты которой выходят за рамки данной книги. До последнего времени сохраняется сложившаяся исторически система документирования информации об эксплуатации сложных изделий с использованием бумажных документов, таких как формуляр и паспорт (регламентированных, применительно к ВС, стандартами [68], [69]). В этих т.н. «пономерных» документах для каждого изделия АТ отражаются: наработки ВС и его СЧ, изменение состава (замены и движение СЧ), выполненные работы по ТО, выявленные отказы и повреждения и т.д.

В последние годы система указанной документации изменяется [70]: все более широко применяются информационные системы, реализующие концепцию «электронного дела изделия», например, по ГОСТ 54595 [71]. В соответствии с этим ГОСТ «… электронное эксплуатационное дело ВС — набор определенным образом структурированных эксплуатационных данных, создаваемый и сопровождаемый в ходе жизненного цикла типовой конструкции и конкретных экземпляров ВС и отражающий актуальную информацию об эксплуатации, техническом состоянии ВС в целом и его составных частей». Ниже (см. рис. 11–8) приведен укрупненный состав данных, составляющих электронное дело и передаваемых для актуализации БД АЛП в виде обменного файла согласованного формата.

Отдельно рассматриваются вопросы обеспечения безопасности эксплуатации ВС, решаемые на основе систем контроля уровня надежности, анализа данных об АП и инцидентах для контроля уровня отказобезопасности ВС. Полученные оценки сравниваются с требованиями норм летной годности, а в случае выявления несоответствия реализуются мероприятия по повышению надежности и безопасности полетов.

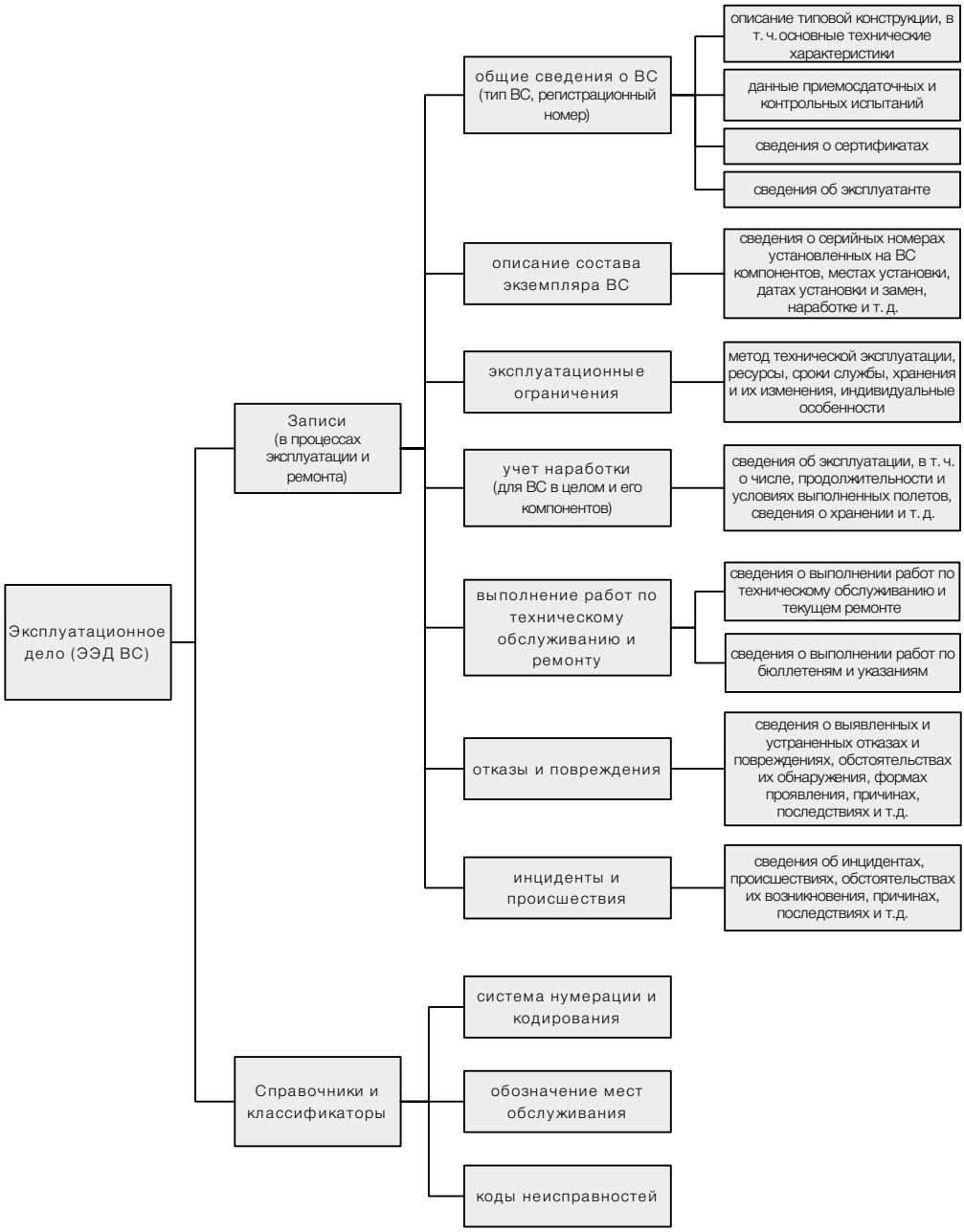


Рис. 11–8 Состав данных электронного эксплуатационного дела ВС

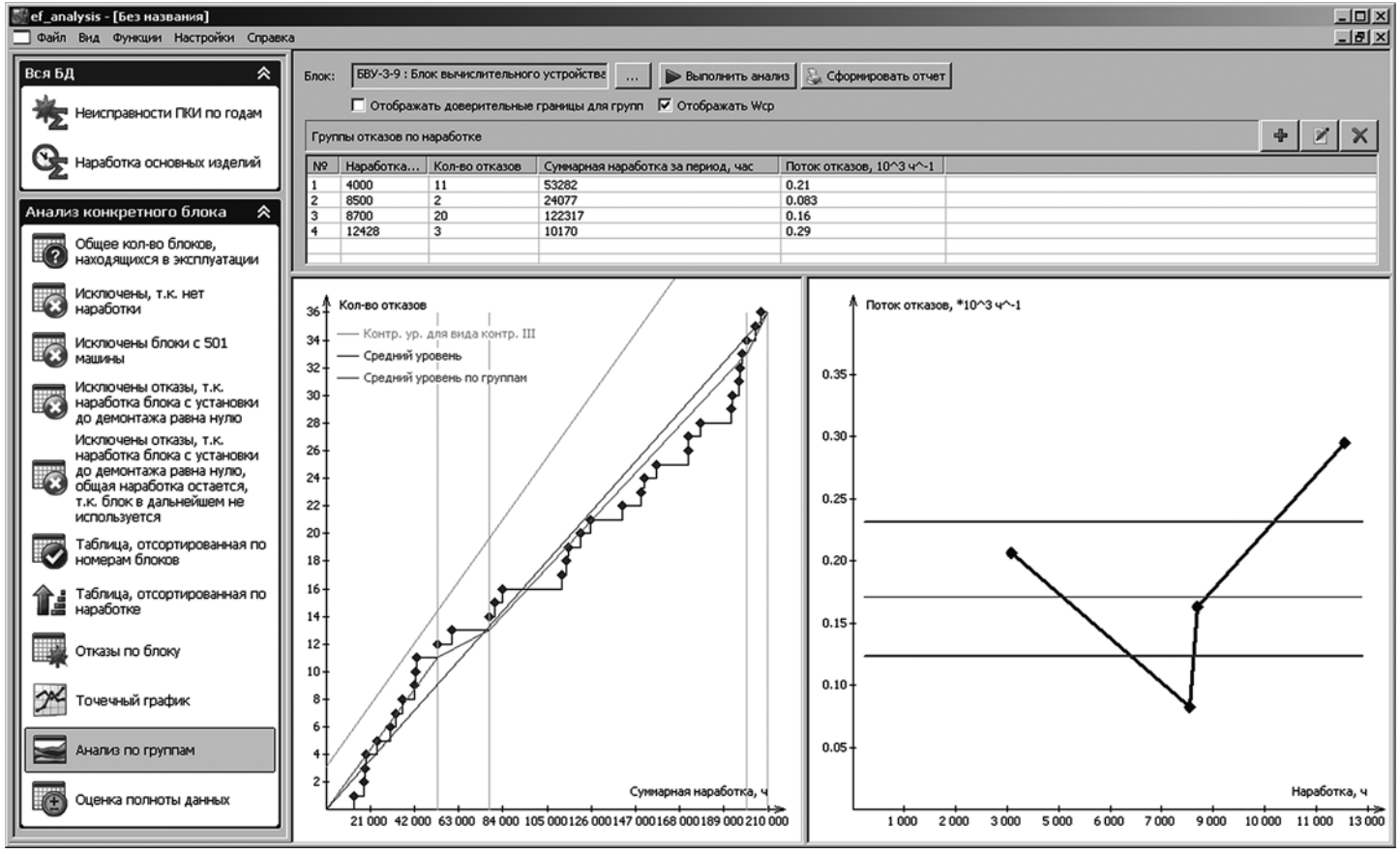


Рис. 11–9 Пример анализ надежности СЧ ВС на основе статистических данных

Для обработки этих данных используются методы математической статистики. На рис. 11–9 приведены результаты анализа статистических данных по надежности СЧ ВС, находящихся в эксплуатации. На приведенной отчетной форме показаны выявленные зависимости числа отказов и потока отказов от суммарной наработки, а также показано, как полученные значения соотносятся с допустимым контрольным уровнем.

Кроме того, на основании накопленных данных за выбранный период эксплуатации данного типа ВС проводится оценка частоты отказов АТ на 1 ч полета приведших:

- к аварийным ситуациям $q_{АС} = n_{АС}/T$,
- к сложным ситуациям $q_{СС} = n_{СС}/T$ и
- к усложнению условий полета $q_{УУП} = n_{УУП}/\mathrm{T}$,

где $n_{АС}$, $n_{СС}$, $n_{УУП}$ — число АС, СС и УУП соответственно,

T — налет (в часах) парка ВС данного типа за рассматриваемый период, ч.

Аналогичным образом на основе собранных фактических даных могут быть оценены и другие ЭТХ ВС.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Настоящая книга представляет собой результат осмысления современного состояния и перспектив развития технологий, применяемых в сфере интегрированной логистической поддержки и, в частности, анализа логистической поддержки для сложных машиностроительных изделий.

Авторы предприняли попытку объединить оригинальные разработки в области отраслевой науки (в основном в авиационной отрасли) с международно признанными принципами и основами ИЛП и АЛП, с тем чтобы сформировать набор взглядов, методик и инструментария, применимых для разных видов сложной техники.

Следует также заметить, что разработка и применение технологий управления жизненным циклом сложной техники на сегодняшний день становится важным элементом государственной научно-технической политики. Суть такого подхода заключается в обеспечении и контроле свойств изделия на всех стадиях его ЖЦ и осуществлении управленческих воздействий в случае обнаружения отклонений от принятых требований. Для АТ, например, такое управление осуществляется на нескольких уровнях: от уполномоченных авиационных органов — до заказчика, разработчика и их субподрядчиков, в результате чего возникает многоконтурная система управления с несколькими типами обратных связей.

Рассматриваемые в книге вопросы ИЛП и АЛП представляют собой подмножество задач управления ЖЦ применительно к обеспечению и поддержанию ЭТХ сложного технического комплекса (включая его СЧ) на всех стадиях ЖЦ. При этом АЛП является комплексной технологией создания интегрированной эксплуатационной модели изделия и системы его технической эксплуатации, позволяющей формализовывать, обосновывать и анализировать свойства изделия и его СТЭ в их взаимосвязи на всех стадиях ЖЦ изделия.

В ходе работы формируется БД АЛП, позволяющая обеспечить «прослеживаемость» ЭТХ изделия на стадиях разработки и изготовления и актуализировать эти сведения в ходе эксплуатации. Таким образом, реализуются принципы управления ЖЦ изделия применительно к его эксплуатационно-техническим свойствам сложной технической продукции.

В дальнейших планах авторов продолжить исследования комплекса технологий управления ЖЦ, включая: управление конфигурацией и требованиями, контроль морального устаревания, управление стоимостью ЖЦ и др.

В заключение, авторы выражают свою признательность Кондрашиной С.С., оказавшей помощь в подготовке иллюстраций и выверке окончательной версии текста.

ПРИЛОЖЕНИЕ. ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

1. Анализ логистической поддержки: Инженерная дисциплина, включающая: а) анализ конструкции изделия в процессе ее разработки в целях выработки рекомендаций по обеспечению надежности, эксплуатационной технологичности и общего уровня ЭЭЭ; б) разработку и анализ вариантов СТЭ изделия для удовлетворения требований в отношении СЖЦ, готовности и ЭЭЭ; в) анализ взаимодействия изделия и СТЭ в целях выявления их сочетания, обеспечивающего установленные требования к ЭЭЭ; г) контроль показателей ЭЭЭ в процессе эксплуатации изделия и выявление негативно влияющих на них факторов.

2. Информационная модель изделия (процесса): Формальное информационное описание объекта (его структуры и свойств) в формате и объеме, позволяющих решать конкретные задачи в определенной предметной области, (например в задачах информационной поддержки процессов жизненного цикла изделия).

3. Затраты на запасные части и расходные материалы: Часть затрат на ТО ВС, обусловленная приобретением запасных частей и расходных материалов. Термин соответствует англоязычному термину «Material cost». В англоязычной литературе применительно к расчетам затрат на ТО различают составляющие затрат на: расходные материалы (consumables), невосстанавливаемые изделия (expendables), восстанавливаемые изделия (rotables), а также изделия с ограниченным ресурсом (limited life parts).

4. Затраты на оплату труда: Часть затрат на ТО, обусловленная оплатой труда персонала, занятого при выполнении ТО. Термин соответствует англоязычному термину «Labour costs».

5. Конкурентоспособность (продукции, изделия): Совокупность свойств продукции (изделия), определяющая привлекательность для покупателя по сравнению с продукцией (изделием) аналогичного назначения в определенном сегменте рынка и включающая как свойства собственно продукции (изделия), так и свойства системы послепродажного сопровождения продукции (изделия) их поставщиком.

6. Логистическая структура: Разновидность структуры изделия, создаваемая в процессе АЛП в двух формах: ***логистическая структура функций***

(ЛСФ), в состав которой включаются те функции (функциональные элементы), невыполнение которых может привести к невыполнению функций изделия; ***логистическая структура изделия*** (ЛСИ), в состав которой включаются те конструктивные элементы, которые требуют ТО в процессе эксплуатации, а также те элементы, отказ которых может привести к отказу изделия.

7. Миссия: Наиболее общий термин для технологически завершенного цикла использования изделия по назначению (например, для самолета это полет по заданному маршруту, боевой вылет и т.д.). Термин соответствует англоязычному термину «Mission».

8. Начальные затраты на техническое обслуживание: Затраты на приобретение средств ТО и подготовку других необходимых для ТО материальных средств, а также затраты на подготовку инженерно-технического персонала, производимые до начала эксплуатации изделия. Термин соответствует англоязычному термину «Non-recurring costs' (NRC).

9. Отчет MRB: Документ, формируемый Советом по вопросам ТО (Maintenance Review Board) и содержащий результаты АЛП в части требований к плановому ТО ВС.

10. План технического обслуживания: Набор данных, отражающий методы технической эксплуатации элементов, состав и периодичность плановых работ по ТО сложной технической системы.Показатель конкурентоспособности: Количественная оценка конкурентоспособности (изделия, системы).

11. Прямые затраты на техническое обслуживание: Затраты, непосредственно связанные с выполнением работ по ТО. Термин соответствует англоязычному термину «Direct maintenance cost» (DMC).

12. Ремонт: Комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности изделия и восстановления ресурсов изделий или их составных частей [ГОСТ 18322].

13. Статья затрат: Выделенная по одному или нескольким признакам часть затрат, позволяющая однозначно ее идентифицировать и вести по ней учет. Термин соответствует англоязычному термину «Cost element».

14. Сценарий использования: Совокупность параметров системы эксплуатации изделия, соответствующих одному из возможных вариантов применения и используемых в качестве исходных данных для анализа логистической поддержки.

15. Система технической эксплуатации: Совокупность взаимосвязанных объектов технической эксплуатации, средств эксплуатации, исполни-

телей и устанавливающей правила их взаимодействия документации, необходимых и достаточных для выполнения задач технической эксплуатации изделия.

16. Система эксплуатации: Совокупность изделий, средств эксплуатации, исполнителей и устанавливающей правила их взаимодействия документации, необходимых и достаточных для выполнения задач эксплуатации [ГОСТ 25866].

17. Средства эксплуатации: Здания, сооружения, технические устройства, в том числе запасные части, инструмент и эксплуатационные материалы, необходимые для эксплуатации изделия [ГОСТ 25866].

18. Техническое обслуживание, обеспечивающее надежность: Методология (концепция) целенаправленного выбора эффективных работ по ТО на основе анализа видов и последствий отказов изделия и его частей, предусматривающая выбор только тех работ по ТО, которые направлены на предупреждение, выявление и устранение конкретных видов отказов. Термин соответствует англоязычному термину «Reliability-Centered Maintenance» (RCM).

19. Техническая эксплуатация: Часть эксплуатации, включающая транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт изделия [ГОСТ 25866].

20. Техническое обслуживание: Комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании [ГОСТ 18322].

21. Технологичность конструкции изделия, технологичность: Совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ [ГОСТ 14.205].

22. Эксплуатационно-экономическая эффективность: Совокупность свойств изделия и системы его ИЛП, отражающая уровни эксплуатационно-технических характеристик изделия и величину затрат на их обеспечение на стадии разработки и поддержание на стадии эксплуатации.

23. Эксплуатация: Стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество [ГОСТ 25866].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] S3000L International procedure specification for Logistic Support Analysis (LSA).— ASD.— Issue 1.1.— 2010.

[2] DEF STAN 00–60 Integrated Logistic Support.— UK MoD.— 2002.

[3] Рекомендации по стандартизации Р 50.1.031–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции.

[4] Stark J. Product Lifecycle Management. 21st Century Paradigm for Product Realisation.— London: Springer-Verlag.—2005.— 441 p.

[5] ГОСТ РВ 15.004–2004 Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Стадии жизненного цикла изделий и материалов.

[6] Судов Е.В., Левин А.И., Давыдов А.Н., Барабанов В.В. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России.— М.: Министерство промышленности, науки и технологий РФ.— 2002.

[7] Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели.— М.: Изд.дом «МДМ».— 2003.

[8] ГОСТ Р ИСО 10007–2007 Менеджмент организации. Руководящие указания по управлению конфигурацией.

[9] ГОСТ Р 53394–2009 Интегрированная логистическая поддержка. Основные термины и определения.

[10] IEC 60300-3-12: 2011 Dependability management — Part 3–12: Application guide — Integrated logistic support.

[11] О реализации планов (программ) строительства и развития вооруженных сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов и модернизации оборонно-промышленного комплекса.— Указ Президента РФ от 07.05.2012 № 603.

[12] ГОСТ Р 53393–2009 Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения.

[13] DEF STAN 00–600 Integrated Logistic Support.— UK MoD.— 2010.

[14] JSP 886 The Defence Logistics Support Chain Manual, Volume 7 Integrated Logistic Support, Part 3 Supportability Analysis.— MoD.— 2013.

[15] ОСТ 1 02798–2012 Воздушные суда гражданской авиации. Интегрированная логистическая поддержка. Общие положения.
[16] ГОСТ Р 53392–2009. Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Основные положения.
[17] ГОСТ 18675–2012 Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия для нее.
[18] ГОСТ 2.610–2006 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов.
[19] S1000D Technical Publication based on Common Source Data Base.— ASD.— v.4.1.— 2012.
[20] ГОСТ 2.051–2006 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.
[21] ГОСТ 2.601–2006 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.
[22] ГОСТ 2.503–90 Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений.
[23] ГОСТ 2.603–68 Единая система конструкторской документации. Внесение изменений в эксплуатационную и ремонтную документацию. Изменения.
[24] ГОСТ В 23743–88 Изделия авиационной техники. Номенклатура показателей безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности.
[25] ОСТ 1 02785–2009 Воздушные суда гражданской авиации. Эксплуатационно-технические характеристики. Общие требования.
[26] ГОСТ 27.002–89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
[27] ОСТ 1 00132–97 Надежность изделий авиационной техники. Методы количественного анализа безотказности функциональных систем при проектировании самолетов и вертолетов.
[28] ОСТ 1 02790–2010 Надежность изделий авиационной техники гражданского назначения. Методы распределения показателей безотказности изделия между его составными частями с применением ПЭВМ. Основные положения.
[29] ОСТ 1 00448–2000 Надежность изделий авиационной техники. Методы распределения показателей безотказности изделия между его составными частями.
[30] ГОСТ 18322–78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
[31] ГОСТ 21623–76 Система технического обслуживания и ремонта техники. Показатели для оценки ремонтопригодности. Термины и определения.

[32] Послепродажное сопровождение лопастей / Вертолетная инновационно-промышленная компания [Электрон. ресурс]. — 2012. — URL: http://oaovik.e-baikal.ru/spez/lop2 (дата обращения: 29.03.2012).
[33] ОСТ 1 02786–2009 Типовые условия поставки и послепродажного обеспечения эксплуатации авиационной техники гражданского назначения. Общие требования.
[34] Матэ Э. Послепродажное обслуживание. — М.: Изд. группа «Прогресс». — 1993.
[35] BS EN 62402:2007 Obsolescence management. Application guide.
[36] Руководство ИКАО по летной годности. — Doc 9760, т. 1 и 2. — ИКАО. — 2001.
[37] Петров А.Н., Томич В.К. Исследование и разработка методов определения рациональной периодичности технического обслуживания функциональных систем летательных аппаратов // Труды ЛИИ — № 524. — Жуковский: ЛИИ. — 1988. — 40 с.
[38] Принципы и правила назначения методов технической эксплуатации и видов работ по техническому обслуживанию и ремонту элементов функциональных систем ЛА / Бакаев В. М., Деркач О. Я., Крилык И. О., Петров А. Н., Сорокин А. Н. // Труды ЛИИ № 527. — Жуковский: ЛИИ. — 1988. — с. 1–38.
[39] Петров А.Н. Развитие методов формирования программ технического обслуживания воздушных судов по условиям безопасности и экономичности эксплуатации // Труды 6 Межд. симп. «Авиац. технологии 21 века». — Жуковский: ЦАГИ. — 2001. — с. 594–601.
[40] Petrov A.N., Susova G.M. Markov Model — Based Reliability and Safety Evaluation for Aircraft Maintenance — System Optimization // Annual Reliability and Maintainability Symp. — IEEE Proceedings. — 1997. — pp. 29–36.
[41] Петров А.Н., Карпенко В.А. Опыт разработки и сертификации программы технического обслуживания и ремонта самолета Ил–96–300 // Техника воздушного флота. — Том LXYIII. — № 3 (608). — с. 19–22. — М.: ЦАГИ. — 1994.
[42] Далецкий С.В., Деркач О.Я., Петров А.Н. Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации. — М.: Возд.транспорт. — 2002.
[43] NATO Product Data Model [Электрон. ресурс]. — URL: http://ru.scribd.com/doc/70984419/Nato-Product-Data-Model-Npdm (дата обращения: 11.09.2013).
[44] S2000M — International Specification for Material Management. — ASD. — Issue 5.0. — 2012.
[45] ГОСТ Р ИСО 10303–11–2009 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 11. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS.
[46] ГОСТ 27.310–95 Надежность в технике. Основные положения. Анализ видов, последствий и критичности отказов.

[47] Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории, 2004.
[48] Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development. ATA MSG-3. Revision 2011.1.— ATA.— 2011.
[49] S4000M International Procedure Handbook for development scheduled maintenance programs for military aircrafts.— ASD.— Issue 1.0.— 2012.
[50] Nowlan F. S., Heap H. F. Reliability-Centered Maintenance.— San Francisco: Dolby Access Press.— 1978.
[51] Moubray J. Reliability-Centered Maintenance. 2nd Edition.— 1997.
[52] Bradbury S.J. MSG-3 as Viewed by the Manufacturer (Was it Effective?).— SAE Tech. Paper Ser. # 841482.— 1984.
[53] Петров А. Н. Методология поддержания летной годности воздушного судна на основе управления эффективностью системы его технического обслуживания и ремонта // Сб.: Научн. вестник МГТУ ГА.— Сер. Аэромех. и прочн., поддерж. летн. годн. возд. судов.— МГТУ ГА,— 2008.— № 130 (6).— с. 33–40.
[54] 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.
[55] ГОСТ Р ИСО 10303-239–2008 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 239. Прикладные протоколы. Поддержка жизненного цикла изделий.
[56] Specification 2200 (iSpec 2200) Information standards for Aviation Maintenance.— ATA.— 2012.
[57] ГОСТ 25866–83 Эксплуатация техники. Термины и определения.
[58] Welch E. Reliability, Spares and Other Considerations [Электрон. ресурс] — 2013.— URL.: http://www.slideshare.net/EdWelch/reliability-spares-and-other-considerations / (дата обращения: 15.01.2013).
[59] Судов Е.В., Левин А. И., Петров А. В., Чубарова Е. В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения. М.: Изд. дом «ИнформБюро».— 2006.
[60] ГОСТ В23743–88 Изделия авиационной техники. Номенклатура показателей безопасности полета, надежности, контролепригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности.
[61] Sherbrooke Craig C., Optimal Inventory Modeling of Systems. Multi-Echelon Techniques. Boston: Kluwer Ac-ademic Publishers.— 2004.
[62] Шура-Бура А.Э., Топольский М. В. Методы организации расчета и оптимизации комплектов запасных элементов сложных технических систем. М.: Знание.— 1981.

[63] Черкесов Г. Н. Оценка надежности систем с учетом ЗИП: Учеб. пособие.— СПб.: БХВ-Петербург.— 2012.
[64] Беляев Ю.К., Богатырев В. А., Болотин В. В. и др. / Под ред. И. А. Ушакова. Надежность технических систем: Справочник. М.: Радио и связь.— 1985.
[65] Conclin and De Decker (Электрон. ресурс).— URL.: http://www.conklindd.com / (дата обращения: 14.04.2012).
[66] Maintenance costs of MD-11F, 777F & 747–400, Aircraft Commerce.— № 69.— 2010, p. 55–60.
[67] Maintenance costs of A318/319/320/321, B737–600/700/800/900ER, Embrair 175/190/195, Bombardier CRJ 700/900, Air Investor.— Sept 2011.
[68] ГОСТ 27692–2012 Документация эксплуатационная на авиационную технику. Построение, изложение, оформление и содержание формуляров.
[69] ГОСТ 27693–2012 Документация эксплуатационная на авиационную технику. Построение, изложение, оформление и содержание паспортов, этикеток и талонов летной годности.
[70] Петров А. Н. Совершенствование порядка и процедур оформления документации, удостоверяющей летную годность авиационной техники, с учетом международных стандартов // В сб. «Вопр. авиац. науки и техники», сер. Станд. и униф. АТ, Вып. 2.— М.: НИИСУ.— 2006.— с. 40–75.
[71] ГОСТ Р54595–2011 Документация техническая на авиационную технику. Электронное эксплуатационное дело воздушного судна. Основные положения и общие требования.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . 3
Сокращения и обозначения . . . 5
Введение . . . 9

Часть I
Теоретические основы анализа логистической поддержки сложных технических изделий . . . 13
1. Общие положения . . . 13
1.1. Особенности хозяйственного оборота сложной техники . . . 13
1.2. Жизненный цикл . . . 17
1.3. Информационная поддержка процессов жизненного цикла . . . 21
2. Интегрированная логистическая поддержка и эксплуатационные свойства изделия . . . 25
2.1. Понятие ИЛП . . . 25
2.2. Анализ логистической поддержки . . . 33
2.3. Планирование технического обслуживания . . . 35
2.4. Планирование материально-технического обеспечения эксплуатации . . . 36
2.5. Разработка и сопровождение эксплуатационной и ремонтной документации . . . 38
2.6. Обеспечение заказчика средствами технического обслуживания . . . 39
2.7. Планирование обучения персонала и разработки технических средств обучения . . . 39
2.8. Поддержка программного обеспечения и средств вычислительной техники . . . 41
2.9. Планирование процессов хранения и транспортирования . . . 42
2.10. Разработка требований и рекомендаций в отношении инфраструктуры СТЭ . . . 42
2.11. Мониторинг эксплуатации . . . 43
2.12. Планирование процессов утилизации изделия . . . 44
3. Интегрированная логистическая поддержка и конкурентоспособность продукции авиационной промышленности . . . 44
3.1. Об оценке конкурентоспособности авиационной техники . . . 44
3.2. Прогнозирование и нормирование ЭТХ ВС и их систем . . . 49
3.3. Оценка и контроль значений ЭТХ на стадиях создания и эксплутации ВС . . . 52
3.4. ИЛП и ППО . . . 60
4. Задачи анализа логистической поддержки и этапы его проведения . . . 66
4.1. Задачи анализа логистической поддержки . . . 66
4.2. Основные этапы АЛП и их участники . . . 71
5. Общая методология анализа логистической поддержки . . . 73
5.1. Методический подход . . . 73
5.2. Исходные данные . . . 78
5.3. Информационная модель АЛП . . . 82

Часть II
Практика анализа логистической поддержки авиационной техники . . . 97
6. Подготовка к проведению анализа логистической поддержки . . . 97
6.1. Разработка стратегии АЛП . . . 97

6.2. Разработка плана АЛП 98
6.3. Подготовка данных о сценарии использования ВС 100
7. Формирование логистических структур 103
7.1. Общие сведения 103
7.2. Формирование ЛСФ 103
7.2.1. Общие сведения о ЛСФ 103
7.2.2. Общие принципы формирования ЛСФ 104
7.3. Формирование ЛСИ 108
7.3.1. Выбор элементов-кандидатов для АЛП 108
7.3.2. Общие принципы построения ЛСИ 109
7.3.3. Пример формирования ЛСИ 111
7.3.4. Типы ЭК 113
7.3.5. Правила включения ЭК в ЛСИ 114
7.3.6. Назначение ЛКН элементам ЛСИ 115
7.3.7. Описание элемента логистической структуры 117
7.4. Установление связей между элементами ЛСИ и ЛСФ 119
7.5. Связь логистических структур с конструкторской структурой ВС в PDM-системе . . . 120
8. Анализ видов и последствий отказов 123
8.1. Общие принципы анализа 123
8.2. Этапы и результаты АВПО 130
8.3. Пример проведения АВПО 133
9. Планирование технического обслуживания и ремонта 138
9.1. Методы обоснования требований к составу и периодичности работ по ТО 138
9.1.1. Методология MSG-3 138
9.1.2. Развитие методологии MSG-3 в отечественной практике 160
9.2. Формализованное описание работ по ТО в БД АЛП 191
10. Планирование материально-технического обеспечения эксплуатации 196
10.1. Общие сведения 196
10.2. Подготовка данных и рассчитываемые параметры 198
10.3. Расчет потребностей в запасных частях для планового и непланового ТО 202
10.4. Пример расчета потребности в запасных частях 204
11. Методы анализа эксплуатационно-технических характеристик авиационной техники на основе базы данных анализа логистической поддержки 207
11.1. Номенклатура показателей для оценки и анализа ЭТХ 207
11.2. Оценка технической готовности 215
11.3. Оценка удельной трудоемкости технического обслуживания 223
11.4. Оценка эксплуатационных затрат 226
11.4.1. Общие сведения 226
11.4.2. Методика расчета затрат на техническое обслуживание 227
11.4.3. Примеры расчета затрат на ТО и их интерпретации 234
11.4.4. Сравнительный анализ значений прямых затрат на ТО зарубежных пассажирских самолетов 239
11.5. Актуализация БД АЛП и значений ЭТХ в ходе ЖЦ ВС 242
Послесловие 247
Приложение. Терминологический словарь 249
Список литературы 252

Для заметок

Судов Евгений Владимирович, Левин Александр Исидорович, Петров Андрей Николаевич, Петров Андрей Владимирович, Бороздин Дмитрий Николаевич

АНАЛИЗ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

Теория и практика

ООО Издательский дом «ИнформБюро»

Подписано в печать 19.03.2014. Печать офсетная.
Формат 60×90/16. Объем 16,25 ф.п.л. Тираж 1000 экз.

ISBN: 978-5-904-48121-6

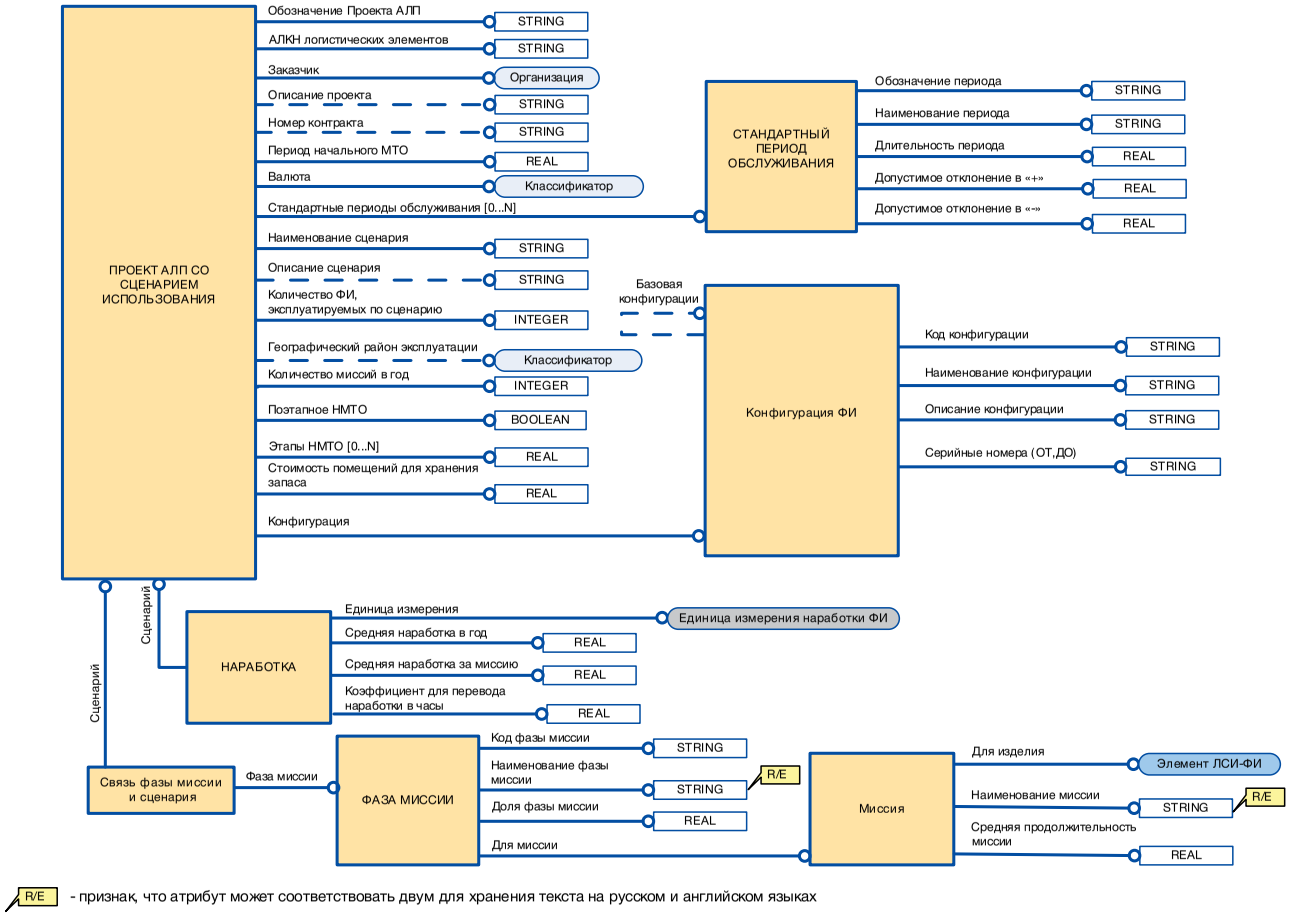


Рис. 5–3 Проект АЛП и анализируемые конфигурации

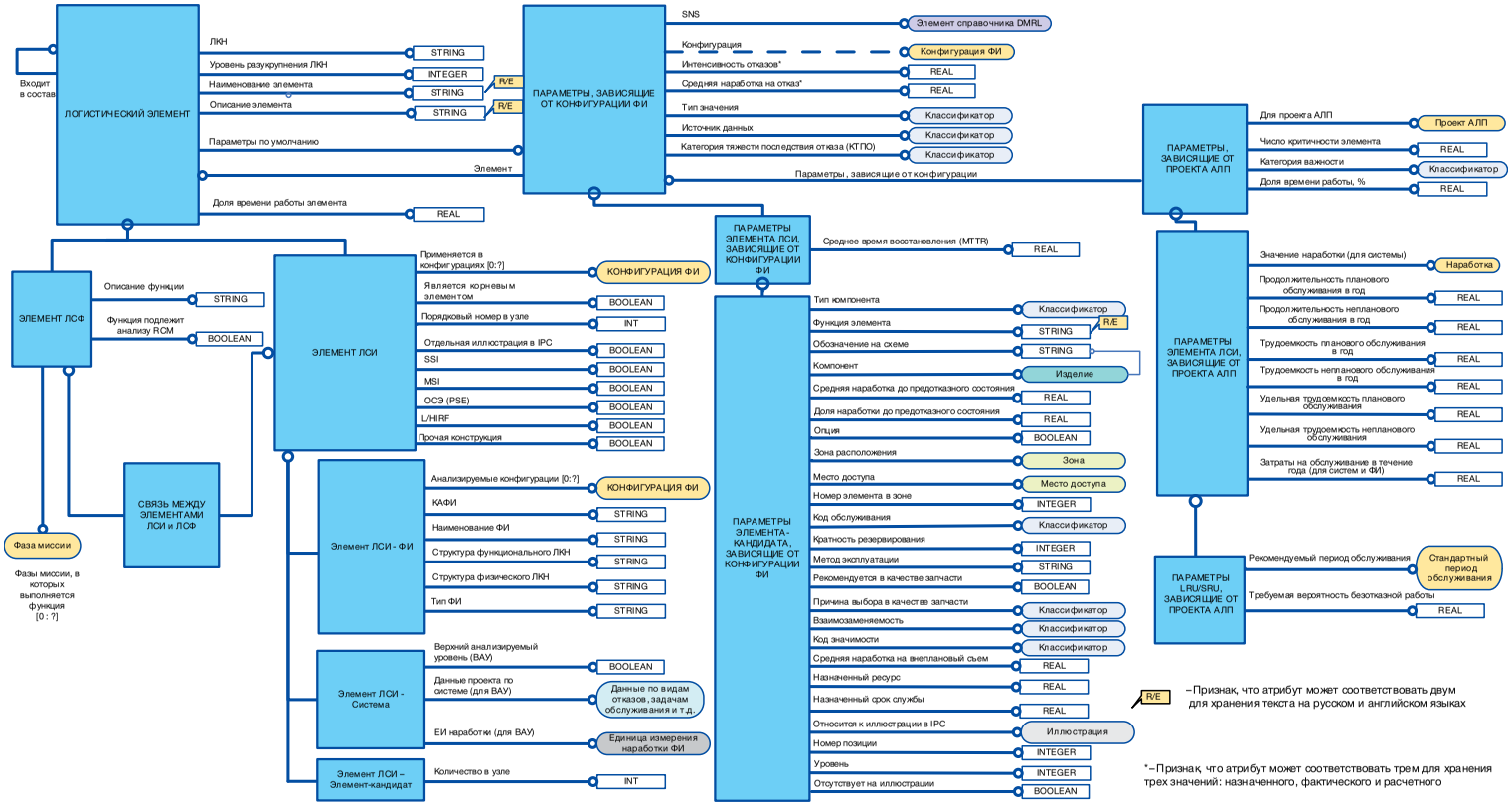


Рис. 5–4 Логистическая структура

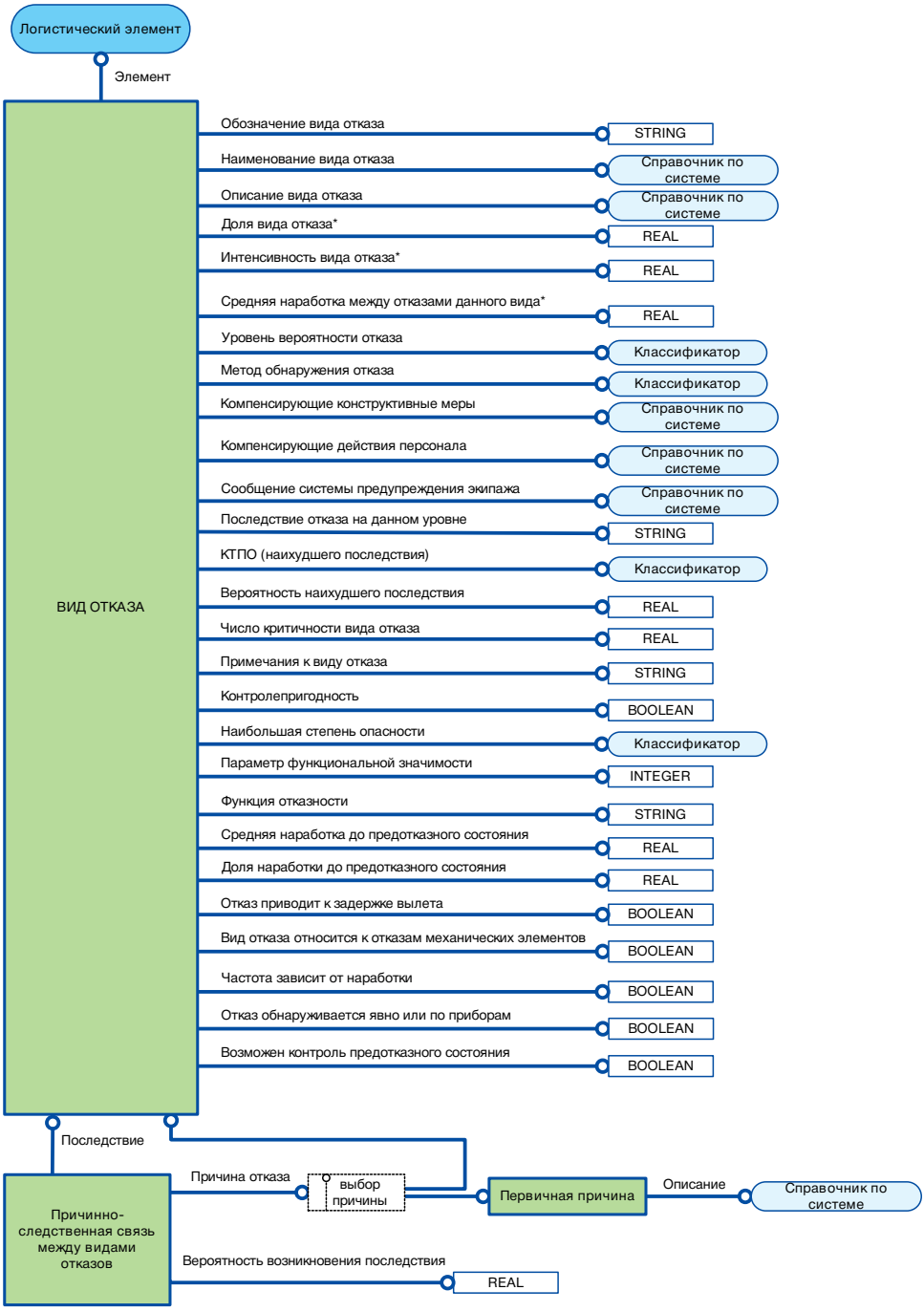


Рис. 5–5 Анализ видов и последствий отказов

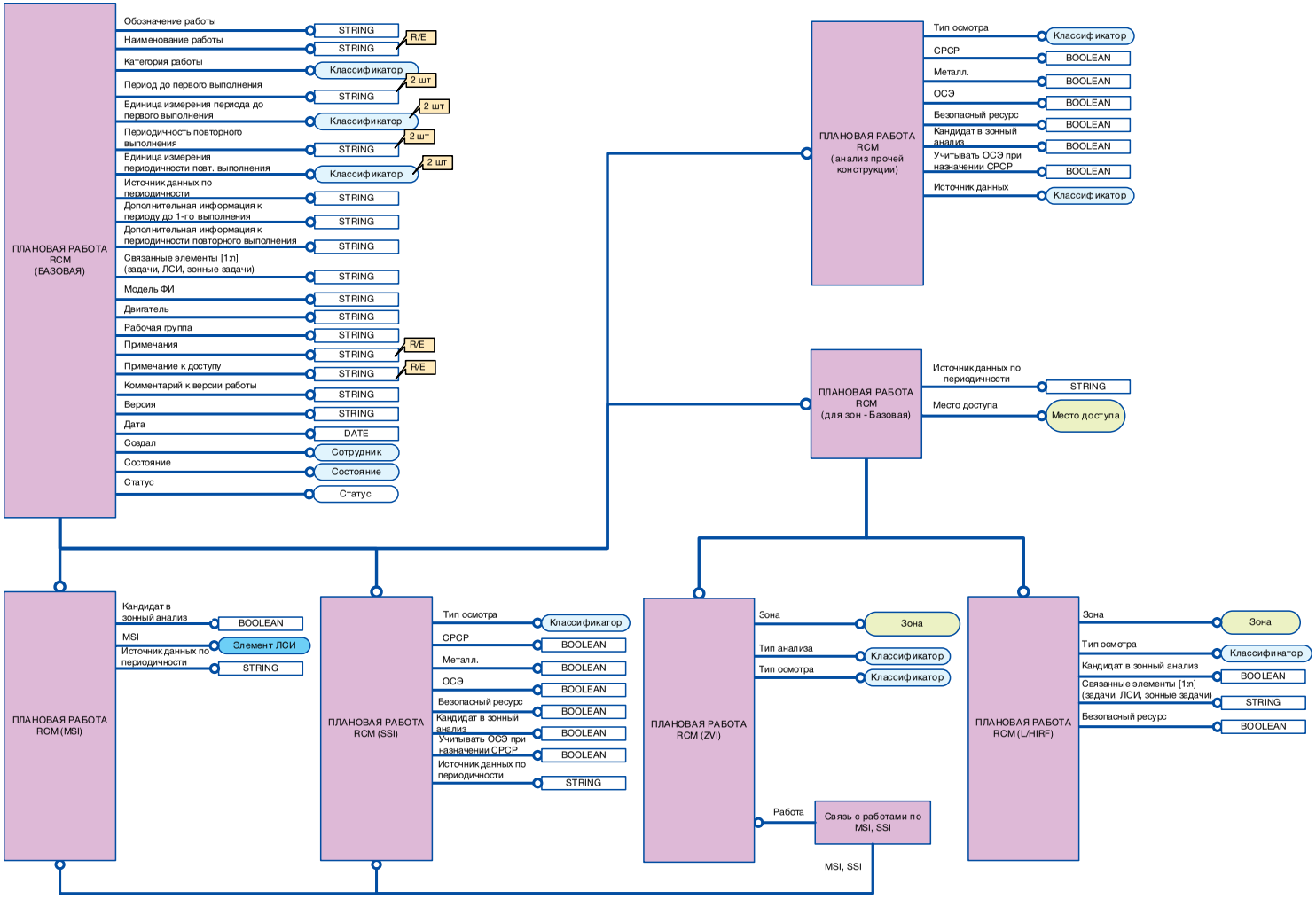


Рис. 5–6 Состав работ планового ТО

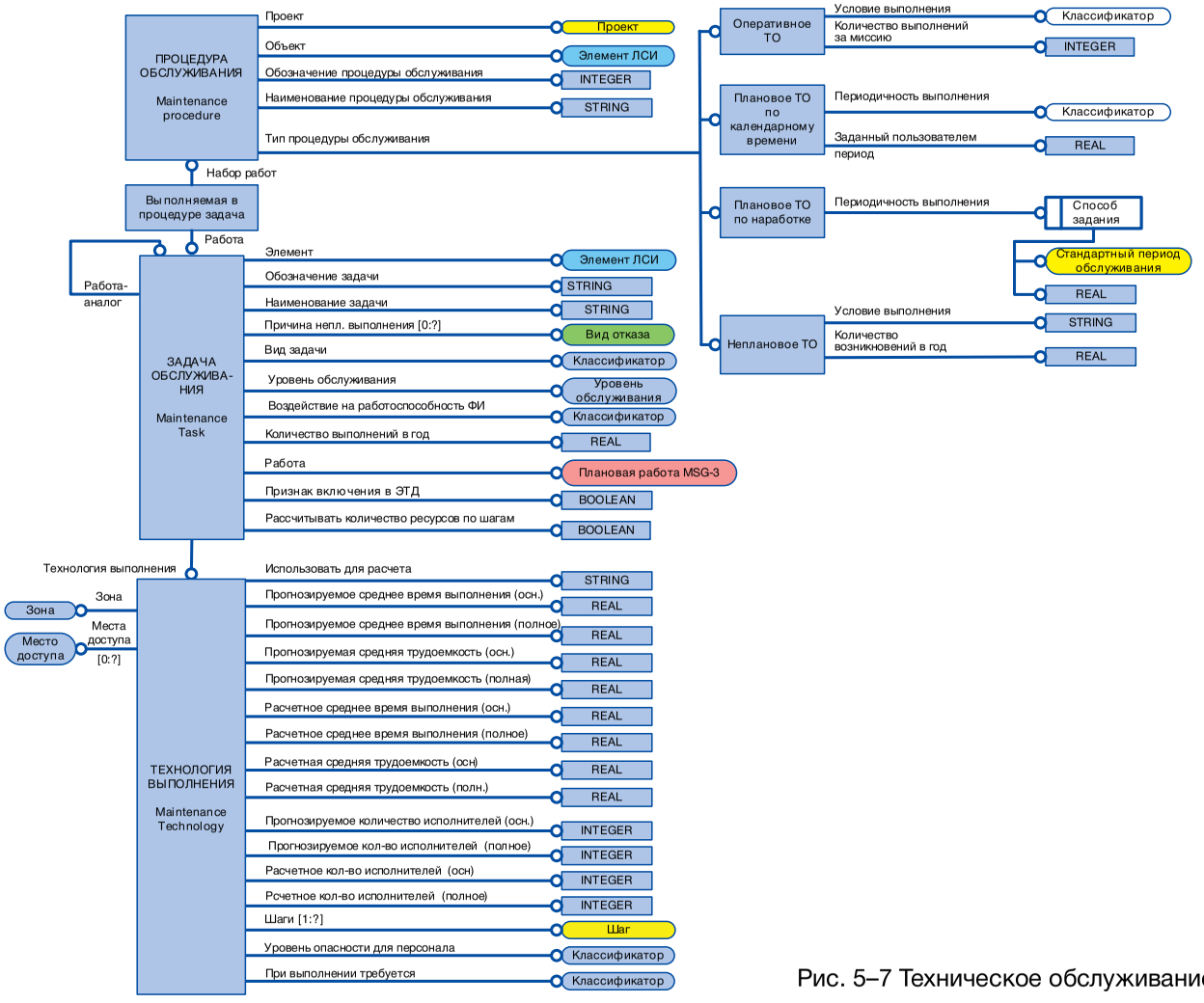


Рис. 5–7 Техническое обслуживание

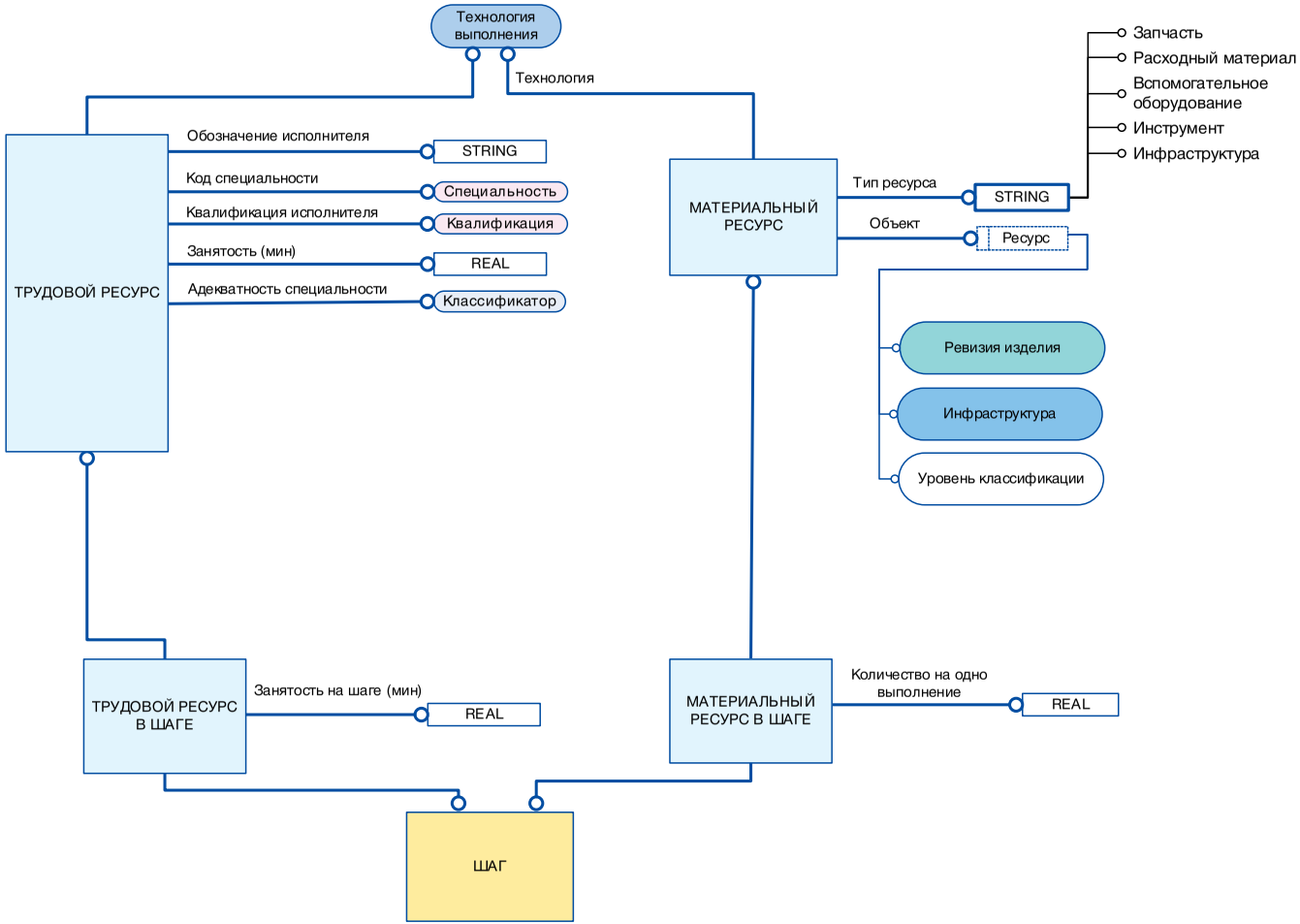


Рис. 5–8 Ресурсы

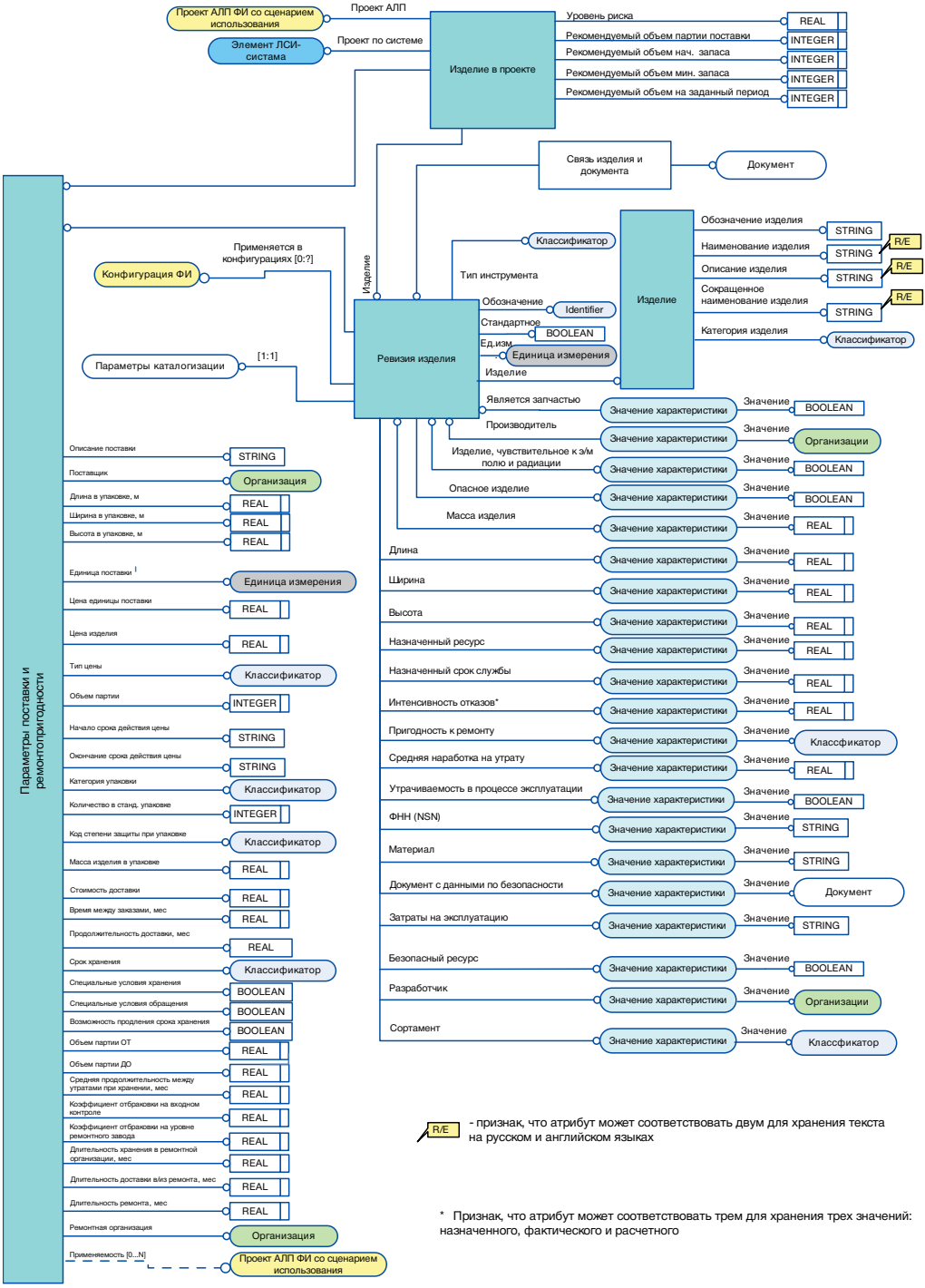


Рис. 5–9 Изделия

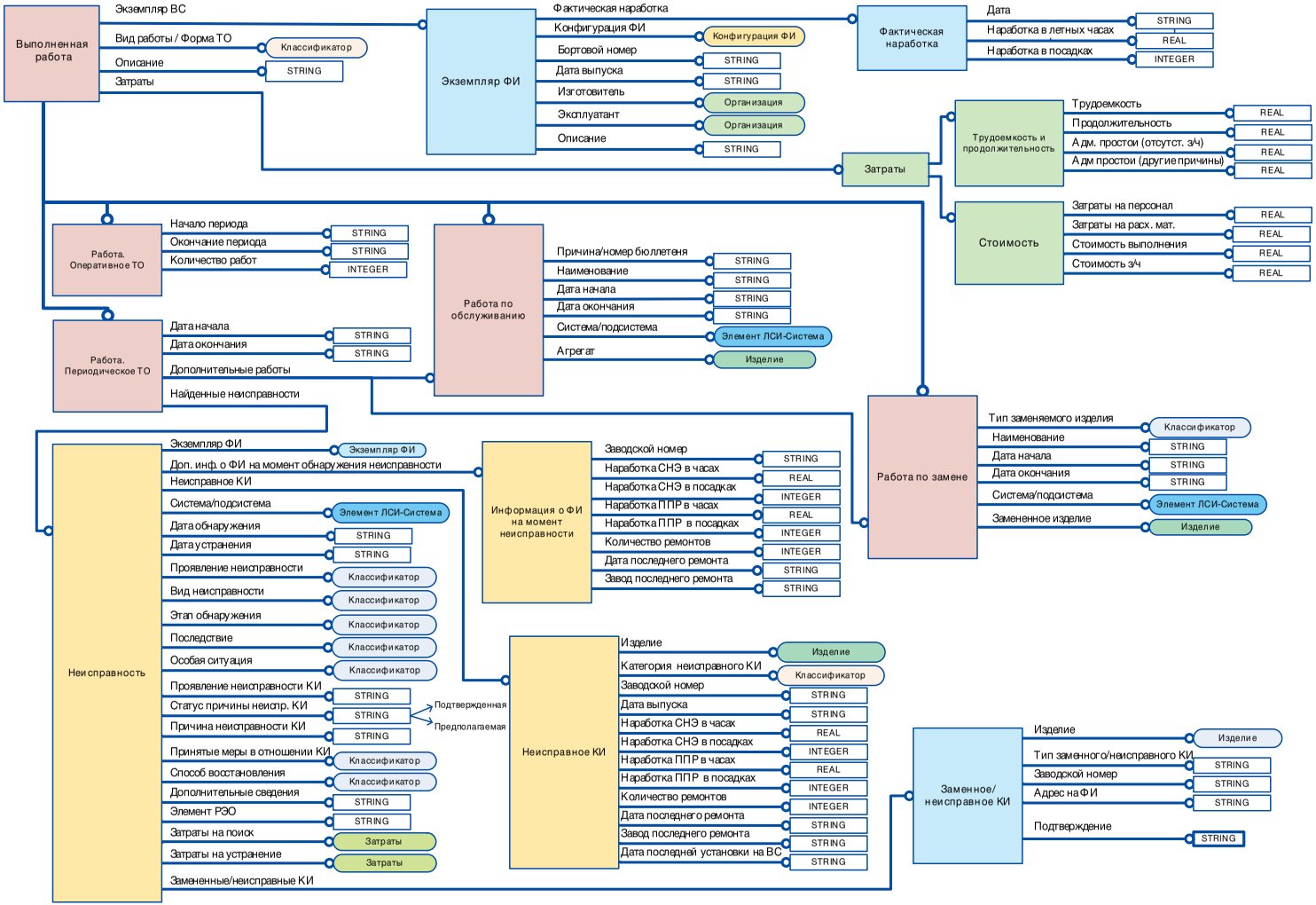


Рис. 5–10 Эксплуатационные данные