

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра технической эксплуатации ЛА и АД

С.Н. Яблонский], Ю.И. Самуленков,
А.Д. Грузд

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсовой работы
«Проектирование эффективного процесса
технической эксплуатации ЛА»

*для студентов IV курса
направления 25.03.01 и специальности 25.05.05
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2024

УДК 629.7.083
ББК 052-082.05
Я14

Рецензент:

Чичерин А.С. – канд. техн. наук

Яблонский С.Н.

Я141

Основы теории технической эксплуатации ЛА [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы «Проектирование эффективного процесса технической эксплуатации ЛА» / [С.Н. Яблонский], Ю.И. Самуленков, А.Д. Грузд. – М.: ИД Академии Жуковского, 2024. – 64 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Основы теории технической эксплуатации ЛА» по учебному плану направления подготовки 25.03.01 и специальности 25.05.05 для студентов всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 12.03.2024 г. и методического совета по направлению подготовки 25.03.01 – 14.03.2024 г., 25.05.05 – 20.03.2024 г.

УДК 629.7.083
ББК 052-082.05

В авторской редакции

Подписано в печать 18.12.2024 г.
Формат 60х84/16 Печ. л. 4 Усл. печ. л. 3,72
Заказ № 1030/1112-УМП04 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (499) 755-55-43
E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический
университет гражданской авиации, 2024

КУРСОВАЯ РАБОТА

Тема: Проектирование эффективного процесса технической эксплуатации летательного аппарата.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выполнение курсовой работы является промежуточным этапом в изучении дисциплины «Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов».

Цель курсовой работы - приобретение студентами навыков разработки эффективного процесса технической эксплуатации (ПТЭ) летательных аппаратов (ЛА), включающего решение задач: определения показателей безотказности на примере одной из функциональных систем (ФС) или подсистем; определения обобщенных показателей эксплуатационной технологичности ЛА; выбора рациональных стратегий технического обслуживания (ТО) изделий ФС (подсистемы); формирования оптимального регламента ТО / Программы ТО ФС (подсистемы); анализа и оценки эффективности проектируемого ПТЭ ЛА.

Объектом исследования является ЛА, ФС (подсистема) и ее изделия. Тип ЛА, ФС (подсистема), изделия выбираются преподавателем и записываются в техническом задании (Приложение 1). Там же указываются условия эксплуатации парка ЛА (№ варианта по приложению 7).

Все необходимые исходные данные для выполнения курсовой работы содержатся в приложениях к пособию. При выполнении курсовой работы автор несет ответственность за правильность расчетов, принятые технические решения.

Преподаватель, обеспечивающий руководство работой студента, уточняет объем и глубину проработки отдельных частей и вопросов, проводит консультации и осуществляет текущий контроль.

При оформлении курсовой работы необходимо соблюдать определенные требования. Изложение материала должно быть конкретным и четким. Заимствованные цитаты, таблицы и другие материалы должны иметь ссылку на источник.

Каждый лист курсовой работы должен иметь основную надпись. Форма основной надписи для листа «Содержание» приведена в Приложении 12. Все последующие листы записки должны иметь рамку по форме Приложения 13.

Текст курсовой работы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 2.105-2019. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

Требования к выполнению основной надписи в рамках оформляется в соответствии с ГОСТ Р 2.104-2023. Единая система конструкторской документации. Основные надписи.

Титульный лист должен быть оформлен чертежным шрифтом (Приложение 2). За ним следует техническое задание и далее лист «Содержание», на котором выполняется основная надпись по форме рис. 1.1.

Шифр работы формируется в следующей последовательности:

- 1) шифр студенческой книжки;
- 2) дисциплина - ОТТЭЛА;
- 3) обозначение работы - КР (курсовая работа);
- 4) вариант задания - соответствует обозначению функциональной системы по классификации АТА-100;

					М 93027.ОТТЭЛА.КР.29			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Гидросистема торможения колес шасси самолета Ил-76	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Вертолетов		01.10				
Провер.		Самолетов		01.11			3	32
Н.контр.		Ракетов		01.11		МГТУ ГА		
Утв.		Самолетов		01.11				

Рис. 1.1. Пример заполнения основных надписей пояснительной записки

Текст ПЗ должен быть разборчиво написан или распечатан на одной стороне листов формата А4 (297x210 мм). Необходимые схемы, графики в тексте ПЗ могут выполняться на стандартах А4 миллиметровой бумаги.

Печать производится на одной стороне листа белой бумаги размером 210x297 мм (формат А4).

Поля: левое 30 мм, правое не менее 10 мм, верхнее 20 мм, нижнее 20 мм.

Тип шрифта для текста - Times New Roman, прямой. Высота шрифта – 14.

Интервал – 1,5.

Абзац (1,25) должен быть одинаковым по всей работе.

Выравнивание: для абзаца - двустороннее, для заголовка - по центру.

Перенос слов в абзацах - по словам (слова в заголовках не разрываются, а переносятся целиком).

Ошибки (опечатки), графические неточности не допускаются.

Числовые значения в формулах объясняются. Окончательный результат приводится с указанием размерности. На графиках необходимо указывать масштаб и размерность изображаемых величин. Иллюстрации должны иметь номера и подрисуночные надписи. Таблицы, помещенные в тексте, должны иметь номера и названия. На все иллюстрации и таблицы в тексте должны быть даны ссылки.

В тексте необходимо выделить заголовки отдельных частей работы, их разделов и подразделов в соответствии с содержанием. В конце ПЗ дается литература, используемая при выполнении курсовой работы.

Общий объем ПЗ должен составлять 30...40 страниц формата А4.

2. СТРУКТУРА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Проектирование эффективного процесса технической эксплуатации ЛА представляет последовательное решение следующих задач:

Задача 1. Определение показателей безотказности ФС (подсистемы) ЛА.

Задача 2. Определение обобщенных показателей эксплуатационной технологичности (ЭТ) ЛА.

Задача 3. Выбор рациональных стратегий ТО изделий ФС (подсистемы).

Задача 4. Формирование оптимального регламента ТО / Программы ТО ЛА на примере ФС (подсистемы).

Задача 5. Построение модели процесса технической эксплуатации ЛА и расчет показателей его эффективности.

Каждая задача решается для указанных в техническом задании типа ЛА, ФС (или подсистемы) и ее основных изделий. Эффективность спроектированного ПТЭ определяется по результатам оценки его показателей и сравнения их с заданными нормативными значениями.

Пояснительная записка оформляется в следующей последовательности.

Титульный лист

Техническое задание

Содержание

Введение

1. Определение показателей безотказности ФС (подсистемы).

1.1. Описание функциональных задач, выполняемых ФС (подсистемой).

1.2. Определение показателей безотказности отдельных изделий.

1.3. Определение показателей безотказности блоков и ФС (подсистемы).

2. Определение обобщенных показателей ЭТ ЛА.

2.1. Определение показателя $K_{\text{Оп}}$.

2.2. Определение показателя $K_{\text{От}}$.

2.3. Определение показателя $P_y(t \leq t_3)$

3. Выбор рациональных стратегий ТО изделий ФС (подсистемы).

4. Формирование оптимального регламента ТО / Программы ТО ЛА на примере ФС (подсистемы).

4.1. Определение периодичности ТО изделий ФС.

4.2. Группировка работ по ТО изделий в формы регламента ТО / Программы ТО ФС.

5. Построение модели ПТЭ ЛА и расчет показателей его эффективности.

5.1. Построение модели ПТЭ и определение характеристик его состояний.

5.2. Расчет показателей и оценка уровня эффективности проектируемого ПТЭ.

5.3. Разработка предложений по совершенствованию процесса технической эксплуатации и улучшению ЭТ ЛА.

Выводы.

Список сокращений и условных обозначений.

Использованная литература.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

3.1. Определение показателей безотказности ФС (подсистемы)

Определение показателей безотказности ФС и ее изделий выполняется с целью последующего выбора рациональных стратегий ТО, формирования оптимального регламента ТО / Программы ТО и проектирования эффективного ПТЭ ЛА.

3.1.1. Описание функциональных задач, выполняемых ФС (подсистемой)

При описании функциональных задач системы (гидравлической, топливной и т.д.), студент использует технические описания ЛА, руководства / инструкции по технической эксплуатации и другую литературу по указанию преподавателя.

Описание гидравлической системы включает: основное предназначение и состав системы, принципиальная схема функционирования как ФС в целом, так и подсистемы, в соответствии с техническим заданием. Описывается назначение основных агрегатов системы (гидронасосы, гидроаккумуляторы, насосные станции, фильтры и т.д.) и основные потребители гидросистемы: гидроцилиндры, приводящие в действие те или иные агрегаты, гидроусилители, тормозные устройства и т.д.). Кроме того, приводятся типовые (возможные) отказы и повреждения, как агрегатов (изделий), так и системы в целом.

Аналогично осуществляется описание топливной системы.

3.1.2. Определение показателей безотказности отдельных изделий

Исходной информацией является: принципиальная схема ФС; характеристики безотказности агрегатов (изделий) ФС (параметры потока отказов $\omega_0(t)$ и неисправностей $\omega_H(t)$ представлены в Приложении 3).

Вероятность безотказной работы каждого изделия определяется из предположения стационарного потока отказов:

$$P(t) = e^{-\omega_0 \cdot t} \quad (3.1)$$

для $t = \bar{t}_{БП}; t = \tau_{А(Ф1)}; t = \tau_{В(Ф2)}; t = \tau_{С(Ф3)}$,

где $\bar{t}_{БП}$, ч - средняя длительность беспосадочного полёта (Приложение 4);

$\tau_{Ф1}, \tau_{Ф2}, \tau_{Ф3}$ - периодичность выполнения 1, 2, 3 - ей форм периодического ТО для типа ЛА (Приложение 4);

$\omega_0(t)$ - параметр потока отказов изделия (Приложение 3).

$\omega_H(t)$ - параметр потока неисправностей изделия (Приложение 3).

3.1.3. Определение показателей безотказности блоков и ФС (подсистемы)

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность объекта является комплексным свойством, ее оценивают по четырем показателям – безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости или по сочетанию этих свойств. Безотказность – свойство объекта сохранять работоспособность непрерывно в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Анализ и оценка безотказности блоков и ФС проводится с целью ответа на вопрос: влияют ли отказы агрегатов (изделий) ФС на безопасность полетов?

Для определения показателей безотказности ФС используется метод структурной логической схемы надежности с учетом последовательного и параллельного соединения элементов ФС.

Структурная схема надежности – логическая схема взаимодействия элементов, определяющая работоспособность системы или иначе графическое отображение элементов системы, позволяющее однозначно определить состояние системы (работоспособное / неработоспособное) по состоянию (работоспособное / неработоспособное) элементов.

Исходной информацией для построения структурной схемы надежности является описание функционирования ФС, ее принципиальная схема и перечень типовых отказов изделий, при которых они не выполняют своих функциональных задач. Следует иметь в виду, что конструктивное оформление элементов, их последовательное или параллельное соединение в конструкции еще не означает аналогичного изображения в структурной схеме надежности. Разницу между конструктивной и структурной схемами можно показать на примере работы двух фильтров гидросистемы, которые для повышения надежности работы системы могут быть установлены (рис. 3.1) последовательно или параллельно.

Отказ фильтра может произойти в результате двух основных причин – засорения сетки и ее разрыва. В случае засорения сетки структурная схема надежности соответствует конструктивной. Последовательное соединение фильтров в этом случае только снизит надежность системы, так как отказ любого из фильтров приведет к отказу системы, поскольку необходимый поток жидкости не будет проходить сквозь фильтр.

При отказе фильтра из-за разрыва сетки структурная схема надежности противоположна конструктивной. При параллельном конструктивном выполнении отказ любого фильтра будет означать отказ системы, так как при разрыве сетки поток жидкости пойдет через данный фильтр, и не будет происходить ее фильтрация. Поэтому структурная схема надежности изображена в виде последовательных элементов. При последовательном конструктивном включении фильтров, наоборот, разрыв сетки одного из них не

будет означать отказа, поскольку дублирующий фильтр продолжает выполнять свои функции. Поэтому структурная схема надежности изображена в виде параллельного соединения.

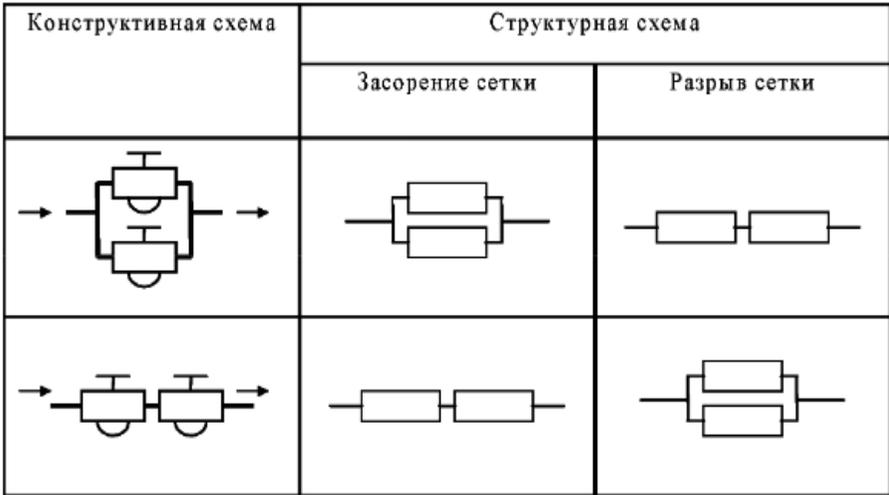


Рис. 3.1. Конструктивные и структурные схемы надежности соединения фильтров при различных видах отказов

В результате построения структурной схемы надежности выделяются элементы, отказы которых не влияют на безопасность полетов (параллельное соединение) и изделия, отказы которых влияют на безопасность полетов (последовательное соединение).

Для расчёта вероятности безотказной работы ФС $P(t)$ используются выражения, представленные в табл. 3.1.

Для удобства расчёта вероятностей безотказной работы ФС (подсистемы) рекомендуется на основе детализированной структурной схемы надёжности построить укрупнённую структурную схему надежности, где необходимо выделить цепочки и блоки из последовательно и параллельно соединённых изделий ФС ЛА.

Результаты определения безотказности ФС и её изделий представляются по форме табл. 3.2.

Таблица 3.1

Оценка $P(t)$ методом структурных схем

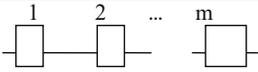
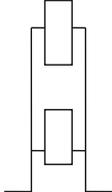
Элемент структурной схемы		Вероятность безотказной работы	Примечания
Соединение	Графическое изображение		
Последовательное		$P(t) = \prod_{j=1}^m P_j(t)$	$P_j(t)$ – вероятность безотказной работы j -го изделия; m – количество изделий, соединенных последовательно; e – количество изделий, соединенных параллельно.
Параллельное		$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^e [1 - P_j(t)]$	
			

Таблица 3.2

Результаты определения безотказности

Объект эксплуатации			Вероятность безотказной работы объекта				Влияние отказа изделия на БП	
	№ по схеме	Наименование	τ_A ($\tau_{Ф1}$)	τ_B ($\tau_{Ф2}$)	τ_C ($\tau_{Ф3}$)	τ_D ($\tau_{КВР}$)	да	нет
	1	2	3	4	5	6	7	8
изделия	1	Обратный клапан						
	2	...						
	3	...						
	⋮	⋮						
Блоки		I						
		II						
		⋮						
Функциональная система		ФС						

По результатам расчётов (на основании информации, представленной в табл. 2) необходимо:

- 1) проанализировать значения показателей безотказности изделий, блоков и ФС в целом и динамику их изменения от наработки;
- 2) выделить наименее надёжные изделия и блоки и дать предложения по повышению безотказности ФС;
- 3) выделить изделия, отказы которых влияют на безопасность полётов, отметить их знаком "+" в графе 7 табл. 3.2.

Рассмотрим в качестве примера топливную систему самолета RRJ-95, принципиальная схема которой приведена на рис. 3.2

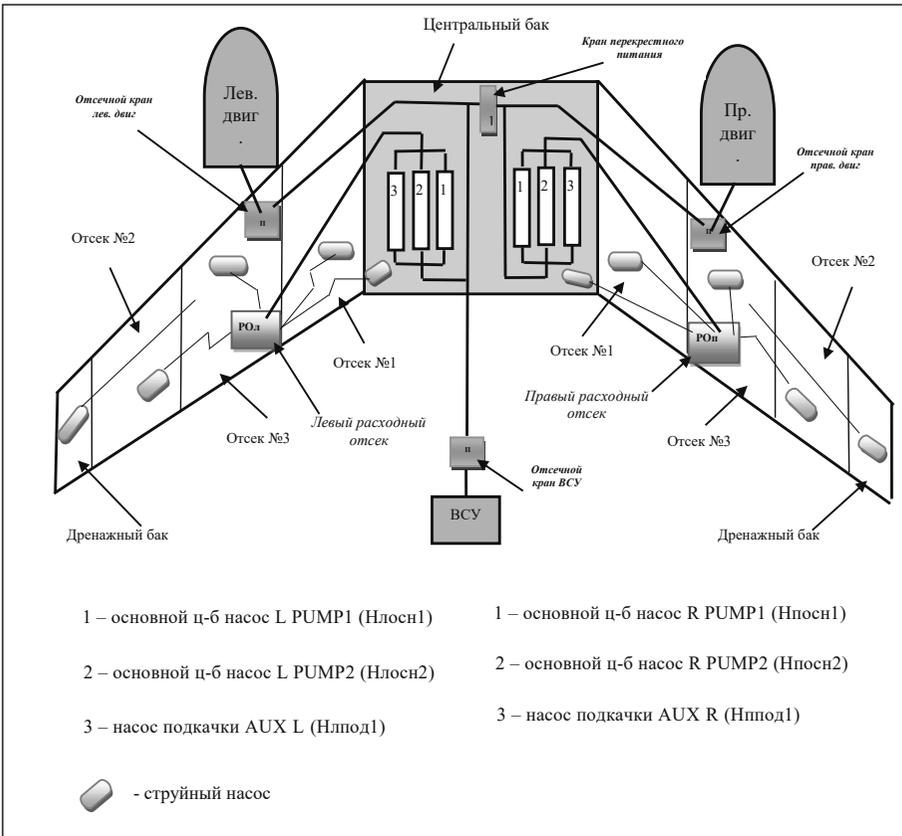


Рис. 3.2. Принципиальная схема топливной системы самолета RRJ-95

Топливная система самолета RRJ-95 обеспечивает:

- размещение топлива на самолете;

- подачу топлива к двигателям;
- подачу топлива к вспомогательной силовой установке (ВСУ);
- централизованную заправку самолета топливом;
- централизованный слив топлива из баков самолета;
- управление расходом, заправкой и измерение запаса топлива в баках.

На самолете имеются три топливных бака, образованных герметичной конструкцией планера:

- левый крыльевой бак (Блкр), расположенный в левой консольной части крыла;
- правый крыльевой бак (Бпкр), расположенный в правой консольной части крыла;
- центральный бак (Бц), расположенный в центроплане.

Крыльевые баки разделены на три отсека:

- отсек №1 левый (Блкр1), отсек №1 правый (Бпкр1),
- отсек №2 левый (Блкр2), отсек №2 правый (Бпкр2),
- отсек №3 левый (Блкр3), отсек №3 правый (Бпкр3).

В отсеке №3 левом (Блкр3) имеется расходный отсек (РО) левый (БРОлкр), из которого обеспечивается подача топлива к левому двигателю топливными насосами подкачки.

В отсеке №3 правом (Бпкр3) имеется расходный отсек (РО) правый (БРОпкр), из которого обеспечивается подача топлива к правому двигателю топливными насосами подкачки.

Подача топлива к двигателям и ВСУ обеспечивается топливными насосами подкачки по независимым трубопроводам левому (правому). Забор топлива насосами подкачки осуществляется из расходных отсеков (РО) крыльевых топливных баков.

Из левого РО топливо подается к левому двигателю и ВСУ, из правого РО к правому двигателю. В центральном топливном баке (Бц) установлены по два основных электрических центробежных насоса:

- L PUMP1 (Нлосн1), L PUMP2 (Нлосн2) левого борта и по одному вспомогательному электрическому центробежному насосу подкачки топлива с встроенным преобразователем AUX L (Нлпод1) левого борта.

- R PUMP1 (Нпосн1) и R PUMP2 (Нпосн2) правого борта и по одному вспомогательному электрическому центробежному насосу подкачки топлива с встроенным преобразователем AUX R (Нппод1) правого борта.

Последовательность выработки топлива. Выработка топлива из баков производится автоматически путем перекачки топлива из центрального бака и из отсеков крыльевых левого (правого) баков в соответствующие расходные отсеки левый (правый) струйными насосами. Активное топливо для привода струйных насосов отбирается от основных насосов подкачки. Расходный отсек сообщается с отсеком №3 через переливное отверстие в верхней части РО и переливной обратный клапан в нижней части РО.

Баки вырабатываются в следующей последовательности:

- центральный бак;

- отсеки №1 левый (правый);
- отсеки №2 левый (правый) и отсеки №3 левый (правый) одновременно;
- расходные отсеки левый (правый).

Рассмотрим детализированную структурную схему надёжности топливной системы самолёта RRJ-95 (табл. 3.3)

Таблица 3.3

Обозначения на схемах рис. 3.2 и рис. 3.3

№	Наименование агрегата	Сокращённое условное наименование
1	Топливный бак	Б2л, Б3л, Б1л, Бцл, Бцпр, Б1пр, Б3пр, Б2пр
2	Насос перекачки (струйный насос)	СНл2-3, СНл3-3, СНл1-3, СНлц-3, СНпрц-3, СНпр1-3, СНпр3-3, СНпр2-3,
3	Обратный клапан	ОКл2-3, ОКл3-3, ОКл1-3, ОКлц-3, ОКпрц-3, ОКл1-3, ОКл3-3, ОКл2-3
4	Расходный отсек (РО)	РОл, РОпр
5	Переливной обратный клапан	ОК перл, ОК перпр
6	Насос подкачки	Носнл1, Ндопл1, Нвспл1, Носнпр2, Ндопр2, Нвсппр2
7	Фильтр	Фильтрл, Фильтрпр
8	Перекрывной клапан	ПКл, ПКпр
9	Предохранительный клапан	ПхрКл, ПхрКпр
10	Сигнализатор давления	СДл, СДпр
11	Насос-регулятор	НРл, НРпр

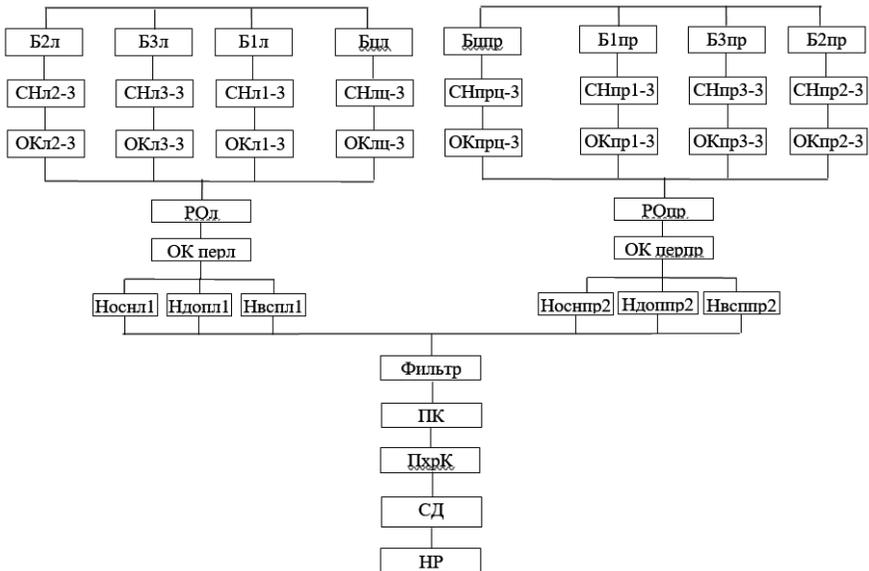


Рис. 3.3 Детализированная структурная схема надёжности топливной системы самолёта RRJ-95

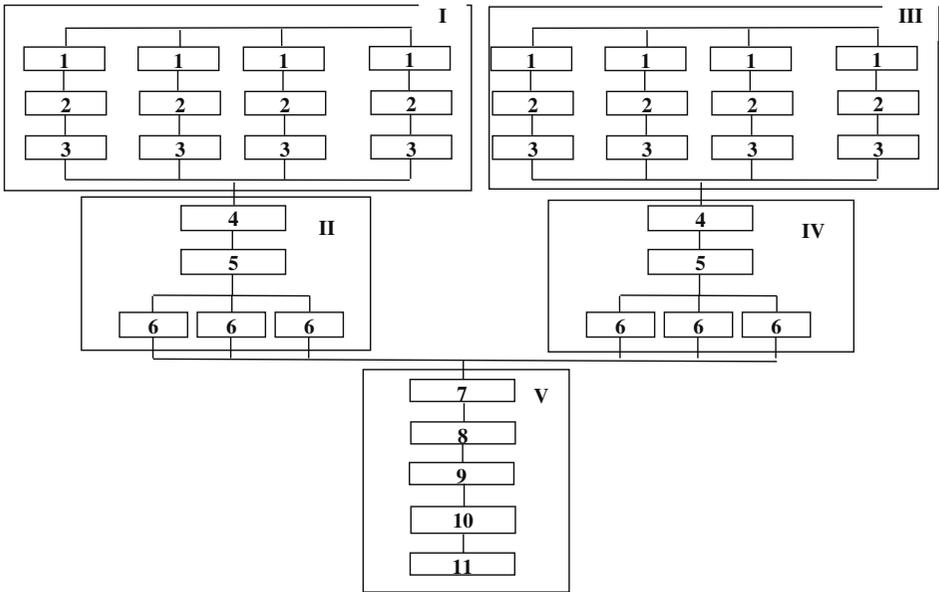


Рис. 3.4. Детализированная структурная схема надёжности топливной системы самолета RRJ-95

Для упрощения расчета детализированную структурную схему рекомендуется разбить на блоки I - V. Блоки целесообразно составлять из элементов, имеющих функциональную связь (рис. 3.4).

В блоке V условно представлены оба двигателя.

Далее определяется вероятность безотказной работы для каждого блока.

В рассмотренном примере имеем:

- 1) для блока I: $P_I = 1 - (1 - P_1 \cdot P_2 \cdot P_3)^4$
- 2) для блока II: $P_{II} = P_4 \cdot P_5 \cdot [1 - (1 - P_6)^3]$
- 3) для блока III: $P_{III} = 1 - (1 - P_1 \cdot P_2 \cdot P_3)^4$
- 4) для блока IV: $P_{IV} = P_4 \cdot P_5 \cdot [1 - (1 - P_6)^3]$
- 5) для блока V: $P_V = P_7 \cdot P_8 \cdot P_9 \cdot P_{10} \cdot P_{11}$

Строим укрупненную структурную схему надежности ФС (рис. 3.5).

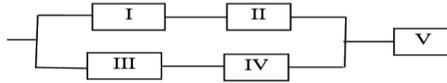


Рис. 3.5. Укрупненная структурная схема надежности ФС

Из схемы следует, что вероятность безотказной работы топливной системы будет равна:

$$P_{СИСТ} = [1 - (1 - P_I \cdot P_{II}) \cdot (1 - P_{III} \cdot P_{IV})] \cdot P_V$$

Расчет доводится до числовой оценки подстановкой значений вероятности безотказной работы блоков и изделий в соответствии с табл. 3.2 и выполняется для заданных значений времен ($\tau_A(\tau_{Ф1})$, $\tau_B(\tau_{Ф1})$, $\tau_C(\tau_{Ф1})$).

3.2. Определение фактических значений обобщенных показателей эксплуатационной технологичности ЛА

Эксплуатационная технологичность ЛА оценивается совокупностью обобщенных и единичных показателей. Обобщенные показатели характеризуют ЭТ ЛА с точки зрения потребных затрат времени и труда на проведение ТОиР. Единичные показатели характеризуют лишь отдельные свойства ЭТ. Выбор состава обобщенных показателей ЭТ осуществляется исходя из принятых структуры и совокупности показателей эффективности ПТЭ ЛА. Значения показателей ЭТ определяются на основе использования данных по ТОиР, а также по действующим ресурсам самолетов, двигателей, комплектующих изделий.

В курсовой работе для заданного типа ЛА предлагается определить значения следующих обобщенных показателей ЭТ:

- а) $K_{ОП}$ - удельная суммарная оперативная продолжительность ТОиР;
- б) $K_{ОТ}$ - удельная суммарная оперативная трудоемкость ТОиР;
- в) $P_y(t \leq t_s)$ – вероятность устранения отказа (повреждения) за заданное время t_s .

3.2.1. Определение показателя $K_{ОП}$

Показатель «удельная суммарная оперативная продолжительность ТОиР» $K_{ОП}$ определяется из выражения:

$$K_{ОП} = \frac{t_{ОП} + t_{П} + t_{D}}{T_{РЕСС}} + \frac{t_{ЗАМ.ДВ} \cdot \beta}{T_{РЕС.ДВ} \cdot (1 - K_{ДС})}; \quad (3.2)$$

где $t_{оп}$, $t_{п}$ - суммарная оперативная продолжительность выполнения всех форм оперативного и периодического обслуживания, соответственно, за ресурс (назначенный, проектный) самолета $T_{РЕС.С}$, ч; $t_D(t_{КВР})$ - средняя оперативная продолжительность контрольно-восстановительных работ (форма D) самолета за $T_{РЕС.С}$, ч; $t_{ЗАМ.ДВ}$ - средняя оперативная продолжительность замены двигателя, ч; $T_{РЕС.ДВ}$ - межремонтный ресурс двигателя, ч; $K_{ДС}$ - коэффициент досрочных замен двигателей; β - коэффициент, учитывающий количество замен двигателей, которые не совмещаются по времени с проведением периодических форм ТОиР на самолете.

Значения $t_{оп}$ и $t_{п}$ определяются исходя из принятых для каждого типа самолета форм технического обслуживания, периодичности и средних значений оперативной продолжительности их выполнения:

$$t_{оп} = t_{ТЕ} \cdot n_{ТЕ} + t_{W} \cdot n_{W}; \quad t_{оп} = t_{ФА} \cdot n_{ФА} + t_{ФБ} \cdot n_{ФБ} \quad (3.3)$$

$$t_{п} = t_{А} \cdot n_{А} + t_{В} \cdot n_{В} + t_{С} \cdot n_{С}; \quad t_{п} = t_{Ф1} \cdot n_{Ф1} + t_{Ф2} \cdot n_{Ф2} + t_{Ф3} \cdot n_{Ф3}; \quad (3.4)$$

$$t_{D} = t \cdot n_{D}; \quad t_{КВР} = t_{КВР} \cdot n_{КВР} \quad (3.5)$$

где $t_{ТЕ}$ ($t_{ФА}$), t_{W} ($t_{ФБ}$) - средние значения оперативной продолжительности выполнения оперативных форм ТО самолета (форм Transit Check (Ф-А) и Weekly Check (Ф-Б)); $n_{ТЕ}$ (ФА), n_{W} (ФБ) - общее число соответствующих форм оперативного обслуживания за $T_{РЕС.С}$; $t_{А}$ ($t_{Ф1}$), $t_{В}$ ($t_{Ф2}$), $t_{С}$ ($t_{Ф3}$), $t_{D}(t_{КВР})$ - средние значения оперативной продолжительности выполнения периодических форм ТО самолета (А-Check (Ф-1), В-Check (Ф-2), С-Check (Ф-3), D(КВР)); $n_{А}$ ($n_{Ф1}$), $n_{В}$ ($n_{Ф2}$), $n_{С}$ ($n_{Ф3}$), $n_{D}(n_{КВР})$ - общее число соответствующих форм периодического обслуживания за $T_{РЕС.С}$, включая контрольно-восстановительные работы D(КВР).

Общее число оперативных форм обслуживания за $T_{РЕС.С}$ рекомендуется определять из выражений:

$$n_{ТЕ} = \frac{1,1 \cdot T_{РЕС.С}}{t_{БИ}} \quad n_{ФА} = \frac{1,1 \cdot T_{РЕС.С}}{t_{БИ}} \quad (3.6)$$

$$n_{W} = \frac{365 \cdot T_{РЕС.С}}{\tau_{W} \cdot T_{ГСС}} - n_{п}; \quad n_{ФБ} = \frac{365 \cdot T_{РЕС.С}}{\tau_{ФБ} \cdot T_{ГСС}} - n_{п} \quad (3.7)$$

где $n_{п}$ - суммарное число периодических форм ТО, включая Контрольно-восстановительные работы D(КВР), выполняемых за $T_{РЕС.С}$; $\tau_{W(ФБ)}$ - периодичность выполнения формы Weekly Check (Ф-Б) в сутках (Приложение 4); $T_{ГСС}$ - средний годовой налет на списочный самолет (Приложение 4).

Общее число периодических форм ТО n_{Π} за T_{PESC} определяется с использованием данных о периодичности выполнения форм A-Check (Ф-1), B-Check (Ф-2), C-Check (Ф-3), D-Check(KBP) для заданного типа самолета (Приложение 4).

$$n_{\Pi} = n_A + n_B + n_C + n_D \quad (3.8)$$

При этом используются следующие выражения:

$$n_D = \frac{T_{PESC}}{\tau_D}; \quad n_{KBP} = \frac{T_{PESC}}{\tau_{KBP}}; \quad n_C = \frac{T_{PESC}}{\tau_C} - n_D; \quad n_{\Phi 3} = \frac{T_{PESC}}{\tau_{\Phi 3}} - n_{KBP} \quad (3.9)$$

$$n_B = \frac{T_{PESC}}{\tau_B} - (n_D + n_C); \quad n_{\Phi 2} = \frac{T_{PESC}}{\tau_{\Phi 2}} - (n_{KBP} + n_{\Phi 3}); \quad (3.10)$$

$$n_A = \frac{T_{PESC}}{\tau_A} - (n_D + n_C + n_B); \quad n_{\Phi 1} = \frac{T_{PESC}}{\tau_{\Phi 1}} - (n_{KBP} + n_{\Phi 3} + n_{\Phi 2}) \quad (3.11)$$

Необходимые для расчета исходные данные о T_{PESC} , $T_{PESC,ДВ}$, $T_{ГСС}$, $t_{ЗАМ,ДВ}$, β , $K_{ДС}$ и другие содержатся в приложениях 4 и 5.

Далее с использованием результатов расчета по выражениям (3.3...3.11) определяется искомое значение $K_{ОП}$.

$$K_{ОП} = \frac{t_{ОП} + t_{\Pi} + t_D}{T_{PESC}} + \frac{t_{ЗАМ,ДВ} \cdot \beta}{T_{PESC,ДВ} \cdot (1 - K_{ДС})}; \quad (3.12)$$

3.2.2. Определение показателя $K_{ОТ}$

Показатель «удельная суммарная оперативная трудоемкость ТОиР» определяется из выражения

$$K_{ОТ} = \frac{T_{ОП} + T_{\Pi} + T_D}{T_{PESC}} + \frac{(T_{ЗАМ,ДВ} + T_{РЕМ,ДВ}) \cdot n_{ДВ}}{T_{PESC,ДЕ} \cdot (1 - K_{ДС})} + \sum_{i=1}^{N_C} \frac{T_{РЕМ,И_i} \cdot n_{И_i}}{T_{PESC,И_i} \cdot (1 - \alpha_{И_i})} \quad (3.13)$$

где $T_{ОП}$ - суммарная оперативная трудоемкость всех форм оперативного технического обслуживания, включая работы по устранению отказов и повреждений за T_{PESC} , чел.-ч; T_{Π} - суммарная оперативная трудоемкость всех форм периодического обслуживания за T_{PESC} , чел.-ч, включая $T_D(T_{KBP})$ - контрольно-восстановительные работы; $T_{РЕМ,ДВ}$, $T_{РЕМ,И}$ - трудоемкость ремонта двигателя, i -го изделия соответственно, чел.-ч; $T_{ЗАМ,ДВ}$ - трудоемкость замены двигателя, чел.-ч; $T_{PESC,И_i}$ - межремонтный ресурс i -го изделия, ч; $\alpha_{И_i}$ - коэффициент досрочных замен i -го изделия; $n_{ДВ}$, $n_{И_i}$ - число двигателей и

изделий каждого типа на самолете, заменяемых в пределах $T_{РЕС.ДВ}$ и $T_{РЕС.С}$ соответственно; $N_{И}$ - число типов изделий, заменяемых на самолете в пределах $T_{РЕС.С}$.

Величины $T_{ОП}$ и $T_{П}$ определяются исходя из принятых для самолета форм ТО в пределах $T_{РЕС.С}$, средних значений оперативной трудоемкости каждой из форм и их числа за $T_{РЕС.С}$.

$$T_{ОП} = T_{ТЕ} \cdot n_{ТЕ} + T_{W} \cdot n_{W}; \quad T_{ОП} = T_{\Phi A} \cdot n_{\Phi A} + T_{\Phi Б} \cdot n_{\Phi Б} \quad (3.14)$$

$$T_{П} = T_{А} \cdot n_{А} + T_{В} \cdot n_{В} + T_{С} \cdot n_{С}; \quad T_{П} = T_{\Phi 1} \cdot n_{\Phi 1} + T_{\Phi 2} \cdot n_{\Phi 2} + T_{\Phi 3} \cdot n_{\Phi 3}; \quad (3.15)$$

$$T_{D} = T \cdot n_{D}; \quad T_{КВР} = T_{КВР} \cdot n_{КВР}. \quad (3.16)$$

Число обслуживаний определяется по выражениям, приведенным выше (п. 2.2.1). Исходные данные об оперативной трудоемкости форм ТОиР приведены в Приложении 6.

Необходимые исходные данные для определения значения второго члена выражения (3.17) содержатся в приложениях 4 и 6.

Третий член выражения (3.17) из-за отсутствия полных и достоверных исходных данных при выполнении курсовой работы можно не рассчитывать, а принять его равным 10% от удельной оперативной трудоемкости ТОиР самолета (первого члена выражения (3.17)).

Имея исходные данные для определения всех трех членов выражения (3.17) рассчитывается искомое значение показателя $K_{от}$ для рассматриваемого типа самолёта.

$$K_{от} = \frac{T_{ОП} + T_{П} + T_{D}}{T_{РЕС.С}} + \frac{(T_{ЗАМ.ДВ} + T_{РЕМ.ДВ}) \cdot n_{ДВ}}{T_{РЕС.ДЕ} \cdot (1 - K_{ДС})} + \sum_{i=1}^{N_{И}} \frac{T_{РЕМ.И_i} \cdot n_{И_i}}{T_{РЕС.И_i} \cdot (1 - \alpha_{И_i})} \quad (3.17)$$

3.2.3. Определение показателя $P_y(t \leq t_3)$

Вероятность выполнения внепланового текущего ремонта $P_y(t \leq t_3)$ за данное время определяется в зависимости от вида распределения времени текущего ремонта. Она определяется в основном принятым методом обнаружения отказавшего изделия и особенностями конструкции ФС самолета.

Если ФС и их изделия модульного типа, а текущий ремонт осуществляется методом замены, то, как правило, имеет место экспоненциальное распределение времени текущего ремонта и, следовательно:

$$P_y(t \leq t_3) = 1 - e^{-\mu \cdot t} \quad (3.18)$$

где μ - интенсивность текущего ремонта;
 t_3 – заданное время для устранения отказа.

В случаях, когда интенсивность текущего ремонта μ является величиной постоянной во времени, а закон распределения времени устранения отказов - экспоненциальный, μ определяется как величина, обратная среднему времени устранения отказов (текущего ремонта): $\mu = 1/t_y$

За величину t_3 принимается значение $t_{ст.м}$ – наименьшее время плановой стоянки самолета в транзитных аэропортах, рекомендуемое для задействования в расписании полетов.

Исходные данные, необходимые для определения показателя $P_y(t \leq t_3)$, приведены в приложениях 3 и 5.

Показатель $P_y(t \leq t_3)$, определяется для каждого из изделий рассматриваемой в параграфе 3.1 функциональной системы (подсистемы).

Результаты расчета сводятся в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Результаты определения показателя $P_y(t \leq t_3)$

№ п/п	Наименование изделий ФС (по табл. 3.2)	t_y	μ	$P_y(t \leq t_3)$
1				
2				
...				

Анализ $P_y(t \leq t_3)$, для изделия выполняется сравнением рассчитанного значения с нормативным ($P_{y \text{ норм}} = 0,7$). При $P_y(t \leq t_3) < P_{y \text{ норм}}$ следует ожидать превышения времени стоянки самолета при оперативном ТО, что может привести к задержке рейса и, следовательно, к нарушению регулярности полетов. По результатам анализа показателя $P_y(t \leq t_3)$, делается вывод о влиянии отказов изделий ФС на регулярность полетов. В выводах по результатам анализа следует выделить те изделия ФС, отказы которых влияют на регулярность полетов.

3.3. Выбор рациональных стратегий ТО изделий ФС (подсистемы)

В зависимости от имеющихся возможностей определения работоспособного состояния изделий в процессе эксплуатации и от принятого критерия для установления сроков их замен на самолете различают следующие стратегии эксплуатации (использования): до выработки ресурса (срока службы), до отказа, до предотказного состояния.

Выбор наиболее рациональной стратегии использования изделий производится в соответствии со схемами рис. 3.6 и рис. 3.7 с учетом результатов анализа, выполненного в предыдущих разделах курсовой работы.



Рис. 3.6. Последовательность действий при выборе стратегий использования изделий ФС

Стратегии эксплуатации (использования) изделий ФС ЛА связаны со стратегиями ТО. Различают стратегии: техническое обслуживание по наработке (ТОНАР); техническое обслуживание по состоянию с контролем параметров (ТОСКП); техническое обслуживание по состоянию с контролем уровня надежности (ТОСКУН).

При ТОНАР перечень и периодичность выполнения операций определяются значением наработки изделия с начала эксплуатации или после капитального ремонта.

Техническое обслуживание по состоянию характеризуется тем, что перечень и периодичность выполнения операций определяется фактическим техническим состоянием изделия.

При ТОСКП изделие используется до предотказного состояния. Критерием технического состояния изделия является значение контролируемого параметра или совокупности параметров.

При ТОСКУН изделие используется до отказа, межремонтный ресурс не устанавливается, ТО содержит работы по регулировке, калибровке, обнаружению отказов и их устранению. Критерием технического состояния является уровень надежности совокупности однотипных изделий.

Для каждой стратегии эксплуатации (использования) можно выбрать вполне определенные, отличающиеся наибольшей эффективностью стратегии технического обслуживания (обозначены знаком «+» в табл. 3.5).

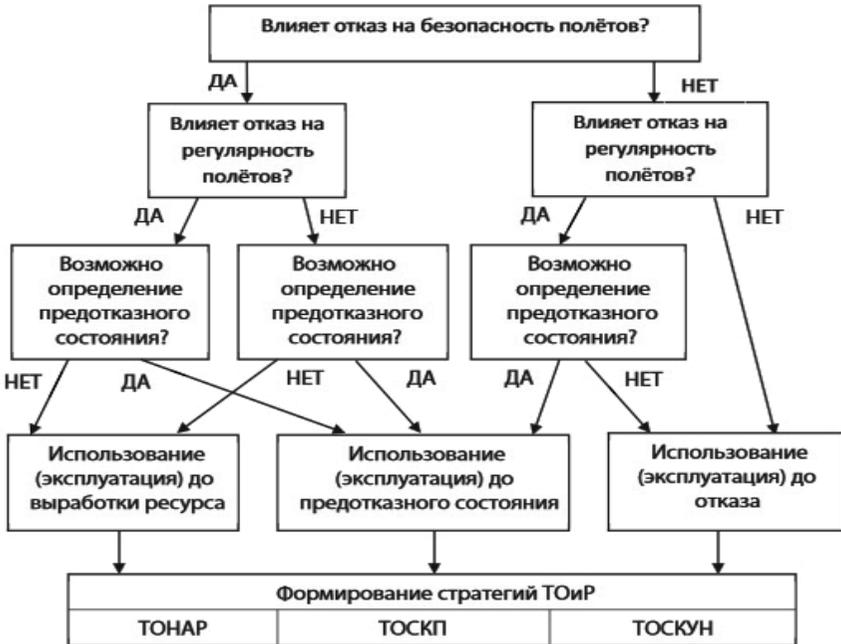


Рис. 3.7. Логическая схема выбора рациональных стратегий использования и стратегий ТО для изделий ФС

Таблица 3.5

Взаимосвязь стратегий эксплуатации ТО изделий ФС

Стратегии эксплуатации(использования)	Стратегии ТО		
	по наработке	по состоянию с контролем параметров	по состоянию с контролем уровня надёжности
	ТОНАР	ТОСКП	ТОСКУН
До выработки ресурса	→ ⊕	↑ -	↑ -
До предотказового состояния	→ -	⊕	↑ -
До отказа	→ -	→ -	⊕

Таблица 3.6

Структура ТО изделий функциональных систем

Стратегия ТО	Стратегия эксплуатации	Применимость	Состав ТО
ТОНАР	Изделия эксплуатируются до выработки ресурса (срока службы)	Отказы изделий влияют на безопасность полетов; процессы старения, износа, коррозии	- установление ресурса (срока службы); - определение периодичности профилактических работ; - определение объемов периодических форм ТО.
ТОСКУН	Изделия эксплуатируются до безопасного отказа	Отказы изделий не влияют на безопасность полетов; восстановление отказов не нарушает требования регулярности вылетов ЛА; легкосъемность, доступность, индикация отказа	- ресурс до ремонта не устанавливается; - устанавливается допустимый уровень безотказности однотипных изделий; - определяется календарная периодичность контроля уровня безотказности; - определяются объемы и периодичность выполнения профилактических работ.

Продолжение табл. 3.6			
ТОСКП	Изделия эксплуатируются до предотказного состояния	Дорогостоящие системы изделия с высокой степенью значимости; отказы могут влиять на безопасность полетов; недостаточная степень резервирования; высокий уровень контролепригодности	- ресурс до ремонта не устанавливается; - устанавливаются упреждающие допуски на контролируемые параметры; - устанавливается периодичность контроля; - выполняется подбор диагностирующей аппаратуры; - определяются объемы и периодичность работ.

Результаты логического выбора стратегий использования изделий рассматриваемой ФС в соответствии со схемами, приведенными на рис. 3.6 и рис. 3.7, и последующее формирование наиболее рациональных стратегий ТО изделий, в соответствии с табл. 3.5 и табл. 3.6, должны быть обобщены и представлены по форме табл. 3.7.

Таблица 3.7

Результаты выбора стратегий ТО изделий ФС

№ п/п	Наименование изделий (по табл. 3.2)	Влияет отказ изделия на безоп. полёта?	Влияет отказ изделия на регулярн. вылетов?	Возможно определение предотказного состояния?	Выбранная стратегия использования изделия	Рекомендуемая стратегия ТО изделия
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
...						

Примечание: ответы на вопросы в графах 3, 4, 5 даются в форме «да», «нет».

3.4. Формирование оптимального регламента ТО / Программы ТО ЛА на примере ФС (подсистемы)

Формирование оптимального регламента ТО / Программы ТО функциональной системы ЛА выполняется в два этапа:

1 этап: определение оптимальной периодичности технического обслуживания изделий – $t_{пр.опт}$.

2 этап: группировка работ по техническому обслуживанию изделий в оптимальные формы регламента ТО / Программы ТО ФС.

3.4.1. Определение периодичности ТО изделий ФС

Под периодичностью ТО изделий ($t_{\text{ТР}}$) понимается интервал времени или наработки между данным видом ТО и последующим таким же видом или другим большей сложности.

Назначение сроков проведения ТО подразумевает определение оптимальной периодичности выполнения работ по ТО ($t_{\text{ТР.ОПТ}}$) для каждого изделия заданной ФС в соответствии с принципиальной схемой системы (см. раздел 3.1). В зависимости от эксплуатационно-технических характеристик изделий ФС определение $t_{\text{ТР.ОПТ}}$ производится различными методами (табл. 3.8) с использованием различных критериев оптимизации (табл. 3.9).

Выбор нужного критерия осуществляется в зависимости от:

- вида выполняемых на изделии регламентных работ в соответствии с принятым перечнем;
- условий поставленной задачи (что требуется получить: максимум безопасности, регулярности, исправности, экономической эффективности?).

В большинстве случаев для определения периодичности ТО отдельных изделий используются вероятностные методы.

При решении данной задачи студент определяет оптимальную периодичность ТО для каждого из изделий заданной ФС, подбирая для каждого из них "свой" критерий в соответствии с табл. 3.9.

Таблица 3.8

Классификация методов определения $t_{\text{ТР.ОПТ}}$ для изделий ФС

№ п/п	Степень влияния отказа изделия на безопасность полётов	Рекомендованная стратегия ТО	Наименование метода
1	2	3	4
1	Отказ влияет на безопасность полётов	ТОНАР	Индивидуальный
2	Отказ не влияет на безопасность полётов	ТОСКУН	С учётом трудоёмкости ТО
3	Отказ влияет на безопасность полётов, возможно определить предотказное состояние	ТОСКП	С учётом развития неисправности в отказ

Математическое обеспечение и критерии оптимизации

N п/п	Математическое обеспечение метода	Критерий оптимизации	Примечание
1	$P(t_{\text{ПР}}) = e^{-\omega_0 \cdot t_{\text{ПР}}}$	$P(t_{\text{ПР}}) \geq P_{\text{НОРМ}}$	$P_{\text{НОРМ}}$ – задаётся из условия обеспечения безопасности полётов. $P(t_{\text{ПР}})$ – вероятность безотказной работы за $t_{\text{ПР}}$. ω_0 - параметр потока отказа.
2	$\Pi(t_{\text{ПР}}) = \frac{P(t_{\text{ПР}})}{T_{\text{ТОиР}}(t_{\text{ПР}})}$	$\Pi(t_{\text{ПР}}) \rightarrow \max$	$T_{\text{ТОиР}}$ – трудоёмкость ТОиР изделия, чел.-ч.
3	$P_{\text{Н,0}}(t_{\text{ПР}}) = \frac{\omega_{\text{Н}}}{\omega_0 - \omega_{\text{Н}}} \cdot (e^{-\omega_{\text{Н}} \cdot t_{\text{ПР}}} - e^{-\omega_0 \cdot t_{\text{ПР}}})$	$P_{\text{Н,0}}(t_{\text{ПР}}) \rightarrow \max$	$P_{\text{Н,0}}$ – вероятность появления неисправности и неоявления отказа изделия за $t_{\text{ПР}}$. $\omega_0, \omega_{\text{Н}}$ – параметры потока отказов и неисправностей, соответственно.

Для изделий, безотказность которых влияет на безопасность полётов и для которых не представляется возможным определить предотказное состояние в связи с отсутствием контролируемого параметра или средств диагностирования, рекомендуется применять индивидуальный метод определения $t_{\text{ПР.ОПТ}}$. Графическая интерпретация метода представлена на рис. 3.8.

Исходной информацией для расчета является характеристика безотказности рассматриваемого изделия - параметр потока отказов $\omega_0(t)$, значения которого даны в Приложении 3.

Вероятность безотказной работы изделия за период между формами ТО $P(t_{\text{ПР}})$ определяется подстановкой различных значений $t_{\text{ПР}}$ в основное уравнение метода:

$$P(t_{\text{ПР}}) = e^{-\omega_0 \cdot t_{\text{ПР}}} \quad (3.19)$$

Результаты расчета для изделий, оптимальная периодичность ТО которых определяется по критерию $P(t_{\text{ПР}}) \geq P_{\text{НОРМ}}$, сводятся в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Результаты расчета $t_{\text{ПР.ОПТ}}$ изделий ФС

Наименование изделия	$t_{\text{ПР}}$	$P(t_{\text{ПР}})$	$t_{\text{ПР.ОПТ}}$

Для определения $t_{\text{ПР.ОПТ}}$ рекомендуется использовать $P_{\text{НОРМ}} \geq 0,9800$.

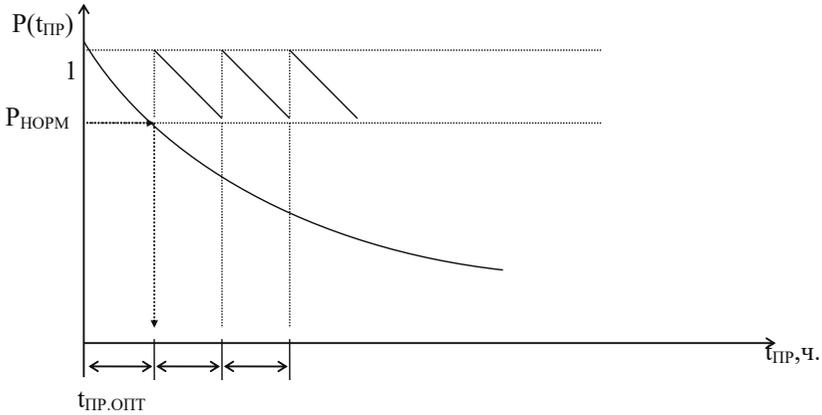


Рис. 3.8. Схема определения $t_{\text{ПР.ОПТ}}$ изделий ФС индивидуальным методом

Для изделий, отказы которых не оказывают заметного влияния на безопасность полётов, определение оптимальной периодичности осуществляют с учетом экономических показателей. В данном случае максимизируется отношение вероятности безотказной работы изделия в межпрофилактический период $P(t_{\text{ПР}})$ к трудоемкости его технического обслуживания (и текущего ремонта) за $t_{\text{ПР}}$ с учетом устранения отказов в случаях их появления ($T_{\text{ТОиР}}$).

$$\Pi(t_{\text{ПР}}) = \left[\frac{P(t_{\text{ПР}})}{T_{\text{ТОиР}}} \right]_{\text{max}} ; \quad (3.20)$$

В данном случае $T_{\text{ТОиР}}$ представляется в виде двух слагаемых:

- 1) трудоемкости плановых (профилактических) работ $T_{\text{ТО}}$;
- 2) трудоёмкости работ по устранению неисправностей и отказов (текущего ремонта) $T_{\text{Р}}$.

$$T_{\text{ТОиР}} = T_{\text{ТО}} + T_{\text{Р}} \quad (3.21)$$

В свою очередь

$$T_{\text{ТО}} = \overline{T_{\text{ТО}}} \cdot \frac{\tau_{\text{ПР}}}{t_{\text{ПР}}} ; \quad (3.22)$$

$$T_{\text{Р}} = \overline{T_{\text{Р}}} \cdot \omega_0 \cdot t_{\text{ПР}} ; \quad (3.23)$$

где: \bar{T}_{TO} , \bar{T}_P - средние значения трудоемкости разового планового обслуживания и устранения неисправности или отказа, соответственно; t_{TP} - действующая периодичность ТО изделия; t_{TP} - варьируемая периодичность ТО; ω_0 - параметр потока отказов изделия (статистическая оценка).

Развернутое выражение для определения $\Pi(t_{TP})$ имеет вид:

$$\Pi(t_{TP}) = \left[\frac{e^{-\omega_0 \cdot t_{TP}}}{\bar{T}_{TO} \cdot \frac{\tau_{TP}}{t_{TP}} + \bar{T}_P \cdot \omega_0 \cdot t_{TP}} \right]_{max} \quad (3.24)$$

Необходимые для расчета исходные данные можно получить из приложения 3.

Для тех изделий ФС, из числа включенных в приложение 3, оптимальная периодичность ТО которых определяется по критерию $\Pi(t_{TP}) \rightarrow \max$, результаты расчета представляются в форме табл. 3.11.

Таблица 3.11

Результаты расчета $T_{ТОиР}$, Π и $t_{TP.ОПТ}$

№ п/п	t_{TP}	$P(t_{TP})$	T_{TO}	T_P	$T_{ТОиР}$	$\Pi(t_{TP})$	$t_{TP.ОПТ}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							
...							
n							

В графе 2 задаются различные значения t_{TP} . Определяются значения $P(t_{TP})$, $T_{ТОиР}$, $\Pi(t_{TP})$ и для одного из изделий дается графическое изображение зависимостей $P(t_{TP})$, $T_{ТОиР}$ и $\Pi(t_{TP})$ от t_{TP} (рис. 3.9).

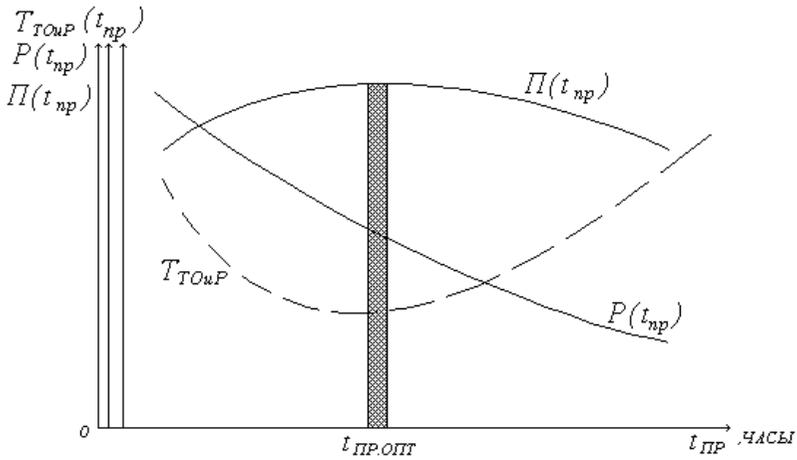


Рис. 3.9. Характер изменения $P(t_{нр})$, $T_{ТОиР}$, $\Pi(t_{нр})$ в зависимости от $t_{нр}$

Оптимальное значение $t_{нр,опт}$ находится в зоне максимального значения $\Pi(t_{нр})_{max}$.

Для изделий, влияющих на безопасность полетов, применяется метод, основанный на анализе закономерностей развития отказов. Предполагается, что с устранением неисправностей в установленные сроки предупреждается развитие отказов (рис. 3.10).

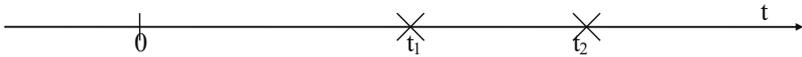


Рис. 3.10. Модель развития отказа:

- 0 - t_1 - время развития неисправности;
- t_1 - момент появления неисправности;
- $t_1 - t_2$ - время развития отказа;
- t_2 - момент возникновения отказа.

Для оптимизации сроков выполнения ТОиР максимизируется вероятность совместного события - возникновение неисправности и не появление отказа $P_{H\bar{O}}(t)$:

$$P_{H\bar{O}}(t_{нр}) = \left[\frac{\omega_H}{\omega_0 - \omega_H} \cdot (e^{-\omega_H t_{нр}} - e^{-\omega_0 t_{нр}}) \right]_{max}; \quad (3.25)$$

где $t_{\text{ПР}}$ - периодичность ТО;

$\omega_{\text{Н}}, \omega_0$ - параметр потока неисправностей и отказов, соответственно.

Необходимые для расчёта исходные данные для тех изделий, периодичность которых определяется по критерию $P_{\text{Н},\bar{\text{O}}}(t_{\text{ПР}}) \rightarrow \max$, ($\omega_{\text{Н}}$ и ω_0) можно получить из Приложения 3. Результаты расчёта представляются в форме табл. 3.12.

Таблица 3.12

Результаты расчёта $P_{\bar{\text{Н}}}(t_{\text{ПР}}), P_{\text{O}}(t_{\text{ПР}}), P_{\text{Н},\bar{\text{O}}}(t_{\text{ПР}})$ и $t_{\text{ПР.ОПТ}}$

№ п/п	$t_{\text{ПР}}$	$P_{\bar{\text{Н}}}(t_{\text{ПР}})$	$P_{\text{O}}(t_{\text{ПР}})$	$P_{\text{Н},\bar{\text{O}}}(t_{\text{ПР}})$	$t_{\text{ПР.ОПТ}}$
1	2	3	4	5	6
1					
2					
...					
n					

В графе 2 задаются различные значения $t_{\text{ПР}}$. Определяются значения: $P_{\bar{\text{Н}}}(t_{\text{ПР}}) = e^{-\omega_{\text{Н}} t_{\text{ПР}}}$; $P_{\text{O}}(t_{\text{ПР}}) = 1 - e^{-\omega_0 t_{\text{ПР}}}$; $P_{\text{Н},\bar{\text{O}}}(t_{\text{ПР}})$ по выражению (3.25), а для одного из изделий дается графическое изображение зависимостей $P_{\bar{\text{Н}}}(t_{\text{ПР}})$, $P_{\text{O}}(t_{\text{ПР}})$ и $P_{\text{Н},\bar{\text{O}}}(t_{\text{ПР}})$ от $t_{\text{ПР}}$ (рис. 3.11).

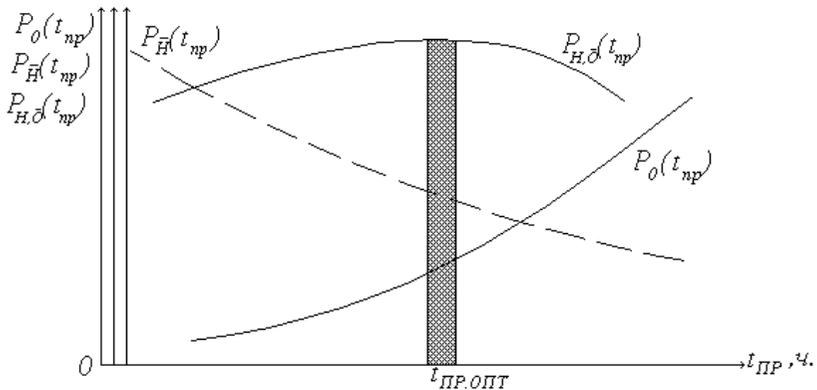


Рис. 3.11. Характер изменения $P_{\bar{\text{Н}}}(t_{\text{ПР}}), P_{\text{O}}(t_{\text{ПР}}), P_{\text{Н},\bar{\text{O}}}(t_{\text{ПР}})$ в зависимости от $t_{\text{ПР}}$

Оптимальные значения $t_{\text{ПР.ОПТ}}$ будут при максимальном значении $P_{\text{Н},\bar{\text{O}}}(t_{\text{ПР}})_{\max}$.

Итоговые результаты определения $t_{\text{пр.опт}}$ для всех изделий ФС (в соответствии с Приложением 3) с использованием различных методов представляются в форме табл. 3.13.

Таблица 3.13

Результаты определения $t_{\text{пр.опт}}$ изделий ФС

Наименование изделия	Влияние отказов изделий на безопасность полётов	Используемый метод определения $t_{\text{пр.опт}}$	Значение $t_{\text{пр.опт}}$, ч	Трудоёмкость операции ТО изделия при $t_{\text{пр.опт}}$
1	2	3	4	5
1				
2				
...				
n				

Примечание: в графе 2 указывается «да», «нет»; в графе 5 проставляются данные табл. 3.10 (графа 6).

3.4.2. Группировка работ по ТО изделий в формы регламента ТО / Программы ТО ФС

При решении задачи группировки работ по техническому обслуживанию следует иметь ввиду следующее: вся совокупность изделий ФС, в зависимости от последствий их отказов при эксплуатации, подразделяется на две группы:

- к 1-й группе относятся изделия, отказ которых оказывает непосредственное влияние на безопасность полетов;
- к 2-й группе относятся изделия, отказы которых не оказывают заменного влияния на безопасность полетов.

В зависимости от этого при группировке работ по ТО изделий в формы регламента ТО / Программы ТО используются разные схемы и критерии.

Один из подходов к задаче группировки работ по ТО изделий состоит в том, что наилучший вариант структуры регламента ТО / Программы ТО выбирается по критерию минимума дополнительных затрат трудоемкости на проведение технического обслуживания ФС.

Также может использоваться и другой подход, когда наилучший вариант структуры регламента ТО / Программы ТО выбирается по критерию минимума дополнительных затрат стоимости ТО.

В конечном счете задача группировки индивидуальных периодичностей ТО изделий ($t_{\text{пр.опт}}$) в формы регламента ТО / Программы ТО заключается в том, чтобы получить наилучший (с точки зрения дополнительных затрат в отношении трудоемкости и стоимости) вариант структуры регламента ТО / Программы ТО ФС (числа форм ТО и периодичности их выполнения).

К I группе относятся изделия, $t_{\text{пр.опт}}$ которых определяется по критериям $P(t_{\text{пр}}) \geq P_{\text{норм.}}$ и $P_{\text{н.о.}}(t_{\text{пр}}) \rightarrow \max$.

Ко II группе относятся изделия, $t_{\text{пр.опт}}$ которых определяется по критерию $P(t_{\text{пр}}) \rightarrow \max$.

Схемы группировки работ по ТО изделий в формы регламента ТО / Программы ТО для каждой из групп представлены на рис. 3.12 и 3.13 соответственно.

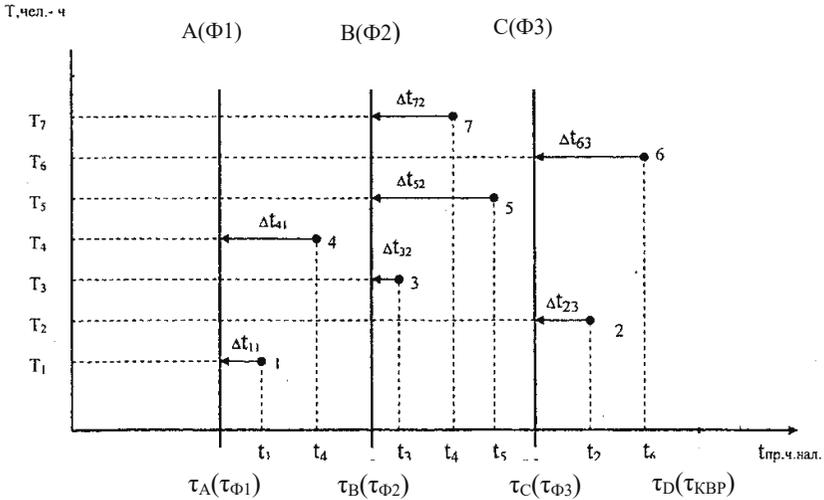


Рис. 3.12. Схема группировки работ по ТО изделий в формы регламента ТО / Программы ТО ФС (для изделий I группы)

На схеме в качестве примера условно представлены значения $t_{\text{нр.онм}}(t_1, t_2, \dots, t_7)$ для семи изделий и трудоемкости работ по техническому обслуживанию $T_i (T_1, T_2, \dots, T_7)$.

Цифрами 1, 2, ... 7 обозначены номера изделий ФС. Работы по техническому обслуживанию этих изделий связаны с предотвращением появления опасных отказов и должны выполняться с периодичностью t_i , не превышающей $t_{\text{нр.онм } ij} (t_i \leq t_{\text{нр.онм}})$ для каждого i -го изделия.

Рассмотрим случай группировки операций ТО изделий ФС с оптимальной для каждого из них периодичностью $t_{\text{пр.опт}}$ в заданные формы регламента ТО / Программы ТО для ЛА: А(Ф-1), В(Ф-2), С(Ф-3) выполняемых с периодичностью $\tau_A(\tau_{\Phi 1})$, $\tau_B(\tau_{\Phi 2})$, $\tau_C(\tau_{\Phi 3})$, соответственно. Значения периодичности даны в Приложении 4.

Из рассмотрения схемы, приведенной на рис. 3.12, следует, что при группировке работ в соответствующую j -ю форму регламента ТО / Программы ТО потеря по наработке для каждого i -го изделия составит Δt_{ij} . Трудоемкость T_i , приходящаяся на 1 час наработки i -го изделия, составит T_i/t_i . Убытки из-за

увеличения трудоемкости от совмещения работ для i -го изделия составят $T_i/t_i \cdot \Delta t_{ij}$. Для всей группы изделий (группа 1) разовые дополнительные затраты трудоемкости ΔT_i^p определяются из выражения:

$$\Delta T_i^p = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_i} \frac{T_i}{t_i} \cdot \Delta t_{ij}, [\text{чел. ч}] \quad (3.26)$$

где i - порядковый номер изделия;

n_i - количество изделий в i -ой группе;

j - порядковый номер формы регламента ТО / Программы ТО;

k - количество форм регламента ТО / Программы ТО;

T_i - трудоемкость технического обслуживания i -го изделия;

t_i - оптимальная периодичность ТО i -го изделия;

Δt_{ij} - потери по наработке от совмещения $t_{\text{пр.опт.}}$ с j -й формой регламента ТО / Программы ТО.

С учетом того, что за цикл форм ТО, определяемой периодичностью самой трудоемкой формы, менее трудоемкие формы повторяются несколько раз, дополнительные затраты трудоемкости будут намного больше и составят:

$$\Delta T_i = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{T_i}{t_i} \cdot \Delta t_{ij} \right) \cdot n_j, [\text{чел. ч}] \quad (3.27)$$

где n_j - количество j -й формы регламента ТО / Программы ТО повторяющейся за цикл.

Для рассматриваемого примера (рис. 3.12) имеем:

$$\Delta T_i = \frac{T_1}{t_1} \cdot \Delta t_{11} + \frac{T_2}{t_2} \cdot \Delta t_{21} + \frac{T_3}{t_3} \cdot \Delta t_{32} + \frac{T_4}{t_4} \cdot \Delta t_{42} + \frac{T_5}{t_5} \cdot \Delta t_{53}. \quad (3.28)$$

При группировке работ для отдельных изделий, требующих больших трудозатрат на ТО, потери по наработке Δt_i могут быть сравнительно велики. Для таких изделий можно оставить индивидуальную периодичность, желательную совмещенную с очередной наступающей формой А(Ф-1).

На рис. 3.13 представлены периодичности $t_{\text{пр.опт}}$ и трудоемкости T_i ТО 4-х изделий ФС, отказы которых не влияют на безопасность полетов (II группа). Для группировки операций ТО используется критерий минимальных трудозатрат ($\min T_i$).

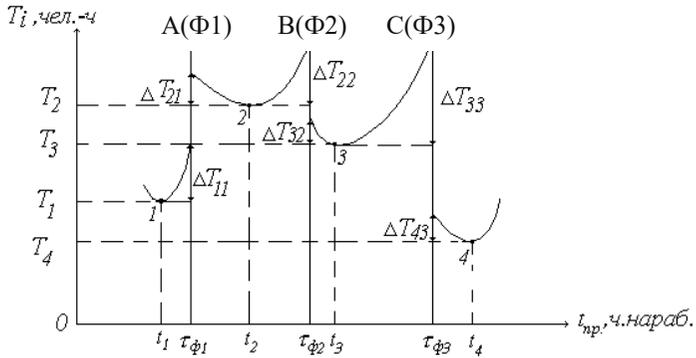


Рис. 3.13. Схема группировки работ по ТО изделий в оптимальные формы регламента ТО / Программы ТО ФС (для изделий II группы)

Чтобы обеспечить выполнение критерия $\min \Delta T_i$ для каждого i -го изделия необходимо построить зависимость $T_i = f(t_{np})$, сравнить убытки по трудоемкости ТО i -го изделия при условии выполнения операций на одной из двух соседних форм регламента ТО / Программы ТО (ΔT_{ij}) и выбрать $\Delta T_{ij \min}$. Зависимости $T_i = f(t_{np})$ для рассматриваемых изделий можно построить с использованием данных, приведенных в табл. 3.11 (графы 2 и 6) или с использованием формул 3.21 - 3.23.

Величины ΔT_{ij} вычисляются подстановкой $t_{np} = \tau_{\phi j}$ в расчетные формулы 3.21 - 3.23; $\tau_{\phi j}$ - периодичность выполнения j -ой формы регламента ТО / Программы ТО ЛА.

В целях упрощения расчетов можно с использованием формул (3.21-3.23) определить точки зависимости $T_i = f(t_{np})$ для двух соседних форм ТО ($t_{np} = \tau_{\Lambda(\Phi 1)}$, $t_{np} = \tau_{B(\Phi 2)}$ или $t_{np} = \tau_{B(\Phi 2)}$, $t_{np} = \tau_{C(\Phi 3)}$). Далее необходимо сравнить дополнительную трудоемкость (ΔT_i) i -го изделия при условии выполнения операций на одной из двух соседних форм регламента ТО / Программы ТО и выбрать $\Delta T_{ij \min}$.

Для всей группы изделий (группа 2) разовые дополнительные затраты трудоемкости ΔT_{II}^p определяются из выражения:

$$\Delta T_{II} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_{II}} \Delta T_{ij \min} \quad , \quad (3.29)$$

где $\Delta T_{ij \min}$ - минимальные убытки по трудоемкости ТО i -го изделия на j -ой форме регламента ТО / Программы ТО;

i - порядковый номер изделия;

n_{II} - количество изделий во II-ой группе;

j - порядковый номер формы регламента ТО / Программы ТО;

k - количество форм регламента ТО / Программы ТО.

Для рассматриваемого примера (рис. 3.13) имеем:

для изделия 1: $\Delta T_{11 \min} = \Delta T_{11}$;

для изделия 2: $\Delta T_{21} < \Delta T_{22}$; $\Delta T_{21 \min} = \Delta T_{21}$;

для изделия 3: $\Delta T_{32} < \Delta T_{33}$; $\Delta T_{32 \min} = \Delta T_{32}$;

для изделия 4: $\Delta T_{43 \min} = \Delta T_{43}$.

Здесь так же, как и для изделий 1-й группы, следует учесть повторяемость за цикл форм технического обслуживания А(Ф-1) и В(Ф-2).

Следовательно, дополнительные затраты трудоемкости для всех изделий 2-ой группы составят:

$$\Delta T_{II} = \Delta T_{11} \cdot n_{A(\Phi 1)} + \Delta T_{21} \cdot n_{B(\Phi 2)} + \Delta T_{32} + \Delta T_{43}.$$

Для изделий 2-ой группы так же, как и для 1-ой группы, выполняются те же варианты расчета, с тем же числом форм ТО и с той же периодичностью их проведения. Из всех вариантов выбирается наилучший ($\Delta T_{2 \min}$).

Наилучший вариант регламента ТО / Программы ТО с учетом двух групп изделий выбирается по критерию:

$$\Delta T = (\Delta T_I + \Delta T_{II})_{\min},$$

Величина дополнительной трудоемкости, связанной с группировкой работ в формы регламента ТО / Программы ТО, должна быть минимальной.

В качестве основы для решения задачи группировки операций ТО изделий ФС в оптимальные формы регламента ТО / Программы ТО используются следующие варианты:

- 1) базовый - действующая периодичность в соответствии с Приложением 4;
- 2) расчетный - периодичность форм выбираются студентом самостоятельно на основе анализа материалов в подразделе 3.4.1, и в табл. 3.13.

Результаты расчетов для каждого варианта регламента ТО / Программы ТО по I и II группам изделий оформляются по форме табл. 3.14.

Таблица 3.14

Выбор оптимального регламента ТО / Программы ТО ФС

Вариант регламента ТО / Программы ТО	Периодичность форм ТО ФС, ч. нар.			ΔT_I чел.-ч.	ΔT_{II} чел.-ч.	ΔT чел.-ч.
	$\tau_A (\tau_{\Phi 1})$	$\tau_B (\tau_{\Phi 2})$	$\tau_C (\tau_{\Phi 3})$			
1	2	3	4	5	6	7
Базовый						
Расчётный						

В результате оценки дополнительных затрат трудоемкости ТО, наилучший вариант выбирается из обеспечения условия - $\Delta T_{\text{расч}} < \Delta T_{\text{збаз}}$. При

не соответствии данного условия, выбор расчетного варианта подлежит корректировке в сторону увеличения периодичности форм ТО.

Опыт эксплуатации ВС показывает, что одним из основных направлений совершенствования ПТЭ является увеличение периодичности отдельных работ по ТОиР и форм ТО в целом. Необходимость увеличения периодичности ТОиР обуславливается задачами оптимизации программ ТОиР в плане снижения удельных затрат на ТОиР на основе опыта эксплуатации и информации от поставщика самолета [6].

3.5. Построение модели ПТЭ ЛА и расчет показателей его эффективности

Конечной целью курсовой работы является проектирование эффективного процесса технической эксплуатации (ПТЭ) ЛА в соответствии с заданными условиями эксплуатации (Приложение 7).

ПТЭ ЛА представляет собой последовательную во времени смену состояний эксплуатации: полет, техническое обслуживание, ремонт, ожидание технического обслуживания, доработки, готовность и др. Для оценки эффективности ПТЭ применяется совокупность показателей, представленных в табл. 3.15. Обеспечение эффективности проектируемого ПТЭ ЛА производится по схеме, представленной на рис. 3.14.

Таблица 3.15

Совокупность показателей эффективности ПТЭ ЛА

Критерий эффективности ПТЭ	Показатели эффективности ПТЭ ЛА			
	обозначение	наименование	определение	единицы измерения
1	2	3	4	5
1.Регулярность вылетов ЛА	$P_{100\text{ TP}}$	Коэффициент регулярности вылетов	Отношение количества вылетов, выполненных без задержки по техническим причинам, к общему количеству вылетов за рассматриваемый период эксплуатации.	%
2.Использование ЛА	$K_{\text{И}}$	Коэффициент использования ЛА по назначению.	Отношение налёта парка самолётов к календарному фонду времени их эксплуатации за рассматриваемый период эксплуатации.	%

Критерий эффективности ПТЭ	Показатели эффективности ПТЭ ЛА			
	обозначение	наименование	определение	единицы измерения
1	2	3	4	5
	К _{ИР}	Коэффициент использования ЛА в рейсах.	Отношение налёта парка самолётов и их простоев в состояниях, связанных с обеспечением полётов, к календарному фонду времени эксплуатации за рассматриваемый период.	%
	К _{ВИР}	Коэффициент возможного использования ЛА в рейсах.	Отношение налёта парка самолётов, их простоев в состояниях, связанных с обеспечением полётов, и простоев в исправном состоянии к календарному фонду времени эксплуатации за рассматриваемый период.	%
3.Исправность парка ЛА	К _П	Удельные суммарные простои на ТОиР.	Отношение суммарных простоев на ТОиР к налёту парка ЛА за рассматриваемый период эксплуатации.	ч/ч.нал.
	К _{ИСПР}	Коэффициент исправности.	Отношение фонда времени ЛА в исправном состоянии, включая полёты, к общему календарному фонду времени за рассматриваемый период.	%
4.Экономичность ТОиР	К _Т	Удельная суммарная трудоемкость ТОиР.	Отношение суммарной трудоёмкости ТОиР к налёту парка ЛА за рассматриваемый период эксплуатации.	чел.-ч/ ч.нал

3.5.1. Построение модели ПТЭ и определение характеристик его состояний

Для оценки эффективности технической эксплуатации используется полумарковская модель ПТЭ. Состояния ПТЭ и последовательность переходов ЛА из состояния в состояние иллюстрируется графом. На рис. 3.15. представлен примерный граф состояний и переходов ПТЭ ЛА. Перечень возможных состояний и их границы определены Инструкцией по почасовому учету исправности и использования самолетов (табл. 3.16).

При построении модели проектируемого ПТЭ ЛА используются: примерный граф (рис. 3.15); перечень возможных состояний ПТЭ ЛА (табл. 3.16); заданные условия эксплуатации парка ЛА (приложение 7), а также данные, полученные в предыдущих разделах курсовой работы.

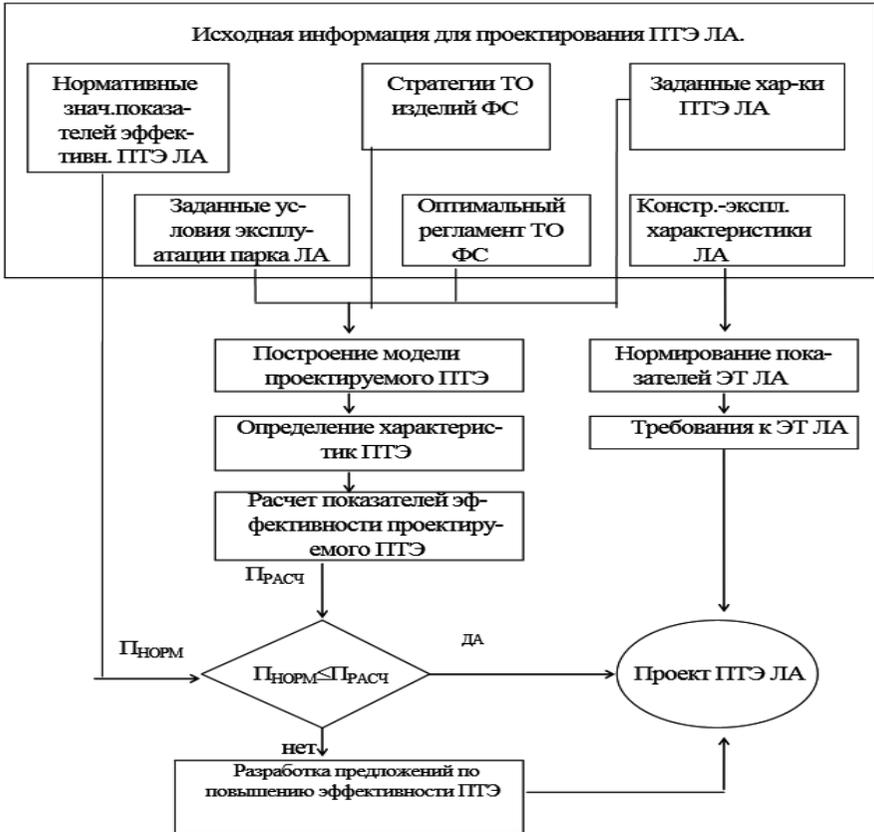


Рис. 3.14. Блок-схема обеспечения эффективности проектируемого ПТЭ ЛА

Перечень возможных состояний ПТЭ ЛА

Шифр состояния	Наименование состояния	Границы состояния	
		начало	конец
1	2	3	4
П	Полет (использование по назначению)	взлёт	посадка
Е	Подготовка к полету Transit (Ф-А)	начало Transit (Ф-А)	окончание Transit (Ф-А)
Г	Готовность (неиспользуемое для полетов время)	готовность	взлёт
А	Нахождение в резерве	назначение в резерв	снятие из резерва
QW	Ожидание обслуживания по форме Weekly Check (Ф-Б)	посадка	начало Weekly (Ф-Б)
ТW	Оперативное обслуживание по Weekly Check (Ф-Б)	начало Weekly (Ф-Б)	окончание Weekly (Ф-Б)
QПФ	Ожидание обслуживания по формам периодического обслуживания	посадка	начало периодического обслуживания
Т _А (Ф1)	Периодическое обслуживание по форме А-Check (Ф-1)	начало А-Check (Ф1)	окончание А-Check (Ф1)
Т _В (Ф2)	Периодическое обслуживание по форме В-Check (Ф-2)	начало В-Check (Ф2)	окончание В-Check (Ф2)
Т _С (Ф3)	Периодическое обслуживание по форме С-Check (Ф-3)	начало С-Check (Ф3)	окончание С-Check (Ф3)
QD(КВР)	Ожидание Контрольно-восстановительных работ D(КВР)	посадка	Начало D(КВР)
D(КВР)	Контрольно-восстановительные работы D(КВР)	Начало D(КВР)	окончание D(КВР)
У	Устранение неисправностей	окончание ТО	время готовности
З	Ожидание запасных частей	окончание ТО	время готовности
Дв	Ожидание поступления двигателей	окончание ТО	время готовности
Д	Доработки по бюллетеням	начало доработок	окончание доработок
Ж	Рекламации промышленности	обнаружение неисправности	устранение неисправности
Зв	Задержка вылета	начало задержки	окончание задержки

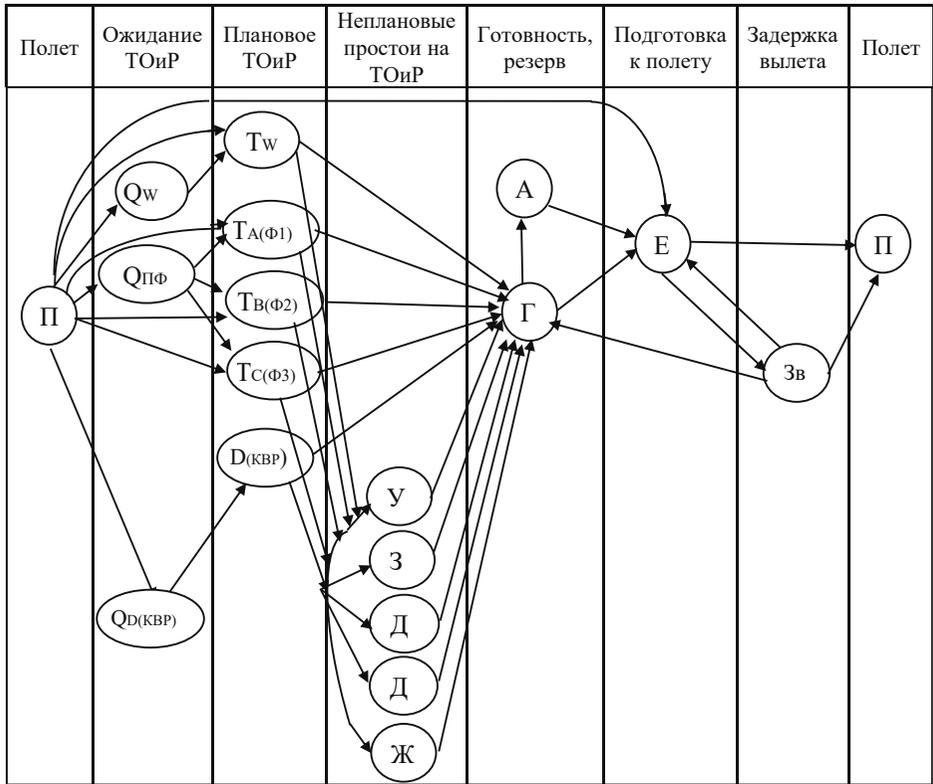


Рис. 3.15. Примерный граф состояний и переходов ПТЭ ЛА

Обозначения состояний по табл. 3.17.

Основными характеристиками модели являются: количество состояний проектируемого ПТЭ - N ; количество попаданий ЛА в каждое из состояний - n_i ; относительная частота попаданий в состояние - π_i ; среднее время пребывания в состоянии - μ_i ; средние трудозатраты в состояниях ТО и Р - τ_i .

Характеристики модели проектируемого ПТЭ: n_i , π_i , μ_i , τ_i , а также $\pi_i \cdot \mu_i$, $\pi_i \cdot \tau_i$ определяются для каждого из состояний N (1, 2, ..., i , ..., N) за рассматриваемый период эксплуатации (1 год) всего парка ЛА с учетом условий их эксплуатации, заданных в Приложении 7.

Определение характеристик модели осуществляется с использованием данных табл. 3.16.

Последовательно определяются характеристики: n_i - по формулам табл. 3.17.

Таблица 3.17

Формирование характеристик проектируемого ПТЭ ЛА

Характеристика			Способ определения формула	Примечание
№ п/п	Наименование	Обозн.		
1	2	3	4	5
1	Количество состояний ПТЭ	N	Определяется по количеству состояний графа проектируемого ПТЭ с учётом заданных условий эксплуатации (номер варианта).	Заданные условия эксплуатации парка ЛА за 1 год эксплуатации (приложение 7)
2	Кол-во попаданий в состояния	n_i	$n_{\Pi} = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{t_{БП}}; n_E = 1,1 \cdot n_{\Pi};$ $n_{Г} = 0,15 \cdot n_{\Pi}; n_{РЕЗ} = 0,1 \cdot n_{\Pi}$ $n_{QW} = n_W;$ $n_W = \frac{365 \cdot N_{ЛА}}{\tau_W} - (n_D + n_A + n_B + n_C);$ $n_{QПФ} = n_{ПФ} = (n_D + n_A + n_B + n_C);$ $n_A = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_A} - (n_B + n_C + n_D);$ $n_B = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_B} - (n_C + n_D);$ $n_C = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_C} - n_D; n_{QD} = n_D;$ $n_D = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_D}; n_V = 0,05 \cdot n_{\Pi};$ $n_3 = 0,15 \cdot n_{ПФ}; n_{ДВ} = 0,05 \cdot n_{ПФ};$ $n_{Д} = 0,1 \cdot n_{ПФ}; n_{Ж} = 0,03 \cdot n_{ПФ};$ $n_{ЗВ} = 0,05 \cdot n_{\Pi}.$	<p>$T_{ГСС}$ – средний годовой налёт на списочный ЛА (приложение 4)</p> <p>$N_{ЛА}$ – заданный объём парка ЛА (приложение 11)</p> <p>$t_{БП}$ – средняя длительность полёта (приложение 4)</p> <p>$\tau_W(\tau_{ФБ})$ – периодичность выполнения формы Weekly Check (Ф-Б) в сутках (приложение 4)</p> <p>$\tau_A(\tau_{Ф1}), \tau_B(\tau_{Ф2}), \tau_C(\tau_{Ф3})$</p> <p>$\tau_D(\tau_{КВР})$ – периодичность выполнения форм, рассчитанная для оптимального регламента ТО / Программы ТО (табл. 3.13).</p> <p>Данную периодичность условно можно принять и для ЛА в целом.</p> <p>$n_{ПФ}$ – общее число попаданий ЛА на периодические формы ТО, включая D(КВР).</p>
3	Относительная частота попадания в состояния	π_i	$\pi_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^N n_i}$	
4	Среднее время пребывания в состоянии, час.	μ_i	$\mu_i = \frac{t_i}{n_i}$ $\mu_{\Pi} = t_{БП}$	t_i -суммарное время пребывания ЛА в i-ом состоянии (прилож. 8).*)

*) Примечание. Перед тем, как определять μ_i по состояниям, необходимо проверить условие: $\sum_{i=1}^N t_i = 8760 \cdot N_{\text{ЛА}}$. При $\sum_{i=1}^N t_i < 8760 \cdot N_{\text{ЛА}}$ недостающий объём часов следует добавить к состоянию А.

Сформированные характеристики состояний ПТЭ ЛА должны быть представлены по форме табл. 3.18.

Таблица 3.18

Характеристики проектируемого ПТЭ ЛА

Состояния	n_i	π_i	t_i	μ_i	τ_i	$\pi_i \cdot \mu_i$	$\pi_i \cdot \tau_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
П							
Е							
...							
...							

3.5.2. Расчет показателей и оценка уровня эффективности проектируемого ПТЭ

Расчет показателей эффективности ПТЭ ЛА выполняется по формулам табл. 3.19. Рассчитываются показатели эффективности проектируемого ПТЭ на основании разработанной модели и сформированных характеристик (табл. 3.18). Состояния, которые в проектируемом ПТЭ отсутствуют согласно заданному варианту (Приложение 7), в расчете показателей не учитываются. Высвободившееся время t_i этих состояний переносится в состояние Г (готовность) или А (резерв).

Таблица 3.19

Расчетные формулы для определения показателей

Показатель	Расчетная формула	Примечание
1	2	3
$P_{100\text{ТП}}$	$P_{100\text{ТП}} = \left(1 - \frac{n_{3g}}{n_{\text{П}}} \right)$	$n_{3в}$, $n_{\text{П}}$ – количество попаданий в состояния Зв и П
$K_{\text{И}}$	$K_{\text{И}} = \frac{\pi_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{н}}}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	π_j , μ_j – характеристики состояния П; π_i , μ_i – характеристики i-го состояния ПТЭ
$K_{\text{ИР}}$	$K_{\text{ИР}} = \frac{\pi_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{н}} + \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	π_j , μ_j – характеристики состояний: Е, Q _W , T _W , Зв
$K_{\text{ВИР}}$	$K_{\text{ВИР}} = \frac{\pi_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{н}} + \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	π_j , μ_j – характеристики состояний: Е, Q _W , T _W , Зв, А, Г.
$K_{\text{П}}$	$K_{\text{П}} = \frac{\sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\pi_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{н}}}$	π_j , μ_j – характеристики состояний: Q _{ПФ} , Q _{КВР} , А(Ф1), В(Ф2), С(Ф3), У, D(КВР), З, Д, Ж, Дв.
$K_{\text{ИСПР}}$	$K_{\text{ИСПР}} = \frac{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i - \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	π_j , μ_j – характеристики состояний: Q _{ПФ} , Q _{КВР} , А(Ф1), В(Ф2), С(Ф3), У, D(КВР), З, Д, Ж, Дв.
$K_{\text{Т}}$	$K_{\text{Т}} = \frac{\sum_j \pi_j \cdot \tau_j}{\pi_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{н}}}$	π_j , τ_j – характеристики состояний: Е, T _W , А(Ф1), В(Ф2), С(Ф3), D(КВР), У, Д.

Результаты расчета оформляются по форме табл. 3.20. Нормативные значения соответствующих показателей $P_{\text{НОРМ}}$ для конкретных типов ЛА представлены в Приложении 10. Оценка уровня эффективности проектируемого ПТЭ производится по критериям обеспечения регулярности, использования, исправности ЛА и экономичности ТОиР путем сравнения соответствующих показателей ПТЭ (расчетных $P_{\text{РАСЧ}}$ и нормативных $P_{\text{НОРМ}}$).

Для оценки уровня эффективности используются относительные показатели

$$\bar{П} = П_{РАСЧ} / П_{НОРМ} \quad (3.30)$$

По результатам оценки принимается решение о соответствии или несоответствии уровня эффективности проектируемого ПТЭ нормативам.

При условии:

$\bar{П} < 1$ - для $K_{П}$, $K_{Т}$;

$\bar{П} > 1$ - для $P_{100\text{ тп}}$, $K_{И}$, $K_{ИР}$, $K_{ВИР}$, $K_{ИСПР}$,

проектируемый ПТЭ соответствует нормативам. При несоблюдении данного условия требуется разработка соответствующих предложений, направленных на повышение эффективности проектируемого ПТЭ ЛА.

Таблица 3.20

Показатели эффективности ПТЭ и оценка уровня его эффективности

Показатели \ Критерий		Регулярность	Использование			Исправность		Экономичность
		$P_{100\text{ тп}}$	$K_{И}$	$K_{ИР}$	$K_{ВИР}$	$K_{П}$	$K_{ИСПР}$	$K_{Т}$
Для проектируемого ПТЭ	$\bar{П}_{РАСЧ}$							
Нормативные	$\bar{П}_{НОРМ}$							
Относительные	$\bar{П}$							
Оценка	Соответствует (+)							
	Не соответствует (-)							

3.5.3. Разработка предложений по совершенствованию процесса технической эксплуатации и улучшению ЭТ ЛА

В качестве основы для разработки предложений принимаются полученные характеристики проектируемого ПТЭ (табл. 3.18) и показатели эффективности ПТЭ (табл. 3.20).

Предложения разрабатываются в двух направлениях: а) в направлении совершенствования процессов технической эксплуатации ЛА; б) в направлении улучшения эксплуатационной технологичности конструкции ЛА.

а) в направлении совершенствования процессов ТЭ ЛА;

Выполняется сравнение полученных фактических значений показателей эффективности ПТЭ (табл. 3.20) с нормативными значениями этих показателей (Приложение 10). При несоответствии условий эффективности проектируемого ПТЭ по относительным показателям, выделяются доминирующие состояния ПТЭ по этим показателям.

Предложения по совершенствованию процессов технической эксплуатации ЛА должны быть разработаны с учетом результатов, полученных в предыдущих разделах курсовой работы, и направлены на уменьшение

количества попаданий ЛА в выделенные доминирующие состояния ПТЭ, а также на сокращение времени пребывания и трудовых затрат в этих состояниях.

б) в направлении улучшения эксплуатационной технологичности конструкции ЛА.

Выполняется сравнение полученных в разделе 3.2. фактических значений обобщенных показателей ЭТ $K_{ОП}$ и $K_{ОТ}$ с нормативными значениями этих показателей для ЛА подобного класса.

Для определения нормативных значений показателей $K_{ОП}$ и $K_{ОТ}$ используется номограммы (Приложение 11), полученные при исследовании большого объема наблюдений за эксплуатацией парка ЛА различных типов. Исходные данные, необходимые для решения этой задачи, приведены в соответствующих приложениях.

Так, исходными данными для определения нормативного значения показателя $K_{ОП}$ для интересующего типа ЛА являются:

$T_{ГСС}$ - средний годовой налет на списочный самолет (Приложение 4);

$K_{СЕЗ}$ - коэффициент сезонности (Приложение 11);

η_1 - статистический коэффициент (Приложение 11).

С помощью номограмм (Приложение 11, рис. П11.1 и рис. П11.2) определяются нормативные значения показателей:

$K_{ОП.О}$ - для оперативного цикла эксплуатации;

$K_{ОП.П}$ - для цикла восстановления.

В сумме значения этих показателей дадут нормативное значение искомого показателя $K_{ОП}$ - удельной суммарной оперативной продолжительности ТОиР ЛА.

Исходными данными для определения нормативного значения показателя $K_{ОТ}$ для интересующего типа ЛА являются:

m_0 - масса конструкции ЛА (Приложение 11);

$t_{БП,ч}$ - длительность беспосадочного полета (Приложение 4);

η_2 - статистический коэффициент (Приложение 11).

С помощью номограмм (Приложение 11, рис. П11.3 и рис. П11.4) определяются нормативные значения показателей: $K_{ОТ.О}$ - для оперативного цикла эксплуатации и $K_{ОТ.П}$ - для цикла восстановления. В сумме значения этих двух показателей составят нормативное значение искомого показателя $K_{ОТ}$ - удельной суммарной оперативной трудоемкости ТОиР ЛА.

Данные о показателях $K_{ОП}$ и $K_{ОТ}$ сводятся в табл. 3.21.

Таблица 3.21

Значения показателей $K_{ОП}$ и $K_{ОТ}$

Показатель	$K_{ОП}$	$K_{ОТ}$
Фактические значения		
Нормативные значения		

В случае существенных (>10%) отклонений фактических значений показателей от нормативных разрабатываются предложения по улучшению эксплуатационной технологичности ЛА. При разработке предложений следует использовать материалы, содержащиеся в главе 7 учебного пособия [3].

Работа над курсовой работой заканчивается изложением «Выводов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов. Учебник. – М.: МГТУ ГА, 2015.
2. Смирнов Н.Н. Научные основы построения системы технического обслуживания и ремонта самолётов ГА. - М.: МГТУГА, 1994.
3. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. - М.: Транспорт, 1994.
4. Деркач О.Я. Формирование систем технического обслуживания самолётов при их создании. - М.: Машиностроение, 1994.
5. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию - 2-е изд. - М.: Транспорт, 1987.
6. Далецкий С.В., Деркач О.Я., Петров А.Н. Эффективность технической эксплуатации самолетов ГА. – М: Воздушный транспорт, 2002.



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра технической эксплуатации летательных аппаратов и
авиационных двигателей (ТЭЛА и АД)**

Техническое задание

на курсовую работу по дисциплине

«Основы теории технической эксплуатации ЛА»

студенту _____, группы _____

I. Задачи, подлежащие решению:

1. Определение показателей безотказности функциональной системы (подсистемы) ЛА.
2. Определение показателей эксплуатационной технологичности ЛА.
3. Выбор рациональных стратегий ТО изделий функциональной системы.
4. Формирование оптимального регламента ТО / Программы ТО ЛА (на примере функциональной системы).
5. Построение модели процесса технической эксплуатации ЛА и расчёт показателей его эффективности.

II. Тип ЛА _____

Функциональная система: _____

Подсистема: _____

Условия эксплуатации: № варианта _____

III. Литература: Яблонский С.Н. Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов [Текст] : пособие по выполнению курсовой работы «Проектирование эффективного процесса технической эксплуатации летательного аппарата» / С.Н. Яблонский, Ю.И. Самуленков, А.Д. Грузд. – М. : ИД Академии Жуковского, 2024. – 64 с.

Руководитель: _____
(должность) (подпись) Ф.И.О.

Студент: _____
(подпись) Ф.И.О.

« _____ » _____ 20__ г



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра технической эксплуатации летательных аппаратов и
авиационных двигателей (ТЭЛА и АД)**

«Проверена»

Руководитель КП

(степень, звание, Ф.И.О.)

(подпись, дата)

«Защищена»

с оценкой _____

Комиссия: _____

(подпись) (Ф.И.О.)

(подпись) (Ф.И.О.)

« __ » _____ 20 __ г

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Основы теории технической эксплуатации ЛА»
на тему
«Проектирование эффективного процесса
технической эксплуатации самолета _____»

(шифр КП)

Курсовую работу выполнил
студент: _____

(Ф.И.О.)

группа _____

(подпись)

(дата)

Москва 20 __ г

Приложение 3

Данные о надежности, действующей периодичности ТО изделий, трудоемкости обслуживания и устранения повреждений и отказов

№ п/п	Наименование ФС и изделий	Параметр потока отказов $\omega_0(t)$	Параметр потока неисправностей $\omega_n(t)$	Среднее время устранения неисправностей $T_{\text{уст}}$, ч	Действующая периодичность ТО изделия $T_{\text{пр}}$, ч	Средняя трудоемкость, чел.-ч.	
						Т _{то}	Т _{пр}
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Гидравлическая система							
1.	Гидробак	$2,5 \cdot 10^{-6}$	-	1,1	750	0,3	1,0
2.	Гидроаккумулятор	$2,0 \cdot 10^{-5}$	-	0,8	750	0,4	1,1
3.	Гаситель пульсаций	$6,5 \cdot 10^{-6}$	-	0,7	750	0,3	0,7
4.	Гидроцилиндр	$0,6 \cdot 10^{-5}$	-	0,8	750	0,3	1,2
5.	Гидронасос	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	0,6	750	0,3	0,8
6.	Плаунжерный насос	$3,1 \cdot 10^{-6}$	-	0,9	750	0,4	1,0
7.	Редуктор (pressure reducing valve)	$6,4 \cdot 10^{-5}$	-	0,7	1500	0,4	1,2
8.	Редукционный клапан	$2,3 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	1500	0,2	0,7
9.	Автомат разгрузки насоса	$3,6 \cdot 10^{-5}$	-	0,9	1500	0,3	1,3
10.	Противопожарный клапан	$2,5 \cdot 10^{-5}$	-	0,7	1500	0,2	0,6
11.	Регулятор давления	$1,2 \cdot 10^{-5}$	-	0,4	750	0,2	0,7
12.	Насосная станция	$4,9 \cdot 10^{-6}$	-	1,0	1500	0,5	1,3
13.	Перекрывной клапан	$7,5 \cdot 10^{-6}$	-	0,7	750	0,2	0,7
14.	Обратный клапан	$0,7 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	750	0,2	1,0
15.	Отсечной клапан	$0,73 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	750	0,2	0,7
16.	Разъемный клапан	$0,8 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	750	0,2	0,6
17.	Предохранительный клапан	$5,3 \cdot 10^{-5}$	-	0,6	1500	0,2	1,1
18.	Челночный клапан	$0,8 \cdot 10^{-5}$	-	0,6	1500	0,2	1,1
19.	Клапан переключения	$0,82 \cdot 10^{-5}$	-	0,7	1500	0,2	0,7

Продолжение табл. 3							
1	2	3	4	5	6	7	8
20.	Подпорный клапан	$0,9 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	1500	0,2	0,7
21.	Фильтр	$0,2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,3	1500	0,4	0,6
22.	Гидроэлектроран (кран электромагнитный)	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	0,5	1500	0,2	1,3
23.	Дроссель	$3,8 \cdot 10^{-6}$	-	0,5	1500	0,2	0,7
24.	Демпфер	$2,3 \cdot 10^{-5}$	-	0,7	750	0,2	0,8
25.	Теплообменник	$0,95 \cdot 10^{-5}$	-	0,9	750	0,3	0,8
26.	Тепловой дозатор	$1,9 \cdot 10^{-5}$	-	0,7	750	0,3	0,9
27.	Дозатор	$2,6 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	750	0,2	0,7
28.	Тормозное устройство	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	0,8	1500	0,5	1,2
29.	Трубопровод	$2,4 \cdot 10^{-5}$	-	0,9	1500	0,4	1,3
30.	Блок управления тормозами	$2,3 \cdot 10^{-5}$	-	0,7	750	0,3	1,0
31.	Агрегат управления тормозами	$5,1 \cdot 10^{-5}$	-	0,9	750	0,4	1,1
32.	Ветродвижитель	$0,5 \cdot 10^{-5}$	-	0,8	750	0,5	1,3
33.	Блок передачи мощности	$0,55 \cdot 10^{-5}$	-	0,7	750	0,3	1,1
Вертолетные агрегаты							
34.	Гидробак сварной конструкции	$1,4 \cdot 10^{-5}$	-	1,1	600	0,4	1,3
35.	Насос НШ-39М основной гидросистемы	$4,4 \cdot 10^{-5}$	-	0,9	300	0,3	1,2
36.	Насос НШ-39М дублирующей гидросистемы	$8,6 \cdot 10^{-5}$	-	0,9	300	0,3	1,2
37.	Обратный клапан ОК-10А	$2,1 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	600	0,2	0,7
38.	Фильтр ФГ 11БН	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$	0,5	300	0,5	0,6
39.	Гидроаккумулятор (сферический)	$8,8 \cdot 10^{-5}$	-	-	600	0,4	1,0
40.	Автомат разгрузки насоса ГА77В	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	0,8	600	0,3	1,1
41.	Трубопровод	$2,9 \cdot 10^{-5}$	-	0,9	300	0,4	1,3

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
2. Топливная система							
1.	Топливный бак	$1,2 \cdot 10^{-5}$	-	1,7	750	0,5	2,3
2.	Перекрывной клапан	$2,3 \cdot 10^{-5}$	-	0,4	1500	0,2	1,2
3.	Фильтр	$0,2 \cdot 10^{-5}$	$0,7 \cdot 10^{-4}$	0,3	1500	0,4	0,8
4.	Расходомер	$0,5 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	750	0,3	0,9
5.	Подкачивающий насос	$2,3 \cdot 10^{-5}$	-	1,2	1500	0,15	1,2
6.	Порционер	$3,5 \cdot 10^{-5}$	-	0,6	750	0,4	1,1
7.	Центробежный насос	$2,3 \cdot 10^{-5}$	-	0,4	1500	0,3	1,3
8.	Перекачивающий насос	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	0,5	1500	0,2	1,2
9.	Обратный клапан	$1,2 \cdot 10^{-5}$	-	0,4	1500	0,2	0,7
10.	Насос регулятор	$2,3 \cdot 10^{-5}$	-	0,8	750	0,4	1,4
11.	Трубопровод	$2,9 \cdot 10^{-5}$	-	0,9	1500	0,4	1,3
12.	Отсечной топливный кран	$2,4 \cdot 10^{-5}$	-	0,3	1500	0,2	0,7
13.	Кран перекрестного питания	$0,8 \cdot 10^{-5}$	-	0,4	750	0,4	0,8
14.	Струйный насос	$1,2 \cdot 10^{-5}$	-	0,4	750	0,2	0,7
15.	Кран кольцевания	$0,8 \cdot 10^{-5}$	-	0,3	750	0,4	0,8
16.	Электроклапан перелива	$0,7 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	750	0,2	1,0
17.	Сигнализатор давления	$0,5 \cdot 10^{-5}$	-	0,8	750	0,5	1,3
18.	Поплавокный клапан	$2,4 \cdot 10^{-5}$	-	0,3	1500	0,2	0,7
19.	Электромагнитный кран	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	0,5	1500	0,2	1,3
20.	Переусной кран	$7,5 \cdot 10^{-6}$	-	0,7	1500	0,2	0,7
21.	Клапан предохранительный	$0,7 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	750	0,2	1,0
22.	Заслонка управляемая	$1,2 \cdot 10^{-5}$	-	0,4	750	0,2	0,7
23.	Сливной кран	$0,3 \cdot 10^{-5}$	-	0,5	750	0,2	0,7
24.	Штуцер заправки топлива	$2,6 \cdot 10^{-5}$	-	0,6	1500	0,2	1,1
25.	Клапан слива отстоя	$0,8 \cdot 10^{-5}$	-	0,6	750	0,2	1,1

Примечание: для остальных изделий участков гидросистемы ЛА принять $\omega_0 = 2,1 \dots 3,1 \cdot 10^{-5}$; для остальных изделий топливной системы ЛА $\omega_0 = 1,1 \dots 2,2 \cdot 10^{-5}$.

Исходные данные для определения обобщённых показателей ЭТ ЛА

Тип самолёта (вертолёта)	Тип двигателя	Ресурс самолёта (вертолёта) Т _{РЕСС} часы	Ресурс до ремонта двигателя Т _{РЕСДВ} часы	Действующая периодичность ТО, ч. налёта					Средняя длительность беспосадочного полёта, ч	Кэфф.ц. досрочных замен двигателей, К _{дц}	Средний годовой налёт самолёта, (вертолёта) Т _{ГСС} , ч
				τ _А (τ ₀₁)	τ _В (τ ₀₂)	τ _С (τ ₀₃)	τ _Д (τ _{КВР})	τ _{W(Б)} СУТ.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RRJ-95	SaM146	70000	12000	750	3750	7500	30000	7	2,0	0,04	2400
Boeing 737	CFM56-7B2/6	80000	20000	750	3750	7500	30000	7	2,1	0,03	2700
Airbus 320	CFM56- 5B4/3	80000	20000	750	3750	7500	30000	7	2,2	0,03	2700
Ту-214	ПС-90А	45000	8000	900	1800	3600	11000	25 (150 ч.)	2,1	0,05	2500
Ил-76	Д-30КП-2	60000	2000	300	900	1800	20000	15	3,0	0,05	3000
Ил-96	ПС-90А1	60000	10000	500	1500	3000	20000	15	3,0	0,05	3000
Ми-171А2	ВК-2500ПС-03	12000	3000	150	300	600	2100	15 (75 ч.)	1,6	0,03	1500

Данные об оперативной продолжительности ТОиР ЛА

Тип самолёта (вертолёта)	Оперативная продолжительность ТОиР, часы								Коэфф. несовпадения замен двигателя с периодич. формами, β	Время стоянки в транзитных а/п, $t_{ст.м,ч.}$
	2 t_{TE} (t_{0A})	3 t_W (t_{0B})	4 t_A (t_{01})	5 t_B (t_{02})	6 t_C (t_{03})	7 t_D (t_{KBP})	8 $t_{зам. ДВ}$	9		
1										10
RRJ-95	0,5	3,0	7,0	48	92	202	18,6	0,4	0,6	
Boeing 737	0,6	3,5	4,5	16	48	257	16,5	0,4	0,6	
Airbus 320	0,5	3,0	5,0	30	78	245	18,0	0,35	0,6	
Ту-214	1,5	9,0	32	46	86	750	17,3	0,35	0,75	
Ил-76	1,6	10	34	56	96	780	18,3	0,35	0,75	
Ил-96	2,3	16	44	106	180	860	25	0,45	0,75	
Ми-171А2	0,4	3,2	16	28	48	290	12,5	0,3	0,5	

Данные об оперативной трудоёмкости ТОиР ЛА

Тип самолёта (вертолёта)	Оперативная трудоёмкость ТО и Р ЛА, чел.-ч									
	T _{ТЕ} (Т _А)	T _W (Т _Б)	T _А (Т _{Ф1})	T _В (Т _{Ф2})	T _С (Т _{Ф3})	T _Д (Т _{КВР})	T _{ЗАМ.ДВ.}	Ремонт двигателя, T _{РЕМ.Д}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
RRJ-95	6,28	34	50,2	256	828	9000	62	3600		
Boeing 737	8,2	36	60	240	1960	12000	54	3500		
Airbus 320	8,4	38	110	210	1600	13000	51	3500		
Ту-214	6,5	38	420	580	810	11000	58	2500		
Ил-76	10	38	200	910	2600	12000	80	2700		
Ил-96	14	39	210	980	2700	14000	56	3100		
Ми-171А2	2,23	22,1	124,4	150,2	321,8	6000	86	850		

Приложение 7

Варианты по условиям эксплуатации парка ЛА для проектируемого ПТЭ

Вариант	Заданные условия эксплуатации	Обозначения состояния
1	2	3
1	Отсутствуют задержки вылетов по техническим причинам	Зв
2	Формы периодического ТО выполняются без ожидания	Оп
3	Ремонт выполняется без ожидания Не будет простоев из-за отсутствия двигателей	Ор Дв
4	Не будет простоев из-за отсутствия запасных частей	З
5	Отсутствуют простои самолётов в резерве	А
6	Отсутствуют простои из-за рекламаций промышленности	Ж
7	Отсутствуют простои в ожидании формы Б	Об
8	Не будет простоев из-за отсутствия двигателей	Дв
9	Отсутствуют простои при выполнении доработок Нет простоев из-за отсутствия запасных частей	Д З
10	Ремонт выполняется без ожидания	Ор
11	Не будет простоев в ожидании формы Б	Об
12	Не будет простоев из-за отсутствия запасных частей Формы периодического ТО выполняются без ожидания	З Оп
13	Не проводились доработки по бюллетеням	Д
14	Не будет простоев в ожидании формы Б Не будет простоев из-за отсутствия запасных частей	Об З
15	Не будет задержек вылетов по техническим причинам Не будет простоев из-за отсутствия запасных частей	Зв З

Приложение 8

Суммарное время пребывания парка самолётов за 1 год эксплуатации в состояниях ПТЭ (t_i , час)

Состояния ПТЭ (шифр)	Типы ЛА						
	RRJ-95	Boeing 737	Airbus 320	Ту-214	Ил-76	Ил-96	Ми-171А2
1	2	3	4	5	6	7	8
П	34210	74800	42100	22800	23290	23290	36800
Е	52402	26400	36900	34275	34481	34481	43637
Г	8980	35454	13636	7320	3720	3720	10967
А	6040	35730	15820	9360	5760	5760	8317
Q _W	1620	2130	1120	1080	708	708	2517
T _W	6480	10650	9100	4320	4320	4320	10800
Q _{ПФ}	1836	3714	2676	1224	1224	1224	1750
T _{A(Ф1)}	6264	6992	4328	4176	4180	4180	4967
T _{B(Ф2)}	3060	4274	3416	2040	3244	3244	5100
T _{C(Ф3)}	5112	5572	6381	3408	5808	5808	6617
Q _{D(КВР)}	4680	4260	4840	3120	3100	3100	7117
D (КВР)	1260	2145	1430	840	800	800	5017
У	7160	12006	8671	1440	4776	4776	9783
З	2520	7650	6700	1680	2520	2520	3333
ДВ	4620	16200	8000	1080	1432	1432	5696
Д	3772	8928	3952	1848	1840	1840	4816
Ж	1440	2145	3630	960	968	968	1133
ЗВ	6224	3750	2500	4149	2949	2949	6833
8760 х N_c	157680	262800	175200	105120	105120	105120	175200

Приложение 9

Данные о трудоёмкости ТОиР ЛА т в состояниях ПТЭ

Состояния ПТЭ	Наименование состояния	Средние значения трудоёмкости ТО и Р, чел.-ч.						
		RRJ-95	Boeing 737	Airbus 320	Ту-214	Ил-76	Ил-96	Ми-171А2
Е	Transit Check (Ф-А)	8,1	9,6	10,1	8,3	6,4	21	3,0
Т _W	Weekly Check (Ф-Б)	47	49	51	51	49	47	34
Т _{A(Ф1)}	A-Check (Ф-1)	65	70	135	510	250	305	176
Т _{B(Ф2)}	B-Check (Ф-2)	310	315	310	730	620	1300	215
Т _{C(Ф3)}	C-Check (Ф-3)	1050	2200	2100	1250	1350	3200	385
D(КВР)	D(КВР)	16000	18000	17000	17000	17000	18000	8000
У	Устранение неисправностей	24	20	16	21	25	28	10
Д	Доработки по бюллетеням	210	180	200	230	200	220	120

Нормативные значения показателей эффективности ПТЭ ЛА

Показатели	Р _{100тп}	Ки	КиР	Квир	Кп _{мес.ч/лет}	КиСПР	Кт _{мес.ч/лет}
Тип ЛА							
RRJ-95	0,95	0,25	0,62	0,8	0,8	0,8	7,2
Boeing 737	0,96	0,29	0,60	0,8	0,6	0,8	8,0
Airbus 320	0,96	0,29	0,60	0,8	0,7	0,8	6,8
Ту-214	0,95	0,25	0,62	0,8	0,9	0,8	8,5
Ил-76	0,95	0,25	0,62	0,8	0,9	0,8	8,5
Ил-96	0,95	0,25	0,62	0,8	1,1	0,8	12,2
Ми-171А2	0,95	0,25	0,56	0,8	0,9	0,8	6,0

Приложение 11

Исходные данные для проектирования ПТЭ ЛА

Табл. П.1.1.1

Тип самолёта (вертолёта)	Масса конструкции самолёта (вертолёта) $m_0, \text{тн}$	Объём парка $N_{\text{ЛА}}$	Средний годовой налёт $T_{\text{ГСС}}, \text{ч}$	Время плановой стоянки в транзитных а/п $t_{\text{СТМ}}, \text{ч}$	Коэффициент сезонности перевозок $K_{\text{СЭС}}$	Статистические коэффициенты	
						η_1	η_2
1	2	3	4	5	6	7	8
RRJ-95	24250	18	2400	0,6	1,2	0,66	0,72
Boeing 737	36440	30	2700	0,6	1,3	0,64	0,72
Airbus 320	40000	20	2600	0,6	1,3	0,65	0,75
Ту-214	62400	12	2500	0,75	1,2	0,66	0,72
Ил-76	90000	10	3000	0,75	1,1	0,66	0,75
Ил-96	114500	12	3000	0,75	1,3	0,65	0,75
Ми-171А2	6800	20	1500	0,5	1,2	0,65	0,71

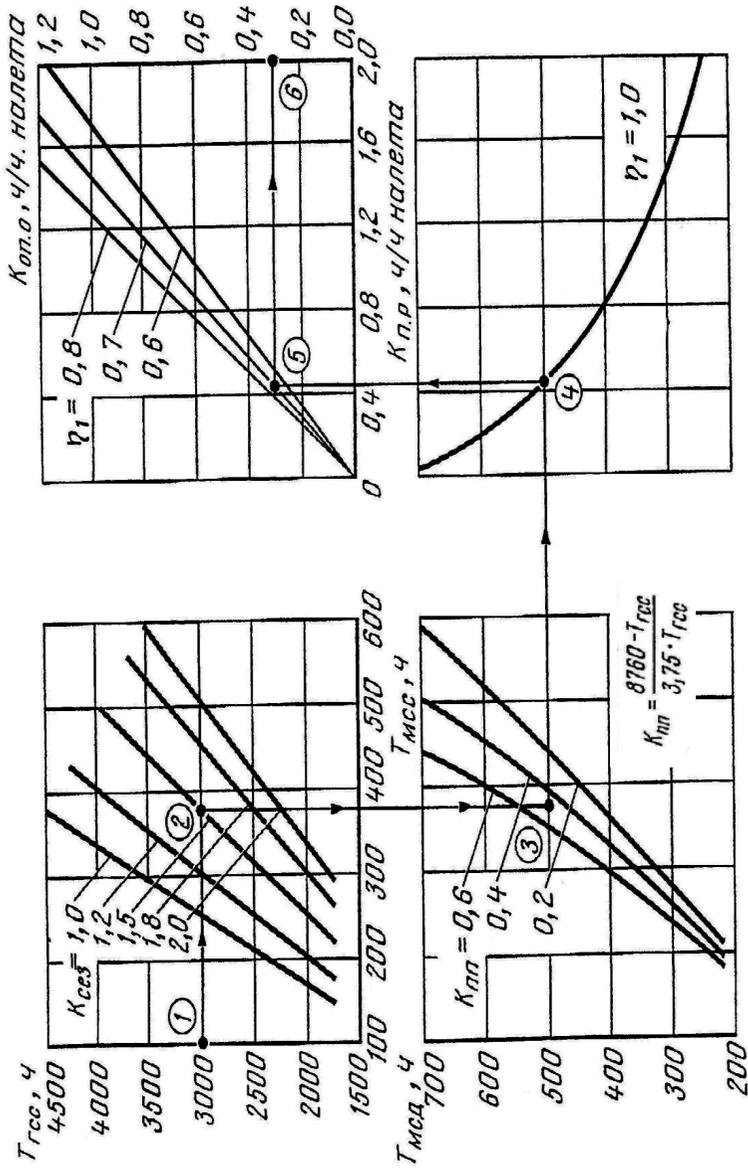


Рис. П11.1.1. Нормирование значений Кол.о

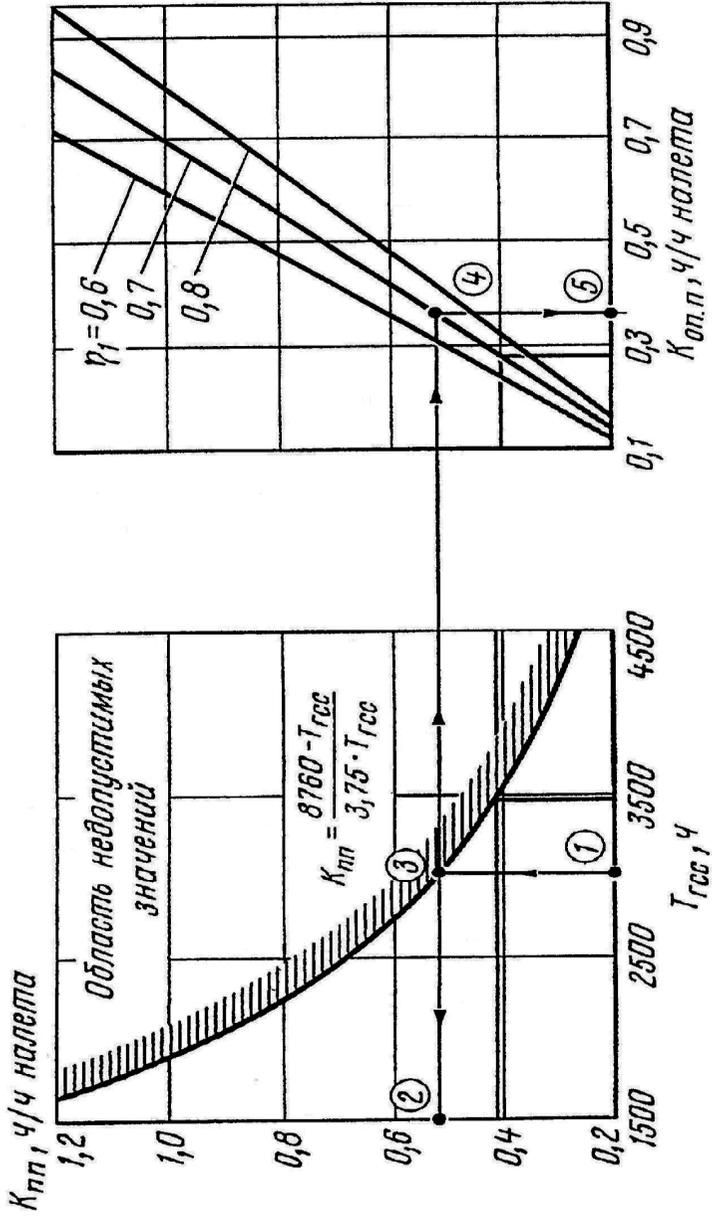
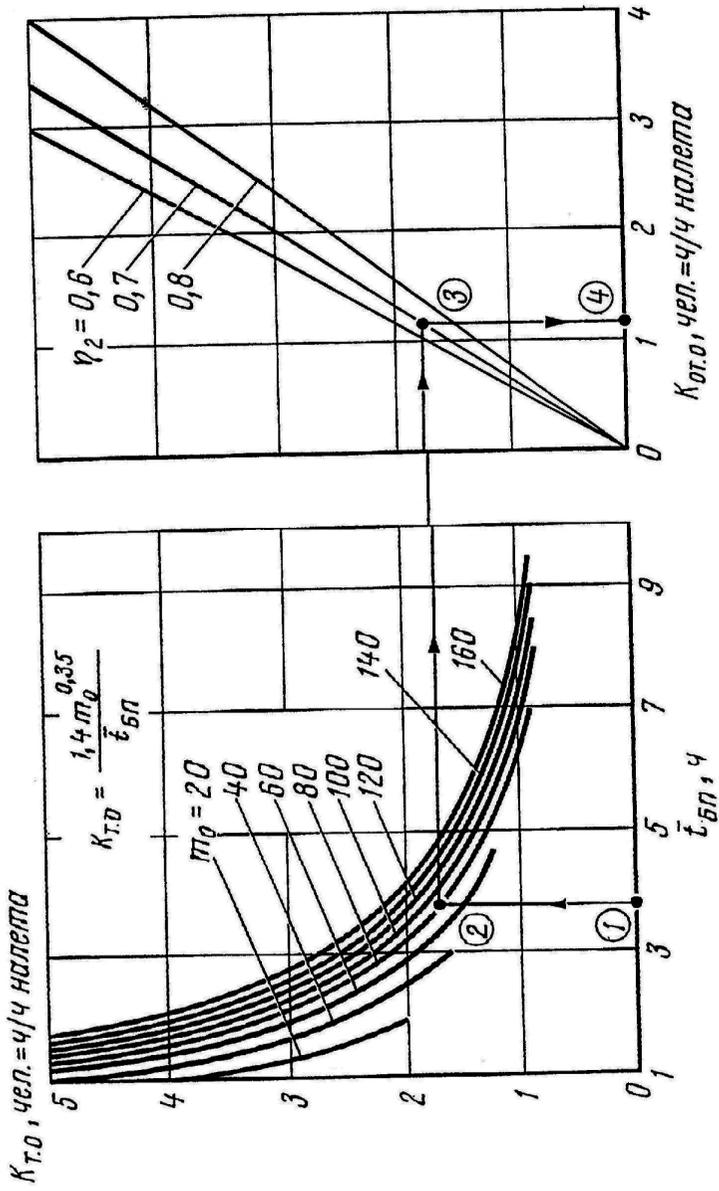
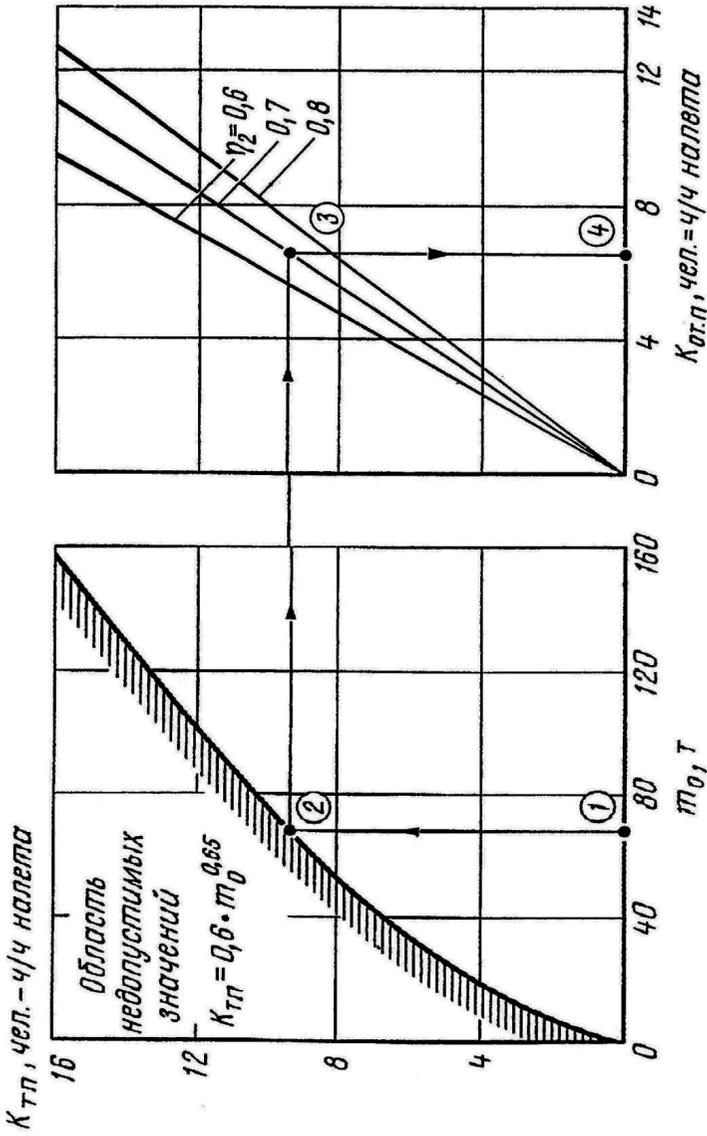


Рис. П11.2. Нормирование значений Колл

Рис. П11.3. Нормирование значений $K_{т.о.}$

Рис. П11.4. Нормирование значений $K_{от.п.}$

Приложение 12

Пример оформления листа «Содержание»

Содержание

					М 93027.ОТТЭЛА.КР.29			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>Наименование темы КР</i>	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		***	***	***			3	***
Пров.		***	***	***				
Н. контр.		***	***	***				
Утв.		***	***	***				
						МГТУ ГА		

Форма последующих листов пояснительной записки

					М 93027.ОТТЭЛА.КР.29	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения.....	3
2. Структура курсовой работы.....	5
3. Методические указания по решению задач курсовой работы.....	6
3.1. Определение показателей безотказности ФС (подсистемы) ЛА.....	6
3.1.1 Описание функциональных задач, выполняемых ФС (подсистемой).....	6
3.1.2. Определение показателей безотказности отдельных изделий.....	6
3.1.3. Определение показателей безотказности блоков и ФС (подсистемы).....	7
3.2. Определение фактических значений обобщенных показателей эксплуатационной технологичности ЛА.....	14
3.2.1. Определение показателя $K_{оп}$	14
3.2.2. Определение показателя $K_{от}$	16
3.2.3. Определение показателя $P_y(t \leq t_z)$	17
3.3 Выбор рациональных стратегий ТО изделий ФС (подсистемы).....	18
3.4. Формирование оптимального регламента ТО / Программы ТО ЛА на примере ФС (подсистемы).....	22
3.4.1. Определение периодичности ТО изделий ФС.....	23
3.4.2. Группировка работ по ТО изделий в формы регламента ТО / Программы ТО ФС.....	29
3.5. Построение модели ПТЭ ЛА и расчет показателей его эффективности.....	34
3.5.1. Построение модели ПТЭ и определение характеристик его состояний.....	35
3.5.2. Расчет показателей и оценка уровня эффективности проектируемого ПТЭ.....	40
3.5.3. Разработка предложений по совершенствованию процесса технической эксплуатации и улучшению ЭТ ЛА.....	42
ЛИТЕРАТУРА.....	44
Приложение 1.....	45
Приложение 2.....	46
Приложение 3.....	47
Приложение 4.....	50
Приложение 5.....	51
Приложение 6.....	52
Приложение 7.....	53
Приложение 8.....	54
Приложение 9.....	55
Приложение 10.....	56
Приложение 11.....	57
Приложение 12.....	62
Приложение 13.....	63
СОДЕРЖАНИЕ.....	64