

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

---

**Н.Н. Смирнов**

**ПОСОБИЕ**

**по выполнению курсовой работы**

**по дисциплине**

**“ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ”**

*для студентов IV курса*

*специальности 160901*

*дневного обучения*

**МОСКВА-2007**

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

---

**Кафедра технической эксплуатации  
летательных аппаратов и авиадвигателей**

**Н.Н. Смирнов**

**ПОСОБИЕ  
по выполнению курсовой работы  
по дисциплине  
“ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ”**

*для студентов IV курса  
специальности 160901  
дневного обучения*

**МОСКВА-2007**

ББК 052-082

Рецензент проф. Зубков Б.В.

Смирнов Н.Н.

Пособие по выполнению курсовой работы по дисциплине “Основы теории эксплуатации авиационной техники”. - М., МГТУ ГА, 2007 .- с.

Данное пособие издается в соответствии с утверждённым учебным планом по дисциплине ”Основы теории эксплуатации авиационной техники” для студентов 4 курса специальности 160901 дневного обучения.

Рассмотрены и одобрены на заседаниях кафедры ТЭЛА и АД 2007г. и методического совета по специальности 160901 2007г.

## Содержание

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	5
2. СТРУКТУРА КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	7
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	9
3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ (ПОДСИСТЕМЫ) ЛА .....	9
3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОБЩЁННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛА .....	16
3.3. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ .....	21
3.4. ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГЛАМЕНТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ФС.....	27
3.5. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛА И РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ. ....	40
ЛИТЕРАТУРА.....	54
Приложения.....	58

## КУРСОВАЯ РАБОТА.

Тема: Проектирование эффективного процесса технической эксплуатации летательного аппарата.

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выполнение курсовой работы является промежуточным этапом в изучении дисциплины "Основы теории эксплуатации АТ".

Цель курсовой работы - приобретение студентами навыков разработки эффективного процесса технической эксплуатации (ПТЭ) 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 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 с учетом пожеланий студента 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.

Текст курсовой работы оформляется по ГОСТу 2.105-75 "Общие требования к текстовым документам" и ГОСТу 2.106-68 "Текстовые документы", п.7 "Расчеты". 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.

					М 93027.ОТЭАТ.КР.29			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Гидросистема торможения колес шасси самолета Ил-86	Лит	Лист	Листов
Разраб.		Громов		1.05				
Провер.		Иванов		10.05			2	25
Нормок.		Петров		15.05		МГТУ ГА		

Рис.1.1. Пример заполнения основных надписей пояснительной записки

Шифр работы формируется в следующей последовательности:

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

Текст ПЗ должен быть написан разборчиво на одной стороне листов формата А4 (297x210 мм) с полями слева 20 мм. Необходимые схемы, графики в тексте ПЗ могут выполняться на стандартах А4 миллиметровой бумаги.

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 25...30 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 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

Введение

1. Определение показателей безотказности ФС (подсистемы).

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

1.2. Определение показателей безотказности основных изделий.

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

2. Определение обобщенных показателей ЭТ ЛА.

2.1. Определение показателя  $K_{оп}$ .

2.2. Определение показателя  $K_{от}$ .

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

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

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

4.1. Определение периодичности ТО изделий ФС.

4.2. Группировка операций ТО изделий в оптимальные формы регламента ФС.

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

5.1. Построение модели ПТЭ.

5.2. Оценка уровня эффективности проектируемого ПТЭ.

5.3. Разработка предложений по совершенствованию процесса ТО и улучшению ЭТ ЛА.

Выводы.

Использованная литература.



### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

#### *3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ (ПОДСИСТЕМЫ) ЛА*

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

Исходной информацией является: принципиальная схема ФС (справочный материал при необходимости выдается на кафедре); характеристики безотказности изделий ФС (параметры потока отказов  $\omega_0(t)$  и неисправностей  $\omega_H(t)$  представлены в Приложении 3).

Анализ и оценка безотказности ФС выполняется на основе функциональных задач, решаемых ФС (подсистемой) и основными ее изделиями.

Функциональные задачи, выполняемые ФС и каждым ее изделием, студент изучает по техническим описаниям и непосредственно при изучении конкретной техники. На основе полученной информации составляется краткое описание функционирования системы. Принципиальная схема ФС (подсистемы) со спецификацией должна быть представлена в записке на листе формата А4. Описывается назначение каждого изделия и приводятся типовые (возможные) отказы и повреждения как изделий, так и системы в целом. Материал оформляется самостоятельным подразделом в соответствии с предложенной структурой курсовой работы.

#### **3.1.1. Определение показателей безотказности отдельных изделий**

Определяется вероятность безотказной работы каждого изделия из предположения стационарного потока отказов:

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

для  $t = t_{\text{Б.П.}}$ ;  $t = \tau_{\text{Ф1}}$ ;  $t = \tau_{\text{Ф2}}$ ;  $t = \tau_{\text{Ф3}}$ ,

где  $\bar{t}_{\text{Б.П.}}$  - средняя длительность беспосадочного полёта (Приложение 4);

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

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

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

### 3.1.2. Определение показателей безотказности ФС (подсистемы)

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

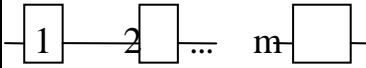
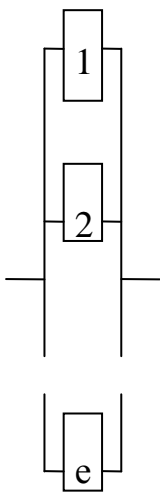
Для определения показателей безотказности ФС (вероятности безотказной работы за  $t = \bar{t}_{\text{Б.П.}}$ ,  $\tau_{\text{Ф1}}$ ,  $\tau_{\text{Ф2}}$ ,  $\tau_{\text{Ф3}}$ ) используется метод структурных схем с учетом последовательного и параллельного соединения изделий ФС. Исходной информацией для построения структурной схемы является краткое описание функционирования ФС, ее принципиальная схема и перечень типовых отказов изделий, при которых они не выполняют своих функциональных задач.

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

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

Таблица 3.1

Оценка  $P(t)$  ФС 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.
Параллельное		$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^e [1 - P_j(t)]$	$e$ – количество изделий, соединенных параллельно.

Рассмотрим в качестве примера топливную систему самолета Ту-154М, принципиальная схема которой приведена на рис.3.1. Топливная система состоит из:

- |    |                         |   |
|----|-------------------------|---|
| 1  | Топливный бак           | $B_1, B_2 (Л, П), B_3 (Л, П), B_4$                                      |
| 2  | Насос подкачки ЭЦН-325  | НП <sub>8</sub> – НП <sub>11</sub>                                      |
| 3  | Перекрывной клапан      | ПК  |
| 4  | Центробежный насос      | ДЦН   |
| 5  | Насос регулятор         | НР  |
| 6  | Порционер               | П   |
| 7  | Фильтр                  | Ф   |
| 8  | Трубопроводы            | Тр  |
| 9  | Насос перекачки ЭЦН-323 | НП <sub>1</sub> – НП <sub>7</sub> , НП <sub>12</sub> – НП <sub>16</sub> |
| 10 | Расходомер              | Р   |

После краткого описания работы топливной системы анализируются отказы изделий, при которых они не выполняют своих функций, и последствия отказов с учетом последовательного и параллельного соединения.

Например, в насосе перекачки НПЗ может отказать электрическая и механическая части. Оба этих отказа приводят к отказу насоса. Отказ насоса приведет к тому, что на больших высотах нарушится бесперебойная подача топлива от топливного бака БЗ к насосу двигателя ДЦН. Это означает, что в структурной схеме насос НПЗ и бак БЗ должны быть соединены последовательно. Отказ насоса перекачки НПЗ приводит к отказу одной ветви системы питания от БЗ. Однако подачу топлива будут обеспечивать насосы НП1 и НП2. Отсюда следует, что в структурной схеме НП1, НП2, НПЗ должны быть соединены параллельно.

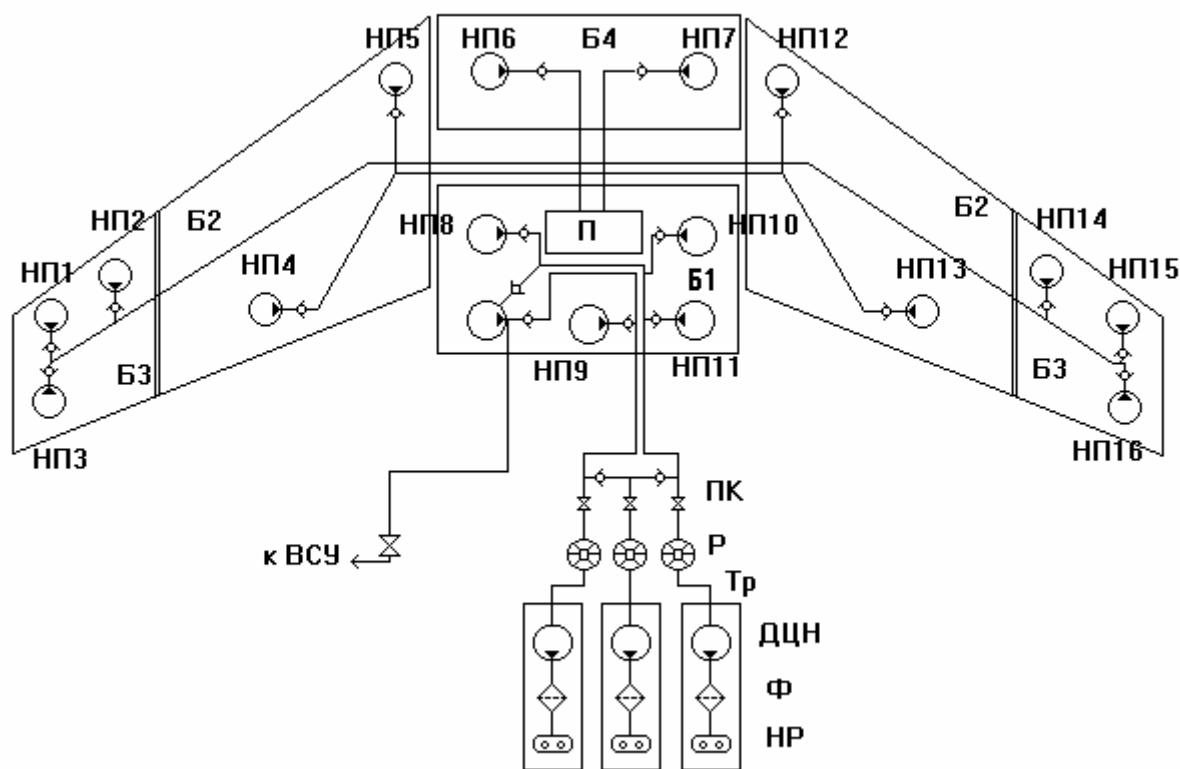


Рис.3.1 Принципиальная схема топливной системы самолета Ту-154М

Для упрощения расчета систему рекомендуется разбить на блоки I-VIII. Блоки целесообразно составлять из элементов, имеющих функциональную связь (рис. 3.2).

Далее определяется вероятность безотказной работы для каждого блока.

В рассмотренном примере имеем:

- 1) для блока I:  $P_I = P_{Б3Л} [1 - (1 - P_{НП1} \cdot P_{ОК1}) \cdot (1 - P_{НП2} \cdot P_{ОК2}) \cdot (1 - P_{НП3} \cdot P_{ОК3})]$
- 2) для блока II:  $P_{II} = P_{Б2Л} [1 - (1 - P_{НП4} \cdot P_{ОК4}) \cdot (1 - P_{НП5} \cdot P_{ОК5})]$
- 3) для блока III:  $P_{III} = P_{Б4} [1 - (1 - P_{НП6} \cdot P_{ОК6}) \cdot (1 - P_{НП7} \cdot P_{ОК7})]$
- 4) для блока IV:  $P_{IV} = P_{Б2П} [1 - (1 - P_{НП12} \cdot P_{ОК12}) \cdot (1 - P_{НП13} \cdot P_{ОК13})]$
- 5) для блока V:  $P_V = P_{Б3П} [1 - (1 - P_{НП14} \cdot P_{ОК14}) \cdot (1 - P_{НП15} \cdot P_{ОК15}) \cdot (1 - P_{НП16} \cdot P_{ОК16})]$
- 6) для блока VI:  $P_{VI} = P_{II} \cdot P_{Б1}$
- 7) для блока VII:  $P_{VII} = 1 - (1 - P_{НП8} \cdot P_{ОК8}) \cdot (1 - P_{НП9} \cdot P_{ОК9}) \cdot (1 - P_{НП10} \cdot P_{ОК10}) \cdot (1 - P_{НП11} \cdot P_{ОК11})$
- 8) для блока VIII:  $P_{VIII} = P_{ПК} \cdot P_P \cdot P_{ДЦН} \cdot P_{Ф} \cdot P_{НР} \cdot P_{ТР}$

В блоке VIII условно представлены все три двигателя

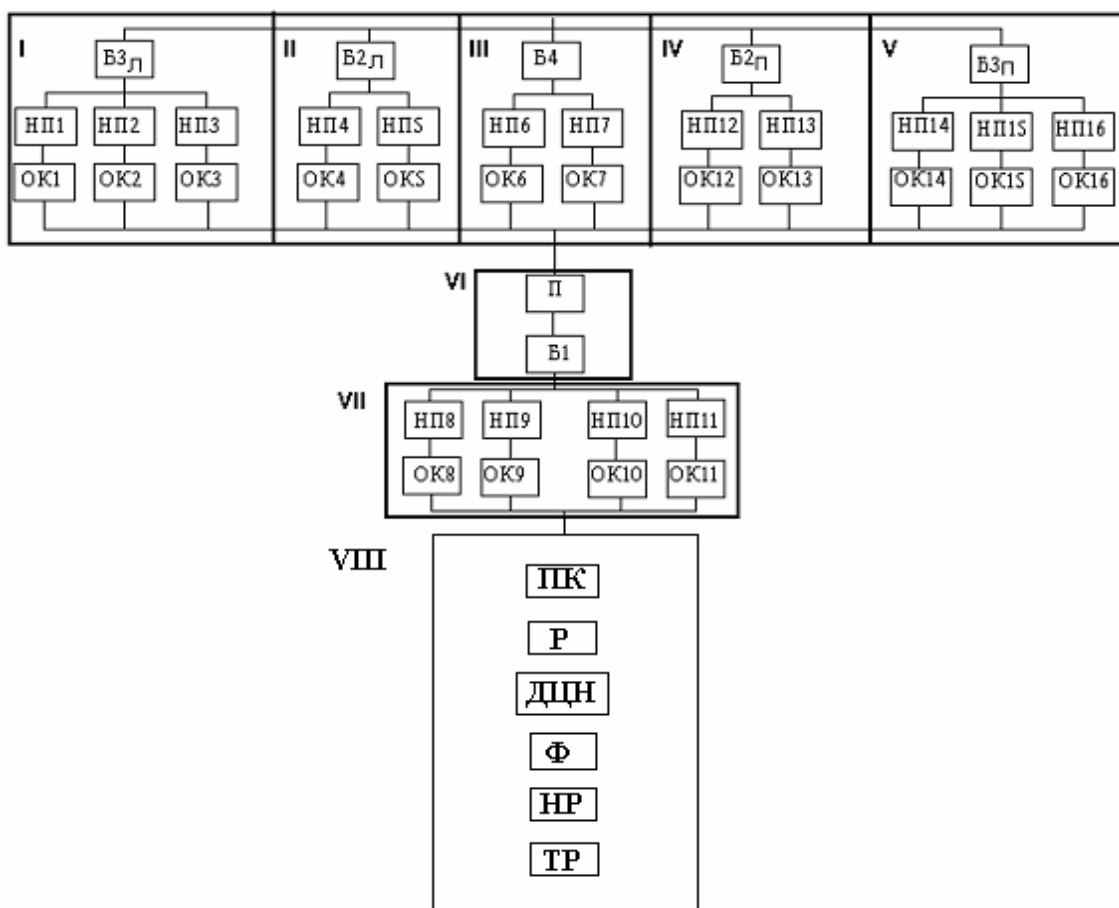


Рис. 3.2. Детализированная структурная схема системы.

Строим укрупненную структурную схему ФС (рис. 3.3).

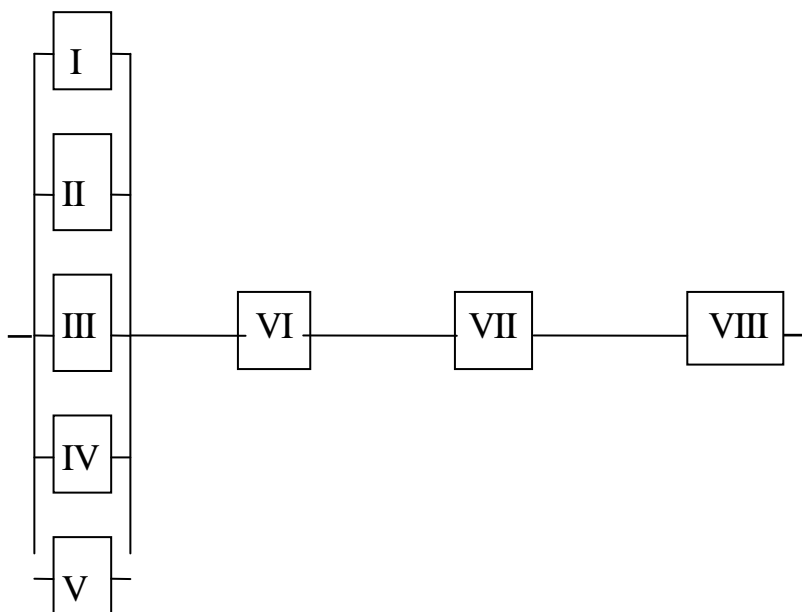


Рис. 3.3. Укрупненная структурная схема системы.

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

$$P_{\text{ФС}} = [1 - (1 - P_I) \cdot (1 - P_{II}) \cdot (1 - P_{III}) \cdot (1 - P_{IV}) \cdot (1 - P_V)] \cdot P_{VI} \cdot P_{VII} \cdot P_{VIII}$$

Расчет доводится до числовой оценки, подстановкой значений вероятности безотказной работы блоков и изделий в соответствии с табл. 3.1 и выполняется для  $t = \bar{t}_{\text{Б.П.}}, \tau_{\text{Ф1}}, \tau_{\text{Ф2}}, \tau_{\text{Ф3}}$

Результаты определения показателей безотказности ФС и ее изделий представляются в форме табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты определения показателей безотказности отдельных изделий, блоков и  
ФС в целом .

Объект			Вероятн. безотказной работы объекта для наработки				Влияние отказа изделия на безопасность полёта.	
Наименов.		Обозн. по схеме	$\bar{t}_{Б.П}$	$\tau_{Ф1}$	$\tau_{Ф2}$	$\tau_{Ф3}$	да	нет
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Из- дел.	Топл. бак	Б1						
	Насос подк.	НП						
	...	...						
Блоки	I							
	II							
	...							
Функцио-нал. система	ФС							

По результатам расчетов, проведенных в данном разделе (на основании информации, представленной в табл. 3.2) необходимо:

- 1) проанализировать значения показателей безотказности изделий, блоков и ФС в целом и динамику их изменения от наработки;
- 2) выделить наименее надежные изделия и блоки и дать предложения по повышению безотказности ФС;
- 3) выделить изделия, отказы которых влияют на безопасность полётов, отметив их знаком + в графе 8 табл. 3.2.

### 3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБОБЩЁННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛА.

Эксплуатационная технологичность ЛА оценивается совокупностью обобщенных и единичных показателей. Обобщенные показатели характеризуют Э.Т. ЛА с точки зрения потребных затрат времени и труда на проведение ТОиР. Единичные показатели характеризуют лишь отдельные стороны Э.Т. Выбор состава обобщенных показателей Э.Т. осуществляется исходя из принятых структуры и совокупности показателей эффективности ПТЭ ЛА. Значения показателей Э.Т. 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 Э.Т.:

- а)  $K_{ОП}$  - удельная суммарная оперативная продолжительность ТОиР;
- б)  $K_{ОТ}$  - удельная суммарная оперативная трудоемкость ТОиР;
- в)  $P_y(t \leq t_3)$  –вероятность устранения отказа (повреждения) за заданное время  $t_3$ .

#### 3.2.1. Определение показателя $K_{ОП}$ .

Показатель “удельная суммарная оперативная продолжительность ТО и Р  $K_{ОП}$ ” определяется из выражения:

$$K_{ОП} = \frac{t_{ОП} + t_{П} + t_{РЕМ.С}}{T_{РЕС.С}} + \frac{t_{СМ} \cdot \beta}{T_{РЕС.Д} \cdot (1 - K_{Д})}; \quad (3.2)$$

где  $t_{ОП}$ ,  $t_{П}$  - суммарная оперативная продолжительность выполнения всех форм оперативного и периодического обслуживания, соответственно, за межремонтный ресурс (ремонтный цикл) самолета  $T_{рес.с}$ , ч;  $t_{рем.с}$  - средняя оперативная продолжительность ремонта самолета или суммарная средняя оперативная продолжительность всех ремонтных форм за  $T_{рес.с}$ , ч;  $t_{см}$  - средняя оперативная



продолжительность замены двигателя, ч;  $T_{\text{рес.д}}$  – межремонтный ресурс двигателя, ч;  $K_{\text{д}}$  – коэффициент досрочных замен двигателей;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий количество замен двигателей, которые не совмещаются по времени с проведением периодических форм ТОиР на самолете.

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

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{А}} \cdot n_{\text{А}} + t_{\text{Б}} \cdot n_{\text{Б}} ; \quad (3.3)$$

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

где  $t_{\text{А}}$ ,  $t_{\text{Б}}$  – средние значения оперативной продолжительности выполнения оперативных форм ТО самолета (форм А и Б);  $n_{\text{А}}$ ,  $n_{\text{Б}}$  – общее число соответствующих форм обслуживания за  $T_{\text{РЕС.С}}$ ;  $t_{\text{Ф1}}$ ,  $t_{\text{Ф2}}$ ,  $t_{\text{Ф3}}$  – средние значения оперативной продолжительности выполнения периодических форм ТО самолета (Ф-1, Ф-2, Ф-3);  $n_{\text{Ф1}}$ ,  $n_{\text{Ф2}}$ ,  $n_{\text{Ф3}}$  – общее число соответствующих форм обслуживания за  $T_{\text{РЕС.С}}$ .

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

$$n_{\text{А}} = \frac{1,1 \cdot T_{\text{РЕС.С}}}{t_{\text{б.н}}} ; \quad (3.5)$$

$$n_{\text{Б}} = \frac{365 \cdot T_{\text{РЕС.С}}}{\tau_{\text{ФБ}} \cdot T_{\text{ГСС}}} - n_{\text{п}} ; \quad (3.6)$$

где  $n_{\text{п}}$  – суммарное число периодических форм ТО, выполняемых за  $T_{\text{РЕС.С}}$ ;  $\tau_{\text{ФБ}}$  – периодичность выполнения формы Б в сутках (Приложение 4);  $T_{\text{ГСС}}$  – средний годовой налет на списочный самолет (Приложение 4).

Общее число периодических форм ТО  $n_{\text{п}}$  за  $T_{\text{РЕС.С}}$  определяется с использованием данных о периодичности выполнения форм Ф-1, Ф-2, Ф-3 для заданного типа самолета (Приложение 4). При этом используются следующие выражения:

$$n_{\text{Ф3}} = \frac{T_{\text{РЕС.С}}}{\tau_{\text{Ф3}}}; \quad n_{\text{Ф2}} = \frac{T_{\text{РЕС.С}}}{\tau_{\text{Ф2}}} - n_{\text{Ф3}}; \quad n_{\text{Ф1}} = \frac{T_{\text{РЕС.С}}}{\tau_{\text{Ф1}}} - (n_{\text{Ф3}} + n_{\text{Ф2}})$$

Необходимые для расчета исходные данные о  $T_{РЕС.С}$ ,  $T_{РЕС.Д}$ ,  $T_{ГСС}$ ,  $t_{РЕМ}$ ,  $t_{СМ}$ ,  $\beta$ ,  $K_{Д}$  и другие содержатся в приложениях 4 и 5.

Результаты расчета представляются в форме табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты расчета суммарной оперативной продолжительности ТОиР самолёта  
(для первого члена выражения 3.2)

Формы ТОиР	Число обслуживаний за $T_{РЕС.С}$	Оперативная продолжительность ТОиР, ч.	
		одного обслуживания и ремонта	суммарная за $T_{РЕС.С}$
А(предполетное и транзитное ТО)			
Б(базовое ТО)			
Ф-1(через...ч.нал.)			
Ф-2(через...ч.нал.)			
Ф-3(через...ч.нал.)			
Ремонт(через ... ч.нал.)			
		Итого:	

Далее с использованием результатов расчета (табл. 3.3.) и других необходимых исходных данных по выражению (3.2) определяется искомое значение  $K_{ОП}$ .

### 3.2.2. Определение показателя $K_{ОП}$ .

Показатель "удельная суммарная оперативная трудоемкость ТОиР" определяется из выражения

$$K_{ОП} = \frac{T_{ОП} + T_{П} + T_{РЕМ.С}}{T_{РЕС.С}} + \frac{(T_{СМ} + T_{РЕМ.Д}) \cdot n_{Д}}{T_{РЕС.Д} \cdot (1 - K_{Д})} + \sum_{i=1}^{N_{П}} \frac{T_{РЕМ.П_i} \cdot n_{П_i}}{T_{РЕС.П_i} \cdot (1 - \alpha_{П_i})} ; \quad (3.7)$$

где  $T_{ОП}$  - суммарная оперативная трудоемкость всех форм оперативного технического обслуживания, включая работы по устранению отказов и повреждений за  $T_{РЕС.С}$  чел.-ч;  $T_{П}$  - суммарная оперативная трудоемкость всех форм периодического обслуживания за  $T_{РЕС.С}$  чел.-ч;  $T_{РЕМ.С}$ ,  $T_{РЕМ.Д}$ ,  $T_{РЕМ.і}$  - трудоемкость ремонта самолета, двигателя,  $i$ -го изделия соответственно, чел.-ч;  $T_{СМ}$  - трудоемкость замены двигателя, чел.-ч;  $T_{РЕС.іі}$  - межремонтный ресурс  $i$ -го изделия, ч;  $\alpha_{іі}$  - коэффициент досрочных замен  $i$ -го изделия;  $n_{Д}$ ,  $n_{іі}$  - число двигателей и изделий каждого типа на самолете, заменяемых в пределах  $T_{РЕС.Д}$  и  $T_{РЕС.С}$  соответственно;  $N_{іі}$  - 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  $T_{РЕС.С}$ .

Число обслуживаний определяется по выражениям приведенным выше (п.3.2.1). Исходные данные об оперативной трудоемкости форм ТОиР приведены в Приложении 6. Результаты расчета представляются в форме табл. 3.4.

Таблица 3.4

Результаты расчета суммарной оперативной трудоемкости ТОиР самолёта (для первого члена выражения (3.7))

Формы ТОиР	Число обслуживаний за $T_{РЕС.С}$	Оперативная трудоёмкость ТОиР, чел.-ч	
		одного обслуживания и ремонта	суммарная за $T_{РЕС.С}$
А(предполетное и транзитное ТО)			
Б(базовое ТО)			
Ф-1(через...ч.нал.)			
Ф-2(через...ч.нал.)			
Ф-3(через...ч.нал.)			
Ремонт(через ... ч.нал.)			
		Итого:	

Необходимые исходные данные для определения значения второго члена выражения (3.7) содержатся в приложениях 4 и 6.

Третий член выражения (3.7) из-за отсутствия полных и достоверных исходных данных при выполнении курсовой работы можно не рассчитывать, а принять его равным 10% от удельной оперативной трудоемкости ТО и Р самолета (первого члена выражения (3.7)).

Имея исходные данные для определения всех трех членов выражения (3.7) рассчитывается искомое значение показателя  $K_{OT}$  для рассматриваемого типа самолёта.

### **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:

$$P_y(t \leq t_3) = 1 - e^{-\mu * t};$$

Где  $\mu$  -интенсивность текущего ремонта;

$t_3$  –заданное время для устранения отказа.

В случаях, когда интенсивность текущего ремонта  $\mu$  является величиной постоянной во времени, а закон распределения времени устранения отказов-экспоненциальный,  $\mu$  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.3.5.

Таблица 3.5.

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

NN п.п.	Наименование изделий ФС(по табл.3.2.)	$t_y$	$\mu$	$P_y(t \leq t_3)$
1				
2				
...				

Анализ  $P_y(t \leq t_3)$  для изделия выполняется сравнением рассчитанного значения с нормативным ( $P_{унорм}=0,7$ ). При  $P_y(t \leq t_3) < P_{унорм}$  следует ожидать превышения времени стоянки самолета при оперативном ТО, что может привести 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 ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ*

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 предотказового состояния.

Выбор наиболее рациональной стратегии использования изделий производится в соответствии со схемами рис. 3.4 и 3.5 с учетом результатов анализа, выполненного в предыдущих разделах курсовой работы.

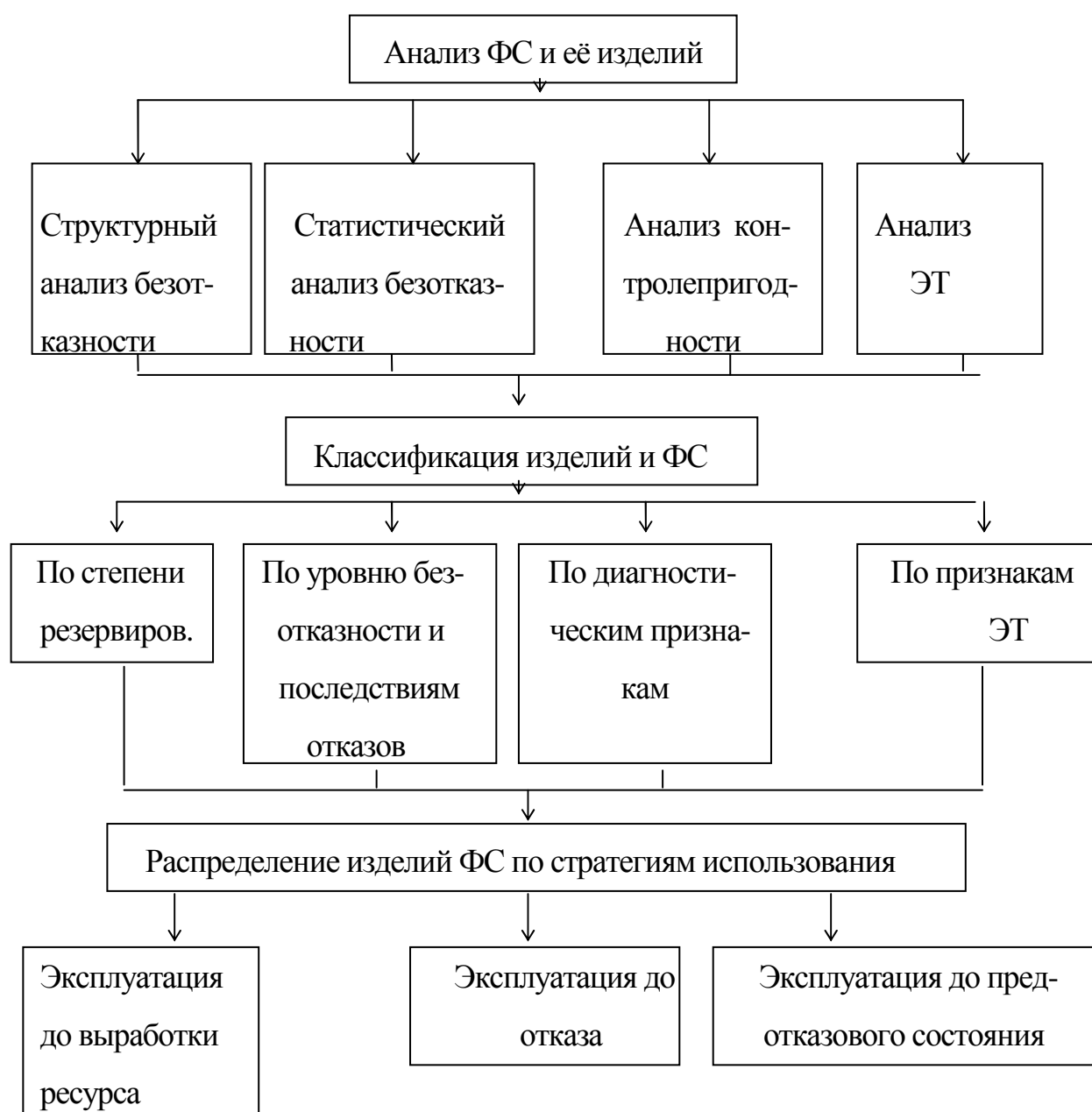


Рис. 3.4. Последовательность действий при выборе стратегий использования изделий ФС.



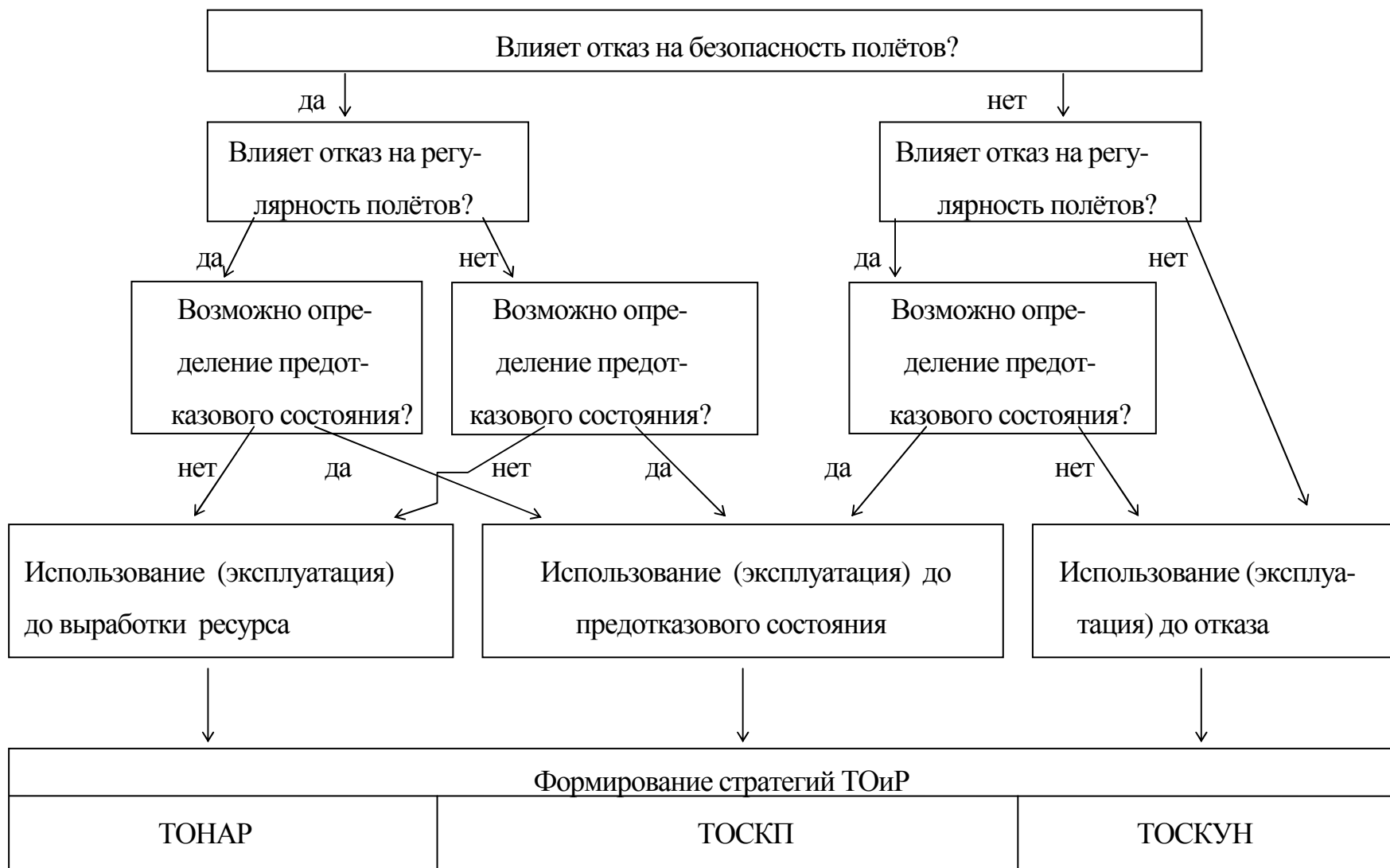


Рис. 3.5. Логическая схема выбора рациональных стратегий использования и ТО и Р для изделий ФС.



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 предотказового 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. 3.6).

Таблица 3.6

## Взаимосвязь стратегий эксплуатации и 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			

Результаты логического выбора стратегий использования изделий рассматриваемой ФС в соответствии со схемами, приведенными на рис.3.4 и 3.5, и последующее формирование наиболее рациональных стратегий ТО изделий, в соответствии с табл.3.6, должны быть обобщены и представлены по форме табл.3.7.

Таблица 3.7

## Результаты выбора стратегий ТО изделий ФС.

N п/п	Наименование изделий(по табл.3.2)	Влияет отказ изделия на безоп. полёта?	Влияет отказ изделия на регулярн. вылетов?	Возможно определение предотказового 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 ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЛА.

Формирование оптимального регламента технического обслуживания функциональной системы ЛА выполняется в два этапа:

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

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

#### 3.4.1 Определение периодичности технического обслуживания 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 .

N п/п	Степень влияния отказа изделия на безопасность полётов	Рекомендованная стратегия ТО	Наименование метода
1	2	3	4
1	Отказ влияет на без- опасность полётов	ТОНАР	Индивидуальный
2	Отказ не влияет на безопасность полётов	ТОСКУН	С учётом трудоёмкости ТО и Р
3	Отказ влияет на безопасность полётов, возможно определить предотказовое состояние	ТОСКП	С учётом развития не- исправности в отказ

Таблица 3.9

## Математическое обеспечение и критерии оптимизации

N п/п	Математическое обеспечение метода	Критерий оптимизации	Примечание
1	5	6	7
1	$P(t_{\text{ПР}}) = e^{-\omega_0 t_{\text{ПР}}}$	$P(t_{\text{ПР}}) \geq P_{\text{НОРМ}}$	$P_{\text{НОРМ}}$ – задаётся из условия обеспечения безопасности полётов. $P(t_{\text{ПР}})$ – вероятность безотказной работы за $t_{\text{ПР}}$ . $\omega_0$ -параметр потока отказ.
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 ТО и Р изделия, чел.-ч.
3	$P_{\text{Н,}\bar{0}}(t_{\text{ПР}}) = \frac{\omega_{\text{Н}}}{\omega_0 - \omega_{\text{Н}}} \cdot (e^{-\omega_{\text{Н}} t_{\text{ПР}}} - e^{-\omega_0 t_{\text{ПР}}})$	$P_{\text{Н,}\bar{0}}(t_{\text{ПР}}) \rightarrow \max$	$P_{\text{Н,}\bar{0}}$ – вероятность появления неисправности и непоявления 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 предотказовое 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. 3.6.

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  $P(t_{\text{ТР}})$  определяется подстановкой различных значений  $t_{\text{ТР}}$  в основное уравнение метода:

$$P(t_{\text{ТР}}) = e^{-\omega_0 \cdot t_{\text{ТР}}} \quad (3.9)$$

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

Таблица 3.10

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

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

Для определения  $t_{\text{ТР.ОПТ}}$  рекомендуется использовать  $P_{\text{НОРМ}} \geq 0,999$ .

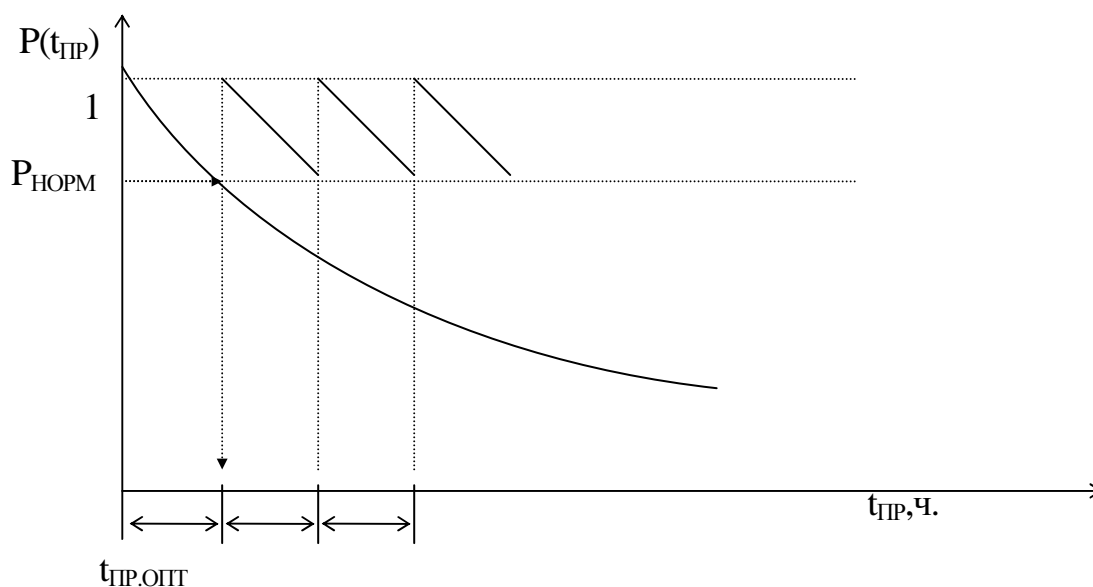


Рис. 3.6. Схема определения  $t_{\text{ТР.ОПТ}}$  изделий ФС индивидуальным методом.

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 ( $T_{\text{ТОиР}}$ ).

$$П(t_{\text{ПР}}) = \left[ \frac{P(t_{\text{ПР}})}{T_{\text{ТОиР}}} \right]_{\text{max}} ; \quad (3.10)$$

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)  $T_{\text{Р}}$ .

$$T_{\text{ТОиР}} = T_{\text{ТО}} + T_{\text{Р}} \quad (3.11)$$

В свою очередь

$$T_{\text{ТО}} = \overline{T_{\text{ТО}}} \cdot \frac{\tau_{\text{ПР}}}{t_{\text{ПР}}} ; \quad (3.12)$$

$$T_{\text{Р}} = \overline{T_{\text{Р}}} \cdot \omega_0 \cdot t_{\text{ПР}} ; \quad (3.13)$$

где:  $\overline{T_{\text{ТО}}}$ ,  $\overline{T_{\text{Р}}}$  - средние значения трудоемкости разового планового обслуживания и устранения неисправности или отказа, соответственно;  $\tau_{\text{ПР}}$  - действующая периодичность ТО изделия;  $t_{\text{ПР}}$  - варьируемая периодичность ТО;  $\omega_0$  - параметр потока отказов изделия (статистическая оценка).

Развернутое выражение для определения  $П(t_{\text{ПР}})$  имеет вид:

$$П(t_{\text{ПР}}) = \left[ \frac{e^{-\omega_0 \cdot t_{\text{ПР}}}}{\overline{T_{\text{ТО}}} \cdot \frac{\tau_{\text{ПР}}}{t_{\text{ПР}}} + \overline{T_{\text{Р}}} \cdot \omega_0 \cdot t_{\text{ПР}}} \right]_{\text{max}} \quad (3.14)$$

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  $П(t_{\text{ПР}}) \rightarrow \text{max}$ , результаты расчета представляются в форме табл. 3.11.

Таблица 3.11

Результаты расчета  $T_{ТОиР}$ ,  $\Pi$  и  $t_{ПР.ОПТ}$ .

$N_{\Pi/\Pi}$	$t_{ПР}$	$P(t_{ПР})$	$T_{ТО}$	$T_P$	$T_{ТОиР}$	$\Pi(t_{ПР})$	$t_{ПР.ОПТ}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							
...							
n							

В графе 2 задаются различные значения  $t_{ПР}$ . Определяются значения  $P(t_{ПР})$ ,  $T_{ТОиР}$ ,  $\Pi(t_{ПР})$  и для одного из изделий дается графическое изображение зависимостей  $P(t_{ПР})$ ,  $T_{ТОиР}$  и  $\Pi(t_{ПР})$  от  $t_{ПР}$  (рис. 3.7).

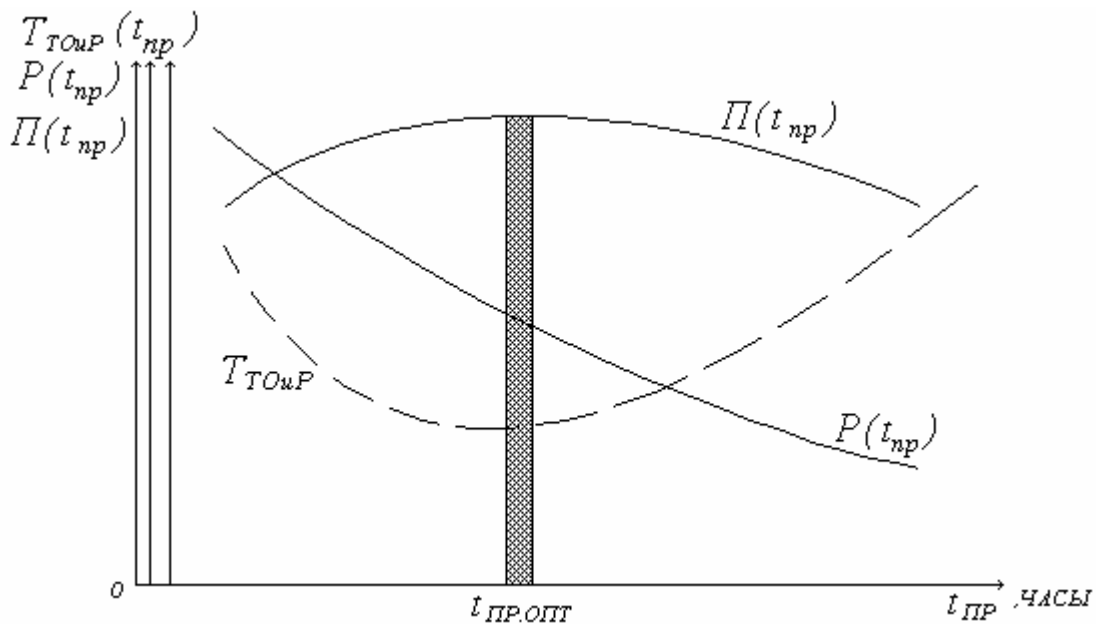


Рис. 3.7. Характер изменения  $P(t_{ПР})$ ,  $T_{ТОиР}$ ,  $\Pi(t_{ПР})$  в зависимости от  $t_{ПР}$ .

Оптимальное значение  $t_{ПР.ОПТ}$  находится в зоне максимального значения  $\Pi(t_{ПР})_{\max}$ .

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. 3.8).

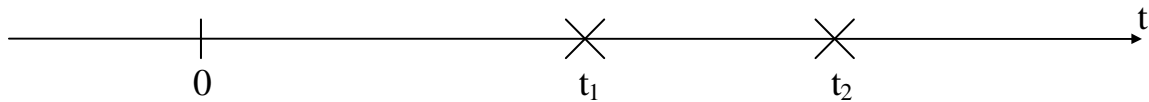


Рис. 3.8. Модель развития отказа:

0 - t<sub>1</sub> - время развития неисправности;

t<sub>1</sub> - момент появления неисправности;

t<sub>1</sub> - t<sub>2</sub> - время развития отказа;

t<sub>2</sub> - момент возникновения отказа.

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

$$P_{H,\bar{O}}(t_{TP}) = \left[ \frac{\omega_H}{\omega_0 - \omega_H} \cdot (e^{-\omega_H t_{TP}} - e^{-\omega_0 t_{TP}}) \right]_{max}; \quad (3.15)$$

где t<sub>TP</sub> - периодичность ТО;

$\omega_H, \omega_0$ - параметр потока неисправностей и отказов, соответственно.

Необходимые для расчёта исходные данные для тех изделий, периодичность которых определяется по критерию  $P_{H,\bar{O}}(t_{TP}) \rightarrow max$ , ( $\omega_H$  и  $\omega_0$ ) можно получить из Приложения 3. Результаты расчёта представляются в форме табл. 3.12.

Таблица 3.12

Результаты расчёта  $P_{\bar{H}}(t_{\text{п.т}}), P_O(t_{\text{нр}}), P_{\bar{H},\bar{O}}(t_{\text{п.р}})$  и  $t_{\text{п.р.опт}}$ .

№п/п	$t_{\text{п.р}}$	$P_{\bar{H}}(t_{\text{п.р}})$	$P_O(t_{\text{п.р}})$	$P_{\bar{H},\bar{O}}(t_{\text{п.р}})$	$t_{\text{п.р.опт}}$
1	2	3	4	5	6
1					
2					
...					
n					

В графе 2 задаются различные значения  $t_{\text{п.р}}$ . Определяются значения:  $P_{\bar{H}}(t_{\text{п.р}}) = e^{-\omega_H t_{\text{п.р}}}$ ;  $P_O(t_{\text{п.р}}) = 1 - e^{-\omega_O t_{\text{п.р}}}$ ;  $P_{\bar{H},\bar{O}}(t_{\text{п.р}})$  по выражению (3.14), а для одного из изделий дается графическое изображение зависимостей  $P_{\bar{H}}(t_{\text{п.р}})$ ,  $P_O(t_{\text{п.р}})$  и  $P_{\bar{H},\bar{O}}(t_{\text{п.р}})$  от  $t_{\text{п.р}}$  (рис. 3.9).

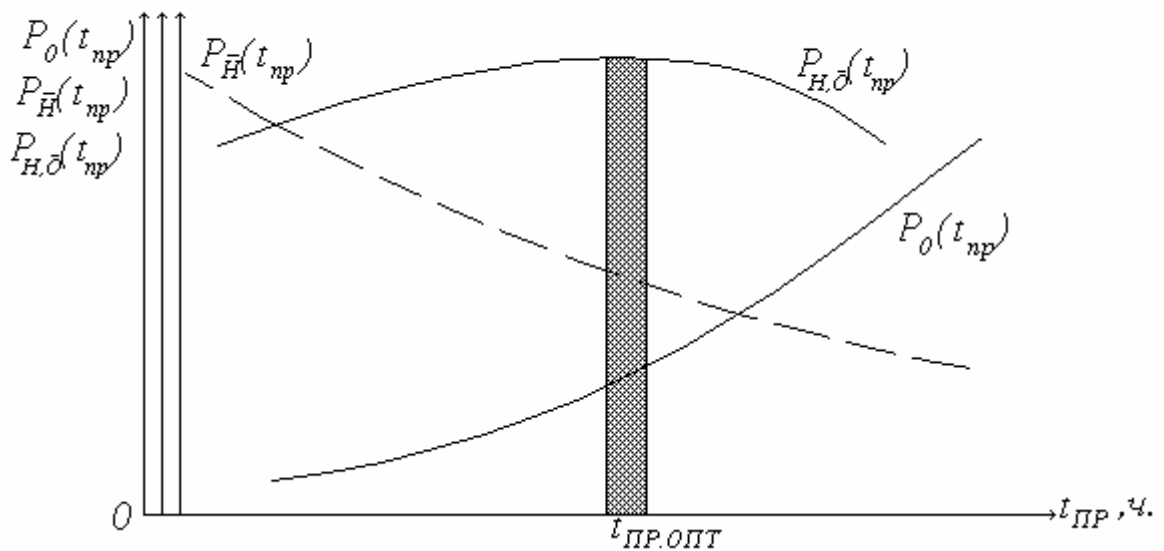


Рис. 3.9. Характер изменения  $P_{\bar{H}}(t_{\text{п.р}}), P_O(t_{\text{п.р}}), P_{\bar{H},\bar{O}}(t_{\text{п.р}})$  в зависимости от  $t_{\text{п.р}}$ .

Оптимальные значения  $t_{\text{п.р.опт}}$  будут при максимальном значении  $P_{\bar{H},\bar{O}}(t_{\text{п.р}})_{\text{max}}$ .

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 б).

#### 3.4.2. Группировка работ по техническому обслуживанию изделий в формы регламента 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 заметного влияния на безопасность полетов.

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

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

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

В конечном счете задача группировки индивидуальных периодичностей ТО изделий (тпр.опт.) в формы регламента заключается в том, чтобы получить наилучший (с точки зрения дополнительных затрат в отношении трудоемкости и стоимости) вариант структуры регламента ФС (числа форм ТО и периодичности их выполнения).

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

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

Схемы группировки работ по ТО изделий в формы регламента для каждой из групп представлены на рис. 3.10 и 3.11 соответственно.

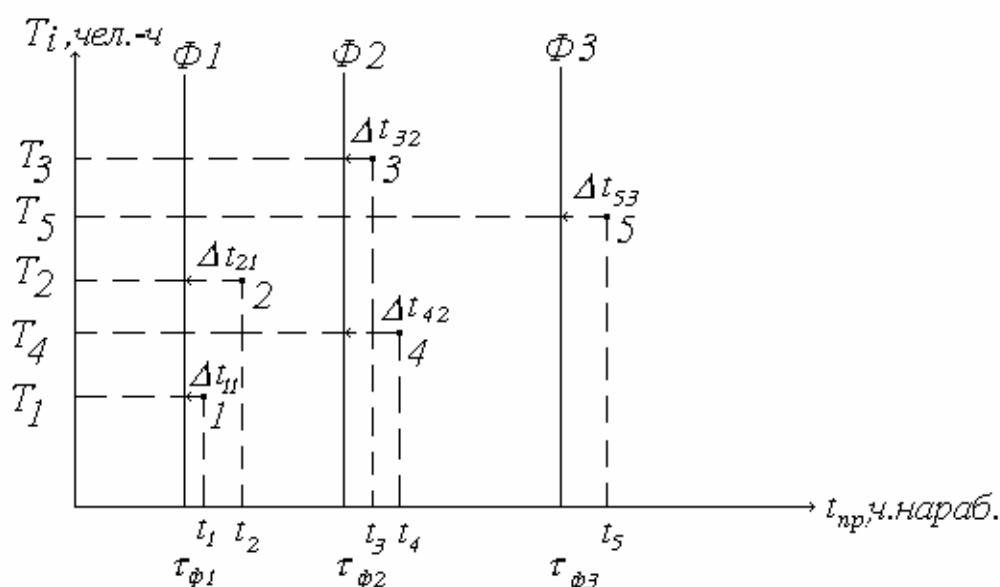


Рис. 3.10. Схема группировки работ по ТО изделий в формы регламента ФС (для изделий I группы).

На схеме в качестве примера условно представлены значения  $t_{\text{тпр.опт}}$  ( $t_1, t_2, \dots, t_5$ ) для пяти изделий ФС, отказы которых влияют на безопасность полетов, и трудоемкости

работ по ТО  $T_i$  ( $T_1, T_2, \dots, T_5$ ). Цифрами 1, 2, ..., 5 обозначены номера изделий ФС. Работы по ТО таких изделий связаны с предотвращением появления опасных отказов и должны выполняться с периодичностью, не превышающей  $t_{\text{пр.опт}}$  ( $t_i \leq t_{\text{пр.опт}}$ ) 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 для ЛА: (Ф-1, Ф-2, Ф-3) выполняемых с периодичностью  $\tau_{\text{Ф1}}, \tau_{\text{Ф2}}, \tau_{\text{Ф3}}$  соответственно. Значения периодичности даны в Приложении 4.

Из рассмотрения схемы, приведенной на рис 3.10, следует, что при группировке работ в соответствующую  $j$ -ю форму регламента потеря по наработке для каждого  $i$ -го изделия составит  $\Delta t_{ij}$ . 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  $\Delta T_I^p$  определяется из выражения :

$$\Delta T_I^p = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_I} \frac{T_i}{t_i} \cdot \Delta t_{ij}, \text{ [чел. ч]} \quad (3.16)$$

где  $i$  - порядковый номер изделия;

$n_I$  - количество изделий в I-ой группе;

$j$  - порядковый номер формы регламента ТО;

$k$  - количество форм регламента;

$T_i$  - трудоемкость технического обслуживания  $i$ -го изделия;

$t_i$  - оптимальная периодичность ТО  $i$ -го изделия;

$\Delta t_{ij}$  – потери по наработке от совмещения  $t_{\text{пр.опт}}$  с  $j$ -й формой регламента.

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:

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

где  $n_j$ - количество  $j$ -й формы регламента повторяющейся за цикл.

Для рассматриваемого примера (рис. 3.10) имеем:

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

На рис. 3.11 представлены периодичности  $\tau_{\text{пр.опт}}$  и трудоемкости  $T_i$  технического обслуживания 4-х изделий ФС, отказы которых не влияют на безопасность полетов (II группа). Для группировки операций ТО в заданные формы регламента ЛА (Ф-1, Ф-2, Ф-3) с периодичностью  $\tau_{\Phi_1}, \tau_{\Phi_2}, \tau_{\Phi_3}$  используется критерий минимальных трудозатрат ( $\min T_i$ ).

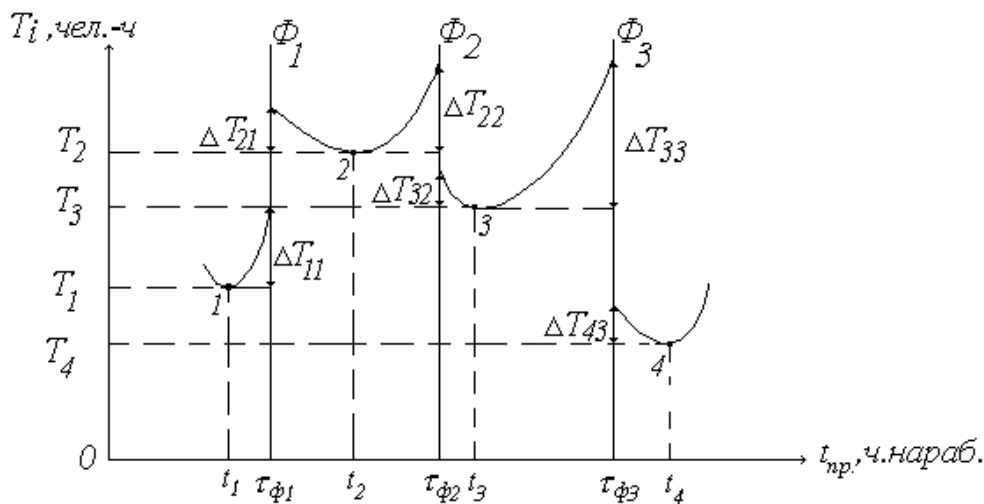


Рис. 3.11. Схема группировки работ по ТО изделий в оптимальные формы регламента ФС (для изделий II группы)

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 ( $\Delta T_{ij}$ ) 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 б) или с использованием формул 3.11 - 3.13.

Величины  $\Delta T_{ij}$  вычисляются подстановкой  $t_{пр}=\tau_{фj}$  в расчетные формулы 3.11 - 3.13;  
 $\tau_{фj}$  - периодичность выполнения j-ой формы регламента ЛА.

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

$$\Delta T_{II} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_{II}} \Delta T_{ij \min} , \quad (3.17)$$

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

i - порядковый номер изделия;

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

j - порядковый номер формы регламента ТО;

k - количество форм регламента.

Для рассматриваемого примера (рис. 3.11) 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 Ф-1 и Ф-2.

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

$$\Delta T_{II} = \Delta T_{11} \cdot n_{\phi-1} + \Delta T_{21} \cdot n_{\phi-2} + \Delta T_{32} + \Delta T_{43} .$$

Для изделий 2-й группы так же, как и для 1-й 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 с учетом двух групп изделий выбирается по критерию :

$$\Delta T = (\Delta T_I + \Delta T_{II})_{min} , \quad (3.17)$$

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

- 1) базовый, при котором для группировки принимается действующая периодичность форм регламента ЛА в соответствии с Приложением 4;
- 2) расчетный , при котором число форм регламента ФС и периодичность выполнения форм выбираются студентом самостоятельно на основе анализа материалов, полученных в подразделе 3.4.1, и в табл. 3.13.

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

Таблица 3.14

Выбор оптимального регламента ФС .

Вариант регламента	Периодичность форм ТО ФС, ч.нар.			$\Delta T_I$ чел.-ч.	$\Delta T_{II}$ чел.-ч	$\Delta T$ чел.-ч
	$\tau_{Ф1}$	$\tau_{Ф2}$	$\tau_{Ф3}$			
1	2	3	4	5	6	7
Базовый						
Расчётный						

В результате оценки дополнительных затрат трудоемкости ТО при реализации базового и расчетного вариантов из них выбирается наилучший:

при  $\Delta T_{баз} < \Delta T_{расч}$  -базовый ;

при  $\Delta T_{баз} > \Delta T_{расч}$  - расчетный.

### 3.5. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ 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.

Таблица 3.15

Показатели эффективности ПТЭ ЛА.

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

Критерий эффективности ПТЭ	Показатели эффективности ПТЭ ЛА			
	обозначение	наименование	определение	единицы измерения
1 3.Исправность парка ЛА	2 К <sub>П</sub>	3 Удельные суммарные простои на ТОиР.	4 Отношение суммарных простоев на ТОиР к налёту парка ЛА за рассматриваемый период эксплуатации.	5 ч/ч.нал.
	К <sub>ИСПР</sub>	Коэффициент исправности.	Отношение фонда времени ЛА в исправном состоянии, включая полёты, к общему календарному фонду времени за рассматриваемый период.	%
4.Экономичность ТОиР	К <sub>Т</sub>	Удельная суммарная трудоемкость ТОиР.	Отношение суммарной трудоёмкости ТОиР к налёту парка ЛА за рассматриваемый период эксплуатации.	чел.-ч/ ч.нал

Обеспечение эффективности проектируемого ПТЭ ЛА производится по схеме, представленной на рис. 3.12.

Оценка эффективности проектируемого ПТЭ конкретного типа ЛА производится сравнением рассчитанных показателей эффективности с их нормативными значениями. В случае, если расчетные значения показателей эффективности проектируемого ПТЭ превышают нормативные ( $\Pi_{НОРМ} \leq \Pi_{РАСЧ}$ ) - цель достигнута, проектируемый ПТЭ действительно эффективен. В противном случае необходимо дополнительно разработать мероприятия, повышающие эффективность проектируемого ПТЭ, скорректировать его характеристики и заново рассчитать показатели. Задача считается выполненной при соблюдении условия  $\Pi_{НОРМ} \leq \Pi_{РАСЧ}$ .

### ***3.5.1. Построение модели процесса технической эксплуатации ЛА.***

Для оценки эффективности технической эксплуатации используется полумарковская модель ПТЭ. Состояния ПТЭ и последовательность переходов ЛА из состояния в состояние иллюстрируется графом. На рис. 3.13. 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. 3.13); перечень возможных состояний ПТЭ ЛА (табл. 3.16);

заданные условия эксплуатации парка ЛА (приложение 7), а также данные, полученные в предыдущих разделах курсовой работы.

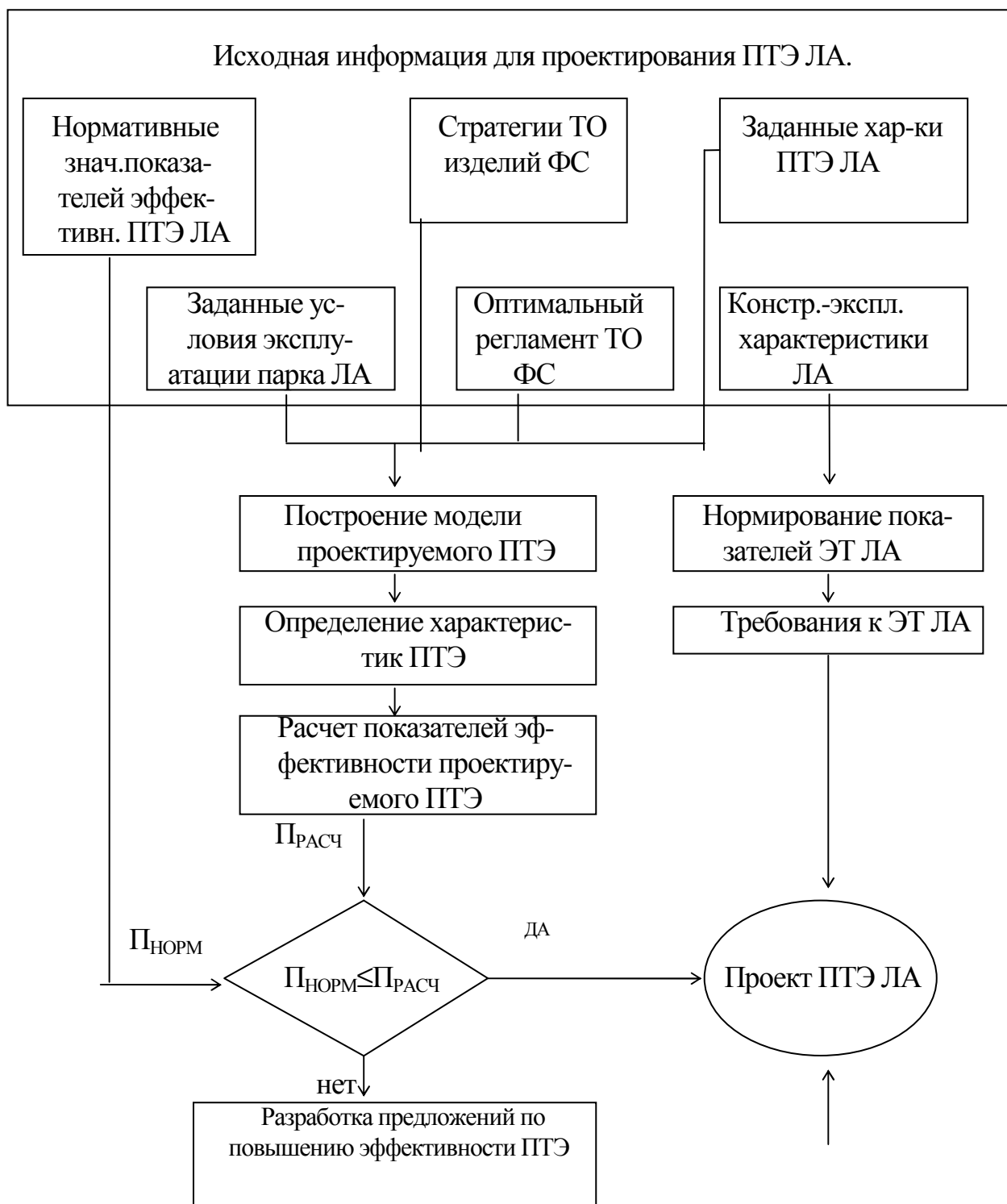


Рис. 3.12. Блок-схема обеспечения эффективности проектируемого ПТЭ ЛА.

Таблица 3.16.

## Перечень возможных состояний ПТЭ ЛА.

Шифр состояния	Наименование состояния	Границы состояния	
		начало	конец
1	2	3	4
П	Использование по назначению (полёт)	взлёт	посадка
Е	Подготовка к полёту(Ф-А)	начало Ф-А	окончание Ф-А
Г	Неиспользованное время (готовность)	готовность	взлёт
А	В резерве	назначение в резерв	снятие из резерва
О <sub>Б</sub>	Ожидание Ф-Б	посадка	начало Ф-Б
Т <sub>Б</sub>	Обслуживание по Ф-Б	начало Ф-Б	окончание Ф-Б
О <sub>ПФ</sub>	Ожидание периодического ТО	посадка	начало периодического ТО
Т <sub>П</sub> (Ф1)	Периодическое ТО (Ф1)	начало Ф1	окончание Ф1
Т <sub>П</sub> (Ф2)	Периодическое ТО (Ф2)	начало Ф2	окончание Ф2
Т <sub>П</sub> (Ф3)	Периодическое ТО (Ф3)	начало Ф3	окончание Ф3
У	Устранение неисправностей	окончание ТО	дата готовности
О <sub>Р</sub>	Ожидание отправки в ремонт	начало ожидания отправки в ремонт	отправка в ремонт
Р	Ремонт	отправка в ремонт	прибытие после ремонта
З	Отсутствие запчастей	окончание ТО	дата готовности
Дв	Ожидание поступления двигателей	окончание ТО	дата готовности
Д	Доработки по бюллетеням	начало доработок	окончание доработок
Ж	Рекламации промышленности	обнаружение неисправности	устранение неисправности
З <sub>В</sub>	Задержка вылета	начало задержки	окончание задержки

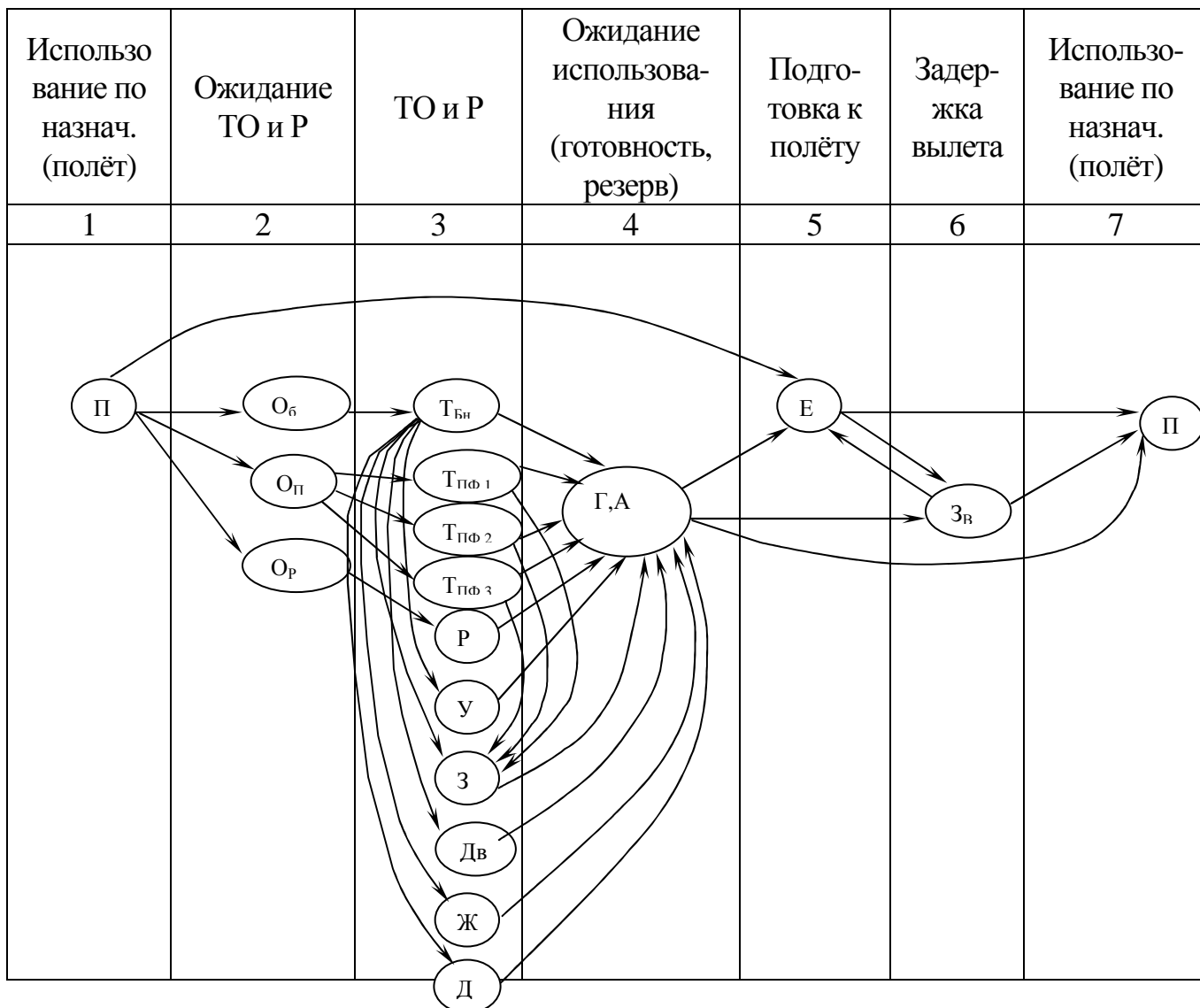


Рис. 3.13. Примерный граф состояний и переходов ПТЭ ЛА.

Обозначения состояний по табл. 3.15.

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

Характеристики модели проектируемого ПТЭ:  $n_i, \pi_i, \mu_i, \tau_i$ , 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;

$$\pi_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^N n_i}; \mu_i = \frac{t_i}{n_i}; \tau_i \text{ (из приложения 8, 9); } \pi_i \cdot \mu_i; \pi_i \cdot \tau_i.$$

Таблица 3.17

Формирование характеристик проектируемого ПТЭ ЛА .

Характеристика			Способ определения формула	Примечание
N п/п	Наименование	Обознач.		
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)

Продолжение табл. 3.17

Характеристика			Способ определения формула	Примечание
N п/п	Наименование	Обознач.		
1	2	3	4	5
2	Кол-во попаданий в состоянии	$n_i$	$n_{\Pi} = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{oA}}{t_{з.л}}$ $n_E = 1,1 \cdot n_n$ $n_{ТБ} = \frac{365}{\tau_B} \cdot N_{ЛА} - (n_{\Phi 1} + n_{\Phi 2} + n_{\Phi 3})$ $n_{OB} = n_{ТБ}$ $n_{\Phi 1} = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_{\Phi 1}} - (n_{\Phi 2} + n_{\Phi 3} + n_p)$ $n_{\Phi 2} = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_{\Phi 2}} - (n_{\Phi 3} + n_p)$ $n_{\Phi 3} = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_{\Phi 3}} - n_p$ $n_p = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{T_{PEC.C}}$ $n_{OP} = n_p$ $n_{\Pi\Phi} = n_{\Phi 1} + n_{\Phi 2} + n_{\Phi 3}$ $n_{O\Pi\Phi} = n_{\Pi\Phi}$ $n_y = 0,05 \cdot n_n,$ $n_3 = 0,15 \cdot n_{\Pi\Phi}$ $n_d = 0,1 \cdot n_{\Pi\Phi},$ $n_{ж} = 0,03 \cdot n_{\Pi\Phi}$ $n_{зв} = 0,05 \cdot n_{\Pi},$ $n_A = 0,1 \cdot n_{\Pi}$ $n_{Г} = 0,15 \cdot n_{\Pi},$ $n_{дв} = 0,05 \cdot n_{\Pi\Phi}$	<p><math>T_{ГСС}</math> – средний годовой налёт на списочный ЛА (приложение 4)</p> <p><math>N_{ЛА}</math> – заданный объём парка ЛА (приложение 11)</p> <p><math>\bar{t}_{БП}</math> - средняя длительность беспосадочного полёта (приложение 4)</p> <p><math>\tau_B</math> – периодичность выполнения формы Б в сутках (приложение 4)</p> <p><math>\tau_{\Phi 1}, \tau_{\Phi 2}, \tau_{\Phi 3}</math> – периодичность выполнения <math>\Phi 1, \Phi 2, \Phi 3</math>, рассчитанная для оптимального регламента (табл. 3.13). Данную периодичность условно можно принять и для ЛА в целом.</p> <p><math>n_{\Pi\Phi}</math> – общее число попаданий ЛА на периодические формы ТО.</p>
3	Относительная частота попадания в состоянии	$\pi_i$	$\pi_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^N n_i}$	

Продолжение табл. 3.17

Характеристика			Способ определения формула	Примечание
N п/п	Наименование	Обознач.		
1	2	3	4	5
4	Среднее время пребывания в состоянии, час.	$\mu_i$	$\mu_i = \frac{t_i}{n_i}$ $\mu_{\Pi} = \bar{t}_{Б. \Pi}$	$t_i$ -суммарное время пребывания парка ЛА в $i$ -ом состоянии(приложение 8).*)
5	Средние трудозатраты в состоянии ТОиР, чел.-ч	$\tau_i$	Значения $\tau_i$ определяются по приложению 9.	

\*) Примечание. Перед тем, как определять  $\mu_i$  по состояниям, необходимо проверить условие:  $\sum_{i=1}^N t_i = 8760 \cdot N_{ЛА}$ . При  $\sum_{i=1}^N t_i < 8760 \cdot N_{ЛА}$  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	$n_i$	$\pi_i$	$t_i$	$\mu_i$	$\tau_i$	$\pi_i \cdot \mu_i$	$\pi_i \cdot \tau_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
П							
Е							
...							



### 3.5.2. Расчет показателей и оценка уровня эффективности проектируемого ПТЭ ЛА.

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.

Таблица 3.19

Расчетные формулы для определения показателей.

Показатель	Расчётная формула	Примечание
1	2	3
$R_{100\text{ТП}}$	$R_{100\text{ТП}} = \left(1 - \frac{n_{3B}}{n_{\text{П}}}\right) \cdot 100\%$	$n_{3B}, n_{\text{П}}$ -количество попаданий в состояния $З_B$ и П.
$K_{\text{И}}$	$K_{\text{И}} = \frac{\pi_{\text{п}} \cdot \mu_{\text{п}}}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	$\pi_i, \mu_i$ -характеристики $i$ -го состояния ПТЭ. $\pi_{\text{п}}, \mu_{\text{п}}$ -характеристики состояния П.
$K_{\text{ИР}}$	$K_{\text{СТ}} = \frac{\pi_{\text{п}} \cdot \mu_{\text{п}} + \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	$\pi_j, \mu_j$ -характеристики состояний: Е, О <sub>Б</sub> , Т <sub>Б</sub> , $З_B$ .
$K_{\text{ВИР}}$	$K_{\text{еСт}} = \frac{\pi_{\text{п}} \cdot \mu_{\text{п}} + \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	$\pi_j, \mu_j$ -характеристики состояний: Е, О <sub>Б</sub> , Т <sub>Б</sub> , $З_B$ , А, Г.
$K_{\text{П}}$	$K_{\text{п}} = \frac{\sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\pi_{\text{п}} \cdot \mu_{\text{п}}}, \left[ \frac{q}{\text{ч.нал}} \right]$	$\pi_j, \mu_j$ -характеристики состояний: О <sub>П</sub> , О <sub>Р</sub> , Ф1, Ф2, Ф3, У, Р, З, Д, Ж.
$K_{\text{ИСПР}}$	$K_{\text{С.,пТ}} = \frac{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i - \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	$\pi_j, \mu_j$ -характеристики состояний: О <sub>П</sub> , О <sub>Р</sub> , Ф1, Ф2, Ф3, У, Р, З, Д, Ж, Дв

Показатель	Расчётная формула	Примечание
1	2	3
$K_T$	$K_T = \frac{\sum_j \pi_j \cdot \tau_j}{\pi_{\text{п}} \cdot \mu_{\text{п}}}, \left[ \frac{\text{чел.} - \text{ч}}{\text{ч.нал}} \right]$	$\pi_j, \tau_j$ -характеристики состояний :Е, Т <sub>Б</sub> , Ф1, Ф2, Ф3, Р, У, Д.

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

Для оценки уровня эффективности используются относительные показатели

$$\bar{\Pi} = \Pi_{\text{РАСЧ}} / \Pi_{\text{НОРМ}}, \quad (3.18)$$

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

При условии:

$$\bar{\Pi} < 1 - \text{для } K_{\text{П}}, K_{\text{Т}};$$

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

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.

Критерий Показатели		Регулярн.	Использов.			Исправн.		Экономич.
		$P_{100\text{ ПП}}$	$K_{И}$	$K_{ИР}$	$K_{ВИР}$	$K_{П}$	$K_{ИСПР}$	$K_{Т}$
Для проектируемого ПТЭ	$P_{РАСЧ}$							
Нормативные	$P_{НОРМ}$							
Относительные	$\bar{P}$							
Оценка	Соответствует (+)							
	Не соответствует (-)							

### 3.5.3. Разработка предложений по совершенствованию процесса ТО и улучшению эксплуатационной технологичности ЛА

В качестве основы для разработки предложений принимаются полученные характеристики проектируемого ПТЭ (табл. 3.18). Среди всех состояний ПТЭ, кроме состояния использования по назначению "П" выделяются состояния с наибольшими значениями характеристик  $\pi_i \cdot \mu_i$  и  $\pi_i \cdot \tau_i$  (доминирующие состояния).

Предложения по совершенствованию ПТЭ 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.

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

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

Для определения нормативных значений показателей  $K_{OP}$  и  $K_{OT}$  используется номограмма (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  $K_{OP}$  для интересующего типа ЛА являются:

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

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

$\eta_1$  - статистический коэффициент (Приложение 11).

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

$K_{OP.O}$  - для оперативного цикла эксплуатации;

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

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

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

$m_0$  - масса конструкции ЛА (Приложение 11);

$\bar{t}_{БП}$  - длительность беспосадочного полета (Приложение 4);

$\eta_2$  - статистический коэффициент (Приложение 11).

С помощью номограмм (Приложение 11, рис. П11.3 и П11.4) определяются нормативные значения показателей:  $K_{OT.O}$  - для оперативного цикла эксплуатации и  $K_{OT.П}$  - для цикла восстановления. В сумме значения этих двух показателей составят

нормативное значение искомого показателя  $K_{OT}$  - удельной суммарной оперативной трудоемкости ТОиР ЛА.

Данные о показателях  $K_{OP}$  и  $K_{OT}$  сводятся в табл. 3.21.

Таблица 3.21

Значения показателей  $K_{OP}$  и  $K_{OT}$ .

Показатель	$K_{OP}$	$K_{OT}$
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. Техническая эксплуатация летательных аппаратов. Учебник для вузов. Под ред. Н.Н.Смирнова.-М.:Транспорт,1990.
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. Смирнов Н.Н. Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов. Части 1 и 2. – МГТУ ГА, 2001, 2003.
5. Эксплуатационная надёжность и режимы технического обслуживания самолётов/ Н.Н. Смирнов, А.М. Андронов, Н.И. Владимиров, Ю.И. Лемин. М.:Транспорт,1974.
6. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А., Чинючин Ю.М. Надёжность и эксплуатационная технологичность летательных аппаратов.-М.:МИИГА,1989.
7. Деркач О.Я. Формирование систем технического обслуживания самолётов при их создании.-М.:Машиностроение,1994.
8. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию.-2-е изд.-М.:Транспорт,1987.

# Приложение 1.

Московский государственный технический университет  
гражданской авиации  
Кафедра технической эксплуатации ЛА и АД

Техническое задание  
на курсовую работу по дисциплине  
“Основы теории эксплуатации АТ”

студенту \_\_\_\_\_, группы \_\_\_\_\_

## I. Задачи, подлежащие решению:

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

## II. Тип ЛА

Функциональная система(подсистема): \_\_\_\_\_

Изделия ФС: \_\_\_\_\_

Условия эксплуатации: № варианта \_\_\_\_\_

## III. Литература: Пособие по выполнению КР по дисциплине “ОТЭАТ”, М., РИО МГТУГА, 2007.

Начало работы над КР- февраль, окончание - май 200... г.

Руководитель: \_\_\_\_\_  
(должность) (подпись) Ф.И.О.

Студент: \_\_\_\_\_  
(подпись) Ф.И.О.

“ “ \_\_\_\_\_ 200...г.

## Приложение 2.

Московский государственный технический университет  
гражданской авиации

Кафедра технической эксплуатации ЛА и АД

“Проверен”  
Руководитель КП  
\_\_\_\_\_  
(степень, звание, Ф.И.О.)  
\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

“Защищён”  
с оценкой \_\_\_\_\_  
Коммиссия: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)  
\_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)  
“ “ \_\_\_\_\_ 200... г.

КУРСОВАЯ РАБОТА  
по дисциплине “Основы теории эксплуатации АТ”  
на тему  
“Проектирование эффективного процесса  
технической эксплуатации самолета \_\_\_\_\_”

\_\_\_\_\_  
(шифр КП)

Курсовую работу выполнил  
студент \_\_\_\_\_  
Ф.И.О.  
группа \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(подпись) (дата)

Москва 200... г.



## Приложение 3

Данные о надежности, действующей периодичности ТО изделий, трудоемкости обслуживания и устранения неисправностей.

Наименование Ф.С. и изделий	Параметр потока отказов $\omega_0(t)$	Параметр потока неисправности $\omega_H(t)$	Среднее время устранения неисправности — й $t_y, \text{ч}$	Действующая периодичность ТО изделия $\tau_{\text{пр}}, \text{ч}$	Средняя трудоемкость, чел.- ч.	
					Технического обслуживания — $T_{\text{ТО}}$	Устранения неисправности — й $T_p$
1	2	3	4	5	6	7
1. Гидравлическая система						
Клапан обратный	$0,7 \cdot 10^{-5}$	—	0,5	900	0,15	1,0
Гидронасос	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	0,6	300	0,15	0,8
Гидроаккумулятор	$0,2 \cdot 10^{-4}$	—	0,8	900	0,4	1,1
Клапан предохранительный	$4,1 \cdot 10^{-4}$	—	0,6	300	0,2	1,1
Гидроцилиндр	$0,5 \cdot 10^{-5}$	—	0,8	900	0,3	1,2
Кран электромагнитный	$6,8 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	0,5	300	0,15	1,3
Фильтр	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,3	300	0,4	0,6
Клапан челночный	$0,8 \cdot 10^{-6}$	—	0,6	900	0,2	1,1
Реле давления	$1,2 \cdot 10^{-5}$	—	0,4	300	0,15	0,7
Гидробак	$2,5 \cdot 10^{-6}$	—	1,1	900	0,3	1,0
Трубопровод	$1,6 \cdot 10^{-6}$	—	0,9	900	0,4	1,3

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
2. Топливная система						
Топливный бак	$1,2 \cdot 10^{-6}$	–	1,7	900	0,5	2,3
Перекрывной клапан	$2,3 \cdot 10^{-5}$	–	0,4	300	0,2	1,2
Фильтр	$0,2 \cdot 10^{-5}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$	0,3	300	0,4	0,8
Расходомер	$0,7 \cdot 10^{-4}$	–	0,5	300	0,3	0,9
Подкачивающий насос	$2,4 \cdot 10^{-5}$	–	1,2	900	0,15	1,2
Порционер	$3,7 \cdot 10^{-5}$	–	0,6	300	0,4	1,1
Центробежный насос	$4,2 \cdot 10^{-5}$	–	0,4	900	0,3	1,3
Перекачивающий насос	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,5	900	0,2	1,2
Обратный клапан	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,4	300	0,3	1,2
Насос регулятор	$2,3 \cdot 10^{-5}$	–	0,8	900	0,4	1,4
трубопровод	$1,4 \cdot 10^{-6}$	–	0,9	900	0,4	1,3

**Продолжение табл. 3**

1	2	3	4	5	6	7
3. Система кондиционирования воздуха						
Воздухо-воздушный радиатор	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	0,9	900	0,4	2,0
Турбохолодильник	$2,3 \cdot 10^{-5}$	–	0,9	300	0,5	1,2
Обратный клапан	$2,7 \cdot 10^{-6}$	–	0,3	900	0,2	1,1
Заслонка регулирующая	$3,2 \cdot 10^{-4}$	–	1,2	300	0,25	1,1
Регулятор давления	$0,3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,9	900	0,15	0,9
Распределительный кран	$6,8 \cdot 10^{-5}$	–	0,4	900	0,2	1,2
Фильтр	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,3	300	0,4	0,8
Запорный кран	$2,3 \cdot 10^{-5}$	–	0,6	900	0,3	0,9
Эжектор	$0,8 \cdot 10^{-4}$	–	1,1	300	0,3	1,1
Воздухозаборник	$0,5 \cdot 10^{-5}$	–	1,2	900	0,2	1,2

**Продолжение табл. 3**

1	2	3	4	5	6	7
4. Система регулирования давления						
Электроклапан переключения	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	0,9	300	0,5	1,4
Регулятор избыточного давления	$0,3 \cdot 10^{-5}$	–	0,9	300	0,4	1,2
Фильтр	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,3	300	0,4	0,9
Клапан выпускной	$0,8 \cdot 10^{-5}$	–	0,3	900	0,3	1,2
Предохранительный клапан	$0,9 \cdot 10^{-4}$	–	0,4	900	0,2	1,3
Командный прибор	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	1,2	300	0,5	1,7
Сигнализатор давления	$1,1 \cdot 10^{-4}$	–	0,5	300	0,3	0,9
Челночный клапан	$0,8 \cdot 10^{-4}$	–	0,8	900	0,2	1,2
Обратный клапан	$2,7 \cdot 10^{-5}$	–	0,6	900	0,2	1,2
Кран разгерм.	$3,3 \cdot 10^{-4}$	–	0,7	300	0,3	1,3

## Приложение 4.

Исходные данные для определения обобщённых показателей ЭТ ЛА.

Тип самолёта	Тип двиг-ля	Ресурс до ремонта самолёта $T_{\text{РЕС.С,ч}}$	Ресурс до ремонта двигателя $T_{\text{РЕС.Д,ч}}$	Действующая периодичность ТО , ч.налёта				Средняя длительн. беспоса- дочного полёта, $\bar{t}_{\text{БП,ч}}$	Кoeffиц. досроч- ных замен двигате- лей, $K_d$	Средний годовой налёт са- молёта, $T_{\text{ГСС,ч}}$
				$\tau_{\text{ф1}}$	$\tau_{\text{ф2}}$	$\tau_{\text{ф3}}$	$\tau_{\text{фБ}}$ сут.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ту-134	Д-30	6000	3500	300	900	1800	7	1,5	0,06	2000
Ту-154М	Д-30КУ-154	15000	5000	500	1000	2000	10	2,2	0,06	2300
Як-40	АИ-25	6000	5000	200	600	1200	7	1,1	0,04	1800
Як-42	Д-36	12000	6000	300	900	1800	7	2,0	0,05	2100
Ил-62М	Д-30КУ	10000	5000	300	900	1800	10	4,5	0,06	2600
Ил-86	НК-86	12000	3500	300	900	1800	15	3,2	0,07	1800
Ан-24	АИ-24	5000	5000	300	600	1200	7	1,0	0,04	1600

## Приложение 5.

Данные об оперативной продолжительности ТОиР ЛА.

Тип самолёта	Оперативная продолжительность ТОиР, часы							Коэфф. несовпадения замен двигателя с периодич. формами, $\beta$	Время стоянки в транзитных а/п, $\bar{t}_{СТ.М, Ч.}$
	$t_A$	$t_B$	$t_{Ф1}$	$t_{Ф2}$	$t_{Ф3}$	Замена двигателя, $t_{СМ}$	Ремонт самолёта, $t_{РЕМ.С}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ту-134	1,1	5,4	13,0	30,0	60,0	12,0	650,0	0,5	0,6
Ту-154М	1,3	8,5	29,0	45,0	80,0	16,5	900,0	0,4	0,75
Як-40	1,0	5,5	12,5	30,0	60,0	12,5	700,0	0,4	0,6
Як-42	1,2	8,0	29,0	60,0	85,0	16,8	660,0	0,5	0,75
АН-24	0,9	5,0	14,0	29,0	45,0	12,0	650,0	0,4	0,6
Ил- 62М	2,0	11,0	30,0	60,0	100,0	16,0	1100,0	0,5	1,0
Ил-86	2,1	13,0	40,0	95,0	150,0	23,0	1400,0	0,45	1,1

## Приложение 6.

Данные об оперативной трудоёмкости ТО и Р ЛА.

Тип самолёта	Оперативная трудоёмкость ТО и Р ЛА, чел.-ч							
	T <sub>A</sub>	T <sub>Б</sub>	T <sub>Ф1</sub>	T <sub>Ф2</sub>	T <sub>Ф3</sub>	Замена двигателя, T <sub>СМ</sub>	Ремонт самолёта, T <sub>РЕМ.С</sub>	Ремонт двигателя, T <sub>РЕМ.Д</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ту-134	4,1	12,0	200	330	500	36	17800	2300
Ту-154М	5,5	15,0	300	500	700	54	37000	3400
Як-40	3,0	9,0	90	140	250	36	17300	850
Як-42	6,5	17,0	270	500	770	54	35000	2500
Ан-24	3,2	7,0	120	200	310	36	15000	1050
Ил- 62М	9,5	15,0	400	670	1040	54	44500	3200
Ил-86	12,0	35,0	470	900	2400	86	53000	5200

## Приложение 7.

Варианты по условиям эксплуатации парка ЛА для проектируемого ПТЭ.

Вариант	Заданные условия эксплуатации	Обозн. состояни я
1	2	3
1	Отсутствуют задержки вылетов по техническим причинам	З <sub>В</sub>
2	Формы периодического ТО выполняются без ожидания	О <sub>П</sub>
3	Ремонт выполняется без ожидания. Не будет простоев из-за отсутствия двигателей	О <sub>Р</sub> Д <sub>В</sub>
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	О <sub>Б</sub>
8	Не будет простоев из-за отсутствия двигателей	Д <sub>В</sub>
9	Отсутствуют простои при выполнении доработок Нет простоев из-за отсутствия запасных частей	Д З
10	Ремонт выполняется без ожидания.	О <sub>Р</sub>
11	Не будет простоев в ожидании формы Б.	О <sub>Б</sub>
12	Не будет простоев из-за отсутствия запасных частей Формы периодического ТО выполняются без ожидания	З О <sub>П</sub>
13	Не проводились доработки по бюллетеням.	Д
14	Не будет простоев в ожидании формы Б Не будет простоев из-за отсутствия запасных частей	О <sub>Б</sub> З
15	Не будет задержек вылетов по техническим причинам Не будет простоев из-за отсутствия запасных частей	З <sub>В</sub> З



## Приложение 8.

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

Состояния ПТЭ (шифр)	Типы ЛА						
	Ту-154	Ту-134	Як-40	Як-42	Ан-24	Ил-62	Ил-86
1	2	3	4	5	6	7	8
П	41400	24000	25200	25200	22400	46800	18000
Е	37260	28160	37800	23562	32032	19450	18562
Г	13550	11165	12300	7200	13228	7830	4300
А	6750	7445	8520	4700	9500	5700	3000
О <sub>Б</sub>	1350	1310	1516	1100	1800	2000	900
Т <sub>Б</sub>	6970	5340	6050	7300	5450	8500	3600
Опф	2450	850	1060	1350	700	2500	1700
Т(Ф1)	3250	1690	1784	2800	1700	5800	3480
Т(Ф2)	2450	850	1265	1650	850	3000	1700
Т(Ф3)	3800	1140	1575	2000	790	4800	2400
У	2800	3085	4875	2458	6200	2400	1600
О <sub>Р</sub>	1400	2150	2295	950	3000	2000	700
Р	7050	5750	6475	3800	6700	10200	4200
З	11800	3685	2775	9200	7600	16800	10200
Дв	5750	1840	1450	4500	3500	7000	5000
Д	5850	3190	2900	4250	2100	8200	5300
Ж	1400	710	680	900	490	2600	1500
З <sub>Б</sub>	2400	2760	4120	2200	4600	2100	1458
<b>8760 x N<sub>c</sub></b>	<b>157680</b>	<b>105120</b>	<b>122640</b>	<b>105120</b>	<b>122640</b>	<b>157680</b>	<b>87600</b>

## Приложение 9.

Данные о трудоёмкости ТО и Р ЛА  $\tau$  в состояниях ПТЭ.

Состояния ПТЭ	Наименование состояния	Средние значения трудоёмкости ТО и Р, чел.-ч.						
		Ту-134	Ту-154	Як-40	Як-42	Ан-24	Ил-62	Ил-86
Е	Форма А	6,5	8,6	4,7	10,0	5,2	14,5	20,0
Т <sub>Б</sub>	Форма Б	18	22	14	33	12	29	64
Т <sub>Ф1</sub>	Форма 1	320	460	130	395	213	600	760
Т <sub>Ф2</sub>	Форма 2	517	710	220	520	285	800	1010
Т <sub>Ф3</sub>	Форма 3	730	1070	380	1260	470	1490	3930
Р	Ремонт(КВР)	26260	52130	25860	48500	22530	65600	78700
У	Устранение неисправностей	11,6	14,5	13,8	21,0	18,0	24,5	34,0
Д	Доработки по бюллетеням	160	180	140	210	130	210	320

## Приложение 10.

### Нормативные значения показателей эффективности ПТЭ ЛА.

Показатели	$P_{100П}$	$K_{И}$	$K_{ИР}$	$K_{ВИР}$	$K_{П} \frac{час}{ч-нал}$	$K_{ИСПР}$	$K_{Т} \frac{чел-час}{ч-нал}$
Тип ЛА							
Ту-134	0,96	0,24	0,67	0,80	0,8	0,75	10
Ту-154	0,95	0,27	0,62	0,70	0,78	0,8	8
Як-40	0,96	0,22	0,68	0,80	0,85	0,7	6
Як-42	0,96	0,25	0,65	0,70	0,83	0,8	10
Ан-24	0,97	0,20	0,65	0,80	0,95	0,7	8
Ил-62	0,95	0,31	0,60	0,65	0,7	0,8	10
Ил-86	0,95	0,22	0,65	0,70	0,85	0,7	18

## Приложение 11.

Исходные данные для проектирования ПТЭ ЛА.

Табл.П.11.1.

Тип самолёта	Масса конструкции самолёта $m_0, \text{тн}$	Объём парка $N_{\text{ЛА}}$	Средний годовой налёт $T_{\text{ГСС}}, \text{ч.}$	Время плановой стоянки в транзитных а/п $\bar{t}_{\text{СТ.М}}, \text{ч}$	Коэффициент сезонности перевозок $K_{\text{СЕЗ}}$	Статистические коэффициенты	
						$\eta_1$	$\eta_2$
1	2	3	4	5	6	7	8
Ту-134	29	12	2000	0,6	1,7	0,74	0,81
Ту-154М	53	18	2300	0,75	1,6	0,68	0,77
Як-40	10,5	14	1800	0,6	1,8	0,65	0,75
Як-42	32	12	2100	0,75	1,9	0,72	0,80
Ан-24	14	14	1600	0,6	1,4	0,69	0,76
Ил-62М	70	18	2600	1,0	1,2	0,71	0,78
Ил-86	115	10	1800	1,1	1,5	0,67	0,75