



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

С.Н. Яблонский, Ю.И. Самуленков

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛА

Учебно-методическое пособие
по проведению практического занятия
«Определение показателей и оценка эффективности
процесса технической эксплуатации самолета»

для студентов IV курса
специальности 25.05.05
очной формы обучения

Москва · 2022

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

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛА

Учебно-методическое пособие
по проведению практического занятия
«Определение показателей и оценка эффективности
процесса технической эксплуатации самолета»

*для студентов IV курса
специальности 25.05.05
очной формы обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2022

УДК 629.7.017
ББК 052-082
Я14

Рецензент:

Самойленко В.М. – д-р техн. наук, профессор

- Я14 Яблонский С.Н.** Основы теории технической эксплуатации ЛА [Текст] : учебно-методическое пособие по проведению практического занятия «Определение показателей и оценка эффективности процесса технической эксплуатации самолета» / С.Н. Яблонский, Ю.И. Самуленков. – М.: ИД Академии Жуковского, 2022. – 24 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов» по учебному плану по специальности 25.05.05 для студентов IV курса очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 01.03.2022 г. и методического совета 30.03.2022 г.

УДК 629.7.017
ББК 052-082

© Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2022

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цель работы

Целью практического занятия по теме «Определение показателей и оценка эффективности процесса технической эксплуатации самолета» является:

- 1) закрепление знаний по разделу лекционных занятий «Эффективность процесса технической эксплуатации, потребная исправность и техническая регулярность полетов летательного аппарата»;
- 2) приобретение навыков определения показателей и оценки эффективности процесса технической эксплуатации (ПТЭ) самолета.

1.2. Основные вопросы, подлежащие изучению для выполнения практического занятия

Для закрепления теоретического материала по указанному разделу и подготовки к практическому занятию студентам рекомендуется изучить следующие вопросы:

1. Виды и формы технического обслуживания воздушных судов (ВС).
2. Основные летно – технические характеристики ВС.
3. Характеристика режимов основных видов ТО ВС (объем и периодичность).
4. Содержание понятия «модель ПТЭ самолета».
5. Принципы формирования моделей ПТЭ ЛА на основе полумарковских случайных процессов.
6. Структура ПТЭ ЛА.
7. Способ определения характеристик состояний ПТЭ ЛА.
8. Способ определения показателей эффективности ПТЭ ЛА.
9. Способ оценки уровня эффективности ПТЭ ЛА.
10. Показатели эффективности ПТЭ ЛА.
11. Пути повышения эффективности ПТЭ ЛА.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕМЕ

2.1. Краткие теоретические сведения

В целях поддержания летной годности гражданского воздушного судна, авиационного двигателя и воздушного винта при их эксплуатации осуществляется наземное и техническое обслуживание.

Поддержание летной годности гражданского воздушного судна, авиационного двигателя и воздушного винта - комплекс мер по обеспечению соответствия гражданского воздушного судна, авиационного двигателя, воздушного винта или их частей требованиям к летной годности и поддержанию их в состоянии, необходимом для безопасной эксплуатации на протяжении срока службы.

Программа технического обслуживания и ремонта авиационной техники - единый документ, который определяет эффективность системы ТОиР авиационной техники в соответствии с принятыми методами и режимами технической эксплуатации ВС, характеризующими его фактические ЭТХ во взаимосвязи с документацией, средствами и исполнителями, и устанавливает порядок обеспечения и корректировки этих характеристик на протяжении ресурса и срока службы с начала эксплуатации и до списания ВС [2].

Наземное обслуживание гражданского воздушного судна - комплекс работ по обеспечению прибытия воздушного судна на аэродром и его вылета с аэродрома, за исключением обслуживания воздушного движения. Наземное обслуживание гражданского воздушного судна не включает в себя его техническое обслуживание.

Техническое обслуживание гражданского воздушного судна - комплекс работ, необходимых для поддержания летной годности гражданского воздушного судна, включая проведение проверок гражданского воздушного судна, замену его частей, устранение неисправностей, а также осуществление изменения конструкции гражданского воздушного судна или выполнение его ремонта [1].

В современной нормативной базе существуют и другие определения ТО АТ.

Техническое обслуживание авиационной техники (ТО АТ) - комплекс работ или работа по поддержанию работоспособности или исправности изделия авиационной техники при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании [2].

Правила наземного обслуживания и технического обслуживания гражданских воздушных судов устанавливаются федеральными авиационными правилами.

Техническое состояние изделия авиационной техники – это совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств изделия авиационной техники, характеризующаяся в определенный момент времени признаками, установленными технической документацией на этот объект.

Примечание: Видами технического состояния являются исправность, работоспособность, неисправность, неработоспособность и т.д.

Одной из главных задач системы ТО является определение технического состояния АТ.

Планирование — оптимальное распределение ресурсов для достижения поставленных целей.

Директива летной годности — документ, издаваемый авиационным уполномоченным органом государства (разработчиком) содержащий обязательную информацию о поддержании летной годности воздушных судов, авиационных двигателей, воздушных винтов и комплектующих изделий.

Директива летной годности издается, когда проявляется небезопасное состояние ВС.

Например, директива летной годности № 2016-27-01 от 29.07.2016 для самолетов RRJ-95 «О выполнении разового осмотра узлов навески руля высоты на предмет отсутствия втулки p/n T7.92.5101.107.000.73/A».

Виды и формы технического обслуживания ВС

Вид ТО авиационной техники – ТО изделия авиационной техники, выделяемые по какому-либо отличительному признаку [2].

Примечание: Признаками вида технического обслуживания или ремонта могут быть этап и условия эксплуатации, наработка, техническое состояние изделия авиационной техники.

Форма ТО – самостоятельный комплекс работ данного вида ТО, выделяемый эксплуатационной или ремонтной документацией по отличительному признаку условий применения по назначению или по наработке изделия авиационной техники [2].

На современных ВС существуют следующие виды ТО: оперативное, периодическое, сезонное, специальное и ТО при хранении ВС.

Оперативное ТО – выполняется в базовых, транзитных и конечных аэропортах. Его основная цель: устранение возникших в полёте отказов и повреждений и подготовка ВС к очередному вылету.

Формы оперативного ТО самолета RRJ – 95 и их характеристика представлены в табл. 1.

Таблица 1

Формы оперативного ТО самолета RRJ - 95

Форма	Характеристика
Transit check	Работы по встрече самолета, обеспечения стоянки, осмотру и обслуживанию, обеспечению вылета. Комплекс работ состоит из двух частей: <ul style="list-style-type: none"> • ТРАНЗИТ-ВСТРЕЧА Работы, выполняемые при встрече самолета не позднее 2 часов после прибытия ВС в базовый аэропорт. <ul style="list-style-type: none"> • ТРАНЗИТ-ВЫЛЕТ Работы, выполняемые непосредственно перед вылетом самолета из базового аэропорта.
Daily check	Ежедневная форма ТО должна выполняться на ВС, находящихся в эксплуатации, один раз в день. Допускается увеличение интервала выполнения ежедневных форм ТО до 48 часов. Самолет осматривается на повреждения, особое внимание обращают на основные узлы, уровень необходимых жидкостей в системах и аварийное оборудование.
Weekly check	Еженедельное обслуживание ВС. Осуществляется проверка масел и жидкостей, состояние обшивки, внутренних систем, шасси, ВСУ и генератора. Состоит из задач Программы ТО, обладающих периодичностью 8DY.

Периодическое ТО – выполняется в базовых аэропортах с применением спецтехники и производственно-технических помещений. Основное назначение периодического ТО - проведение углубленного контроля технического состояния, выявление и устранение развивающихся отказов систем, агрегатов, узлов и деталей ВС, проведения профилактических мероприятий по предотвращению возможностей возникновения повреждений и отказов.

Характеристика форм периодического ТО представлена в табл. 2.

Таблица 2

Формы периодического ТО самолета RRJ 95

Форма	Характеристика
A-check	Формируются из задач Программы ТО, имеющих периодичности 750FH и/или 100DY, а также 2-х (1500FH и/или 200DY) и 4-х (3000FH и/или 400DY) кратных им и из задач Программы ТО, близких по своей периодичности к ним. Проводится визуальный осмотр конструкции самолета на наличие повреждений, деформации, коррозии, отсутствующих частей, обслуживается система кондиционирования воздуха, гидравлическая система самолёта, система управления закрылками самолета, стояночные тормоза и другие. По возрастанию объема работ различаются формы А1, А2, А4. Чем выше цифра, тем больше объем работ.
C-check	Состоят из задач Программы ТО, имеющих базовую периодичность «1С» равную 7500FH и 2YE / или 6000CY и 2YE / или 2YE , а также задач, последовательно кратных им. Это тщательная проверка, требующая наличия большого количества спецтехники и специального ангарного помещения. Проверяются все системы и компоненты ВС, поэтому общее время работ может занимать до 4-х недель и до 10 тыс. чел-ч.

2.2. Постановка задачи

Качество системы технической эксплуатации проявляется при ее функционировании. Функционирующая система представляет собой процесс технической эксплуатации ЛА, который удобно представить как последовательную во времени смену различных состояний эксплуатации в соответствии с принятой стратегией.

К состояниям технической эксплуатации, через которые проходят ЛА, могут быть отнесены: использование по назначению (полет); различные формы технического обслуживания и ремонта (ТОиР); готовность к полетам; транспортирование; хранение и ожидание поступления ЛА в каждое из выделенных состояний эксплуатации.

Структура и характер процесса определяются стратегией (методами) эксплуатации. В общем виде она представляет собой совокупность принципов и правил, обеспечивающих заданное управление процессом технической эксплуатации за счет поддержания наиболее выгодных режимов работы АТ и назначения работ по ТОиР в соответствии с фактическим техническим состоянием ЛА.

Основные закономерности процесса технической эксплуатации ЛА могут быть выявлены на основе анализа статистической информации, собранной на эксплуатационных предприятиях (в частности, на основе диспетчерских графиков).

При решении задач анализа и оптимизации процесса технической эксплуатации самолетов удобно использовать такую его модель, которая позволила бы в качестве метода исследования применять статистический анализ состояний процесса эксплуатации и переходов объекта эксплуатации по различным состояниям процесса.

Для оценки эффективности ПТЭ самолета применяется совокупность показателей, представленных в табл. 3.

Таблица 3

Показатели эффективности ПТЭ

Критерий эффективности ПТЭ	Показатели эффективности ПТЭ			
	Обозначение	Наименование	Определение	Ед. измер
1	2	3	4	5
1. Регулярность вылетов ЛА	R _{100П}	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.	%
3. Исправность парка ЛА	K _П	Удельные суммарные простои на ТОиР.	Отношение суммарных простоев на ТОиР к налёту парка ЛА за рассматриваемый период эксплуатации.	ч/ч.нал.
	K _{ИСПР}	Коэффициент исправности.	Отношение фонда времени ЛА в исправном состоянии, включая полёты, к общему календарному фонду времени за рассматриваемый период.	%
4. Экономичность ТОиР	K _Т	Удельная суммарная трудоёмкость ТОиР.	Отношение суммарной трудоёмкости ТОиР к налёту парка ЛА за рассматриваемый период эксплуатации.	чел.-ч/ ч. нал

Состояния ПТЭ и последовательность переходов самолета из одного состояния в другое состояние представляются в виде «графа состояний и переходов» (рис. 1).

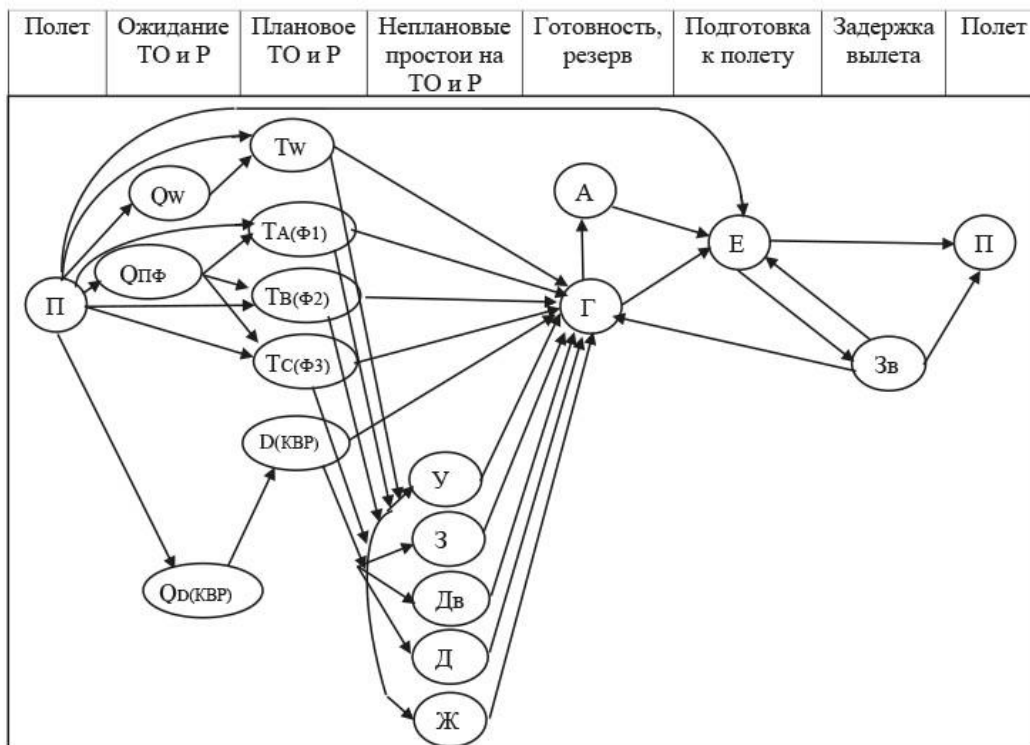


Рис. 1 Примерный (исходный) граф состояний и переходов ПТЭ (обозначения состояний приведены в табл.2).

Работа модели представляется следующим образом. Первоначально процесс находится в некотором из состояний эксплуатации $\delta_j \in R$ случайное время x_j , распределенное по произвольному закону $F_j(t)$, затем с вероятностью P_{jk} мгновенно переходит в состояние $\delta_k \in R$, из которого он по аналогичной схеме регенерирует в следующие состояния. Переходы процесса по состояниям, определяемые принятой стратегией эксплуатации, образуют процесс «моментов переходов», который в литературе принято называть вложенным процессом или вложенной цепью. Процесс технической эксплуатации ЛА обладает свойствами полумарковских процессов.

Случайные величины x_j имеют произвольные функции распределения, используемые для описания рабочих процессов и процессов восстановления.

Перечень и наименования возможных состояний процесса определены инструкцией по почасовому учету исправности и использования самолетов (табл. 4).

Таблица 4

Перечень и наименования возможных состояний ПТЭ

Шифр состояния	Наименования состояния
1	2
П	Полет (использование по назначению)
Е	Подготовка к полету Transit Check (Ф-А)
Г	Готовность (неиспользуемое для полетов время)
А	Нахождение в резерве
Qw	Ожидание обслуживания по Weekly Check (Ф-Б)
Tw	Оперативное обслуживание по Weekly Check (Ф-Б)
Qлф	Ожидание обслуживания по формам периодического обслуживания
ТА(ф1)	Периодическое обслуживание по А-Check (Ф-1)
ТВ(ф2)	Периодическое обслуживание по В-Check (Ф-2)
ТС(ф3)	Периодическое обслуживание по С-Check (Ф-3)
Qд(КВР)	Ожидание контрольно-восстановительных работ D(КВР)
D(КВР)	Контрольно-восстановительные работы D(КВР)
У	Устранение неисправностей
З	Ожидание запасных частей
Дв	Ожидание поступления двигателей
Д	Доработки по бюллетеням
Ж	Рекламации промышленности
Зв	Задержка вылета

Используя исходный граф, в зависимости от варианта задания необходимо сформировать расчетный вариант графа состояний и переходов ПТЭ, эффективность которого будет анализироваться и оцениваться.

В расчетном варианте графа, в зависимости от варианта задания, могут отсутствовать одно или несколько состояний ПТЭ. Отсутствующие состояния ПТЭ для каждого из вариантов задания приведены в Приложении А.

Основными характеристиками модели ПТЭ самолета являются:

- количество состояний расчетного варианта ПТЭ – N ;
- количество попаданий самолета в каждое из N состояний – n_i ;
- относительная частота попаданий в состояние – π^i ;
- среднее время пребывания в состоянии – μ_i ;
- средние трудозатраты в состояниях, в которых выполняются работы по ТОиР, доработкам по бюллетеням, по устранению неисправностей – τ_i .

Для выполнения задачи анализа и оценки эффективности ПТЭ необходимо с использованием исходных данных, содержащихся в Приложениях Б, В, Г, Д:

- а) определить количество попаданий самолета в каждое из состояний ПТЭ;
- б) сформировать характеристики состояний ПТЭ;
- в) рассчитать показатели эффективности и оценить уровень эффективности ПТЭ самолета.

2.3. Определение количества попаданий в состояния ПТЭ

Для определения количества попаданий самолета в каждое из N состояний n_i используются следующие зависимости (формулы) (табл. 5).

Таблица 5

Расчетные формулы для определения числа попаданий в состояния ПТЭ

Шифр состояния	Наименование состояния	Формулы для определения числа попаданий в состояния n_i
1	2	3
П	Полет (использование по назначению)	$n_{\text{П}} = \frac{T_{\text{ГСС}} \cdot N_{\text{ЛА}}}{t_{\text{БП}}}$
Е	Подготовка к полету Transit (Ф-А)	$n_{\text{Е}} = 1,1 \cdot n_{\text{П}}$
Г	Готовность (неиспользуемое время)	$n_{\text{Г}} = 0,15 \cdot n_{\text{П}}$
А	Нахождение в резерве	$n_{\text{РЕЗ}} = 0,1 \cdot n_{\text{П}}$
QW	Ожидание обслуживания по форме Weekly Check (Ф-Б)	$n_{\text{QW}} = n_{\text{W}}$
TW	Оперативное обслуживание по Weekly Check (Ф-Б)	$n_{\text{W}} = \frac{365 \cdot N_{\text{ЛА}}}{\tau_{\text{W}}} - (n_{\text{D}} + n_{\text{A}} + n_{\text{B}} + n_{\text{C}})$
QПФ	Ожидание обслуживания по формам периодического обслуживания	$n_{\text{QПФ}} = n_{\text{ПФ}} = (n_{\text{D}} + n_{\text{A}} + n_{\text{B}} + n_{\text{C}})$
ТА(Ф1)	Периодическое обслуживание по форме А-Check (Ф-1)	$n_{\text{А}} = \frac{T_{\text{ГСС}} \cdot N_{\text{ЛА}}}{\tau_{\text{А}}} - (n_{\text{B}} + n_{\text{C}} + n_{\text{D}})$
ТВ(Ф2)	Периодическое обслуживание по форме В-Check (Ф-2)	$n_{\text{В}} = \frac{T_{\text{ГСС}} \cdot N_{\text{ЛА}}}{\tau_{\text{В}}} - (n_{\text{C}} + n_{\text{D}})$
ТС(Ф3)	Периодическое обслуживание по форме С-Check (Ф-3)	$n_{\text{С}} = \frac{T_{\text{ГСС}} \cdot N_{\text{ЛА}}}{\tau_{\text{С}}} - n_{\text{D}}$
QD(КВР)	Ожидание контрольно-восстановительных работ D(КВР)	$n_{\text{QD}} = n_{\text{D}}$
D(КВР)	Контрольно-восстановительные работы D(КВР)	$n_{\text{D}} = \frac{T_{\text{ГСС}} \cdot N_{\text{ЛА}}}{\tau_{\text{D}}}$
У	Устранение неисправностей	$n_{\text{У}} = 0,05 \cdot n_{\text{П}}$
З	Ожидание запасных частей	$n_{\text{З}} = 0,15 \cdot n_{\text{ПФ}}$
Дв	Ожидание поступления двигателей	$n_{\text{Дв}} = 0,05 \cdot n_{\text{ПФ}}$
Д	Доработки по бюллетеням	$n_{\text{Д}} = 0,1 \cdot n_{\text{ПФ}}$
Ж	Рекламации промышленности	$n_{\text{Ж}} = 0,03 \cdot n_{\text{ПФ}}$
Зв	Задержка вылета	$n_{\text{Зв}} = 0,05 \cdot n_{\text{П}}$

Обозначения: $T_{гс}$ – средний годовой налет на самолет; $N_{ЛА}$ – количество самолетов в авиапредприятии; $t_{БП}$ – средняя длительность беспосадочного полета; $\tau_{W(\tau_{\Phi 1})}, \tau_{A(\tau_{\Phi 1})}, \tau_{B(\tau_{\Phi 2})}, \tau_{C(\tau_{\Phi 3})}, \tau_{D(\tau_{КВР})}$ – периодичность форм обслуживания, соответственно; $n_{ПФ}$ – общее число попаданий самолета на периодические формы ТО, включая контрольно-восстановительные работы D(КВР).

2.4. Формирование характеристик состояний ПТЭ

После того, как по формулам табл.3 будет определено количество попаданий в каждое из состояний n_i , необходимо сформировать характеристики состояний ПТЭ, такие как: $n_i, \pi_i, \mu_i, \tau_i$ и представить их по форме табл. 6.

Таблица 6

Характеристики расчетного ПТЭ самолета

Состояния	t_i	n_i	π_i	μ_i	τ_i	$\pi_i \mu_i$	$\pi_i \tau_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
П							
Е							
Г							
А							
Qw							
Tw							
QПФ							
TA(Ф1)							
TB(Ф2)							
TC(Ф3)							
QD(КВР)							
КВР (D)							
У							
З							
Дв							
Д							
Ж							
Зв							

Обозначения:

- t_i – суммарное время пребывания в часах парка самолетов за 1 год эксплуатации в состояниях ПТЭ (Приложение В);

- τ_i – трудозатраты в состояниях ПТЭ, в которых выполняются работы по ТОиР, доработкам и по устранению неисправностей (Приложение Г).

Среднее время пребывания в состоянии определяется как $\mu_i = \frac{t_i}{n_i}$, час.

Относительная частота попаданий в состояния определяется по выражению $\pi_i = n_i / \sum_{i=1}^N n_i$, где N – количество состояний расчетного ПТЭ.

Примечание. Перед тем, как определять μ_i по состояниям, необходимо проверить условие: $\sum_{i=1}^N t_i = 8760 * N_c$. Если $\sum_{i=1}^N t_i < 8760 * N_c$, недостающий объем часов следует добавить к состоянию готовности или резерва – Г, А.

2.5. Расчет показателей и оценка эффективности ПТЭ

Показатели эффективности ПТЭ самолета рассчитываются на основе разработанного расчетного варианта графа состояний и переходов и сформированных характеристик состояний ПТЭ (табл. 4).

Расчет показателей эффективности ПТЭ самолета выполняется по формулам, приведенным в табл. 5.

Состояния, которые в расчетном ПТЭ отсутствуют согласно заданному варианту в расчете показателей не учитываются.

Результаты расчета оформляются по форме табл. 6.

Нормативные значения соответствующих показателей $\Pi_{НОРМ}$ для конкретных типов самолетов приведены в Приложении Д.

Оценка уровня эффективности ПТЭ производится по критериям обеспечения регулярности, использования, исправности и экономичности ТОиР путем сравнения соответствующих показателей ПТЭ (расчетных $\Pi_{РАСЧ}$ и нормативных $\Pi_{НОРМ}$). Для оценки используются относительные показатели

$$\bar{\Pi} = \Pi_{РАСЧ} / \Pi_{НОРМ}$$

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

При условии:

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

$\bar{\Pi} > 1$ - для $P_{100 ПП}$, $K_{И}$, $K_{ИР}$, $K_{ВИР}$, $K_{ИСПР}$,
проектируемый ПТЭ соответствует нормативам.

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

Таблица 5

Расчетные формулы для определения показателей

Показатель	Расчетная формула	Примечание
1	2	3
$P_{100 ПП}$	$P_{100 ПП} = \left(1 - \frac{n_{Зв}}{n_{П}} \right)$	$n_{Зв}$, $n_{П}$ – количество попаданий в состояния Зв и П
$K_{И}$	$K_{И} = \frac{\pi_{П} \cdot \mu_{П}}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	$\pi_{П}$, $\mu_{П}$ – характеристики состояния П; π_i , μ_i – характеристики i-го состояния ПТЭ

1	2	3
$K_{ИР}$	$K_{ИР} = \frac{\pi_n \cdot \mu_n + \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	π_j, μ_j - характеристики состояний: Е, Qw, Tw, Эв
$K_{ВИР}$	$K_{ВИР} = \frac{\pi_n \cdot \mu_n + \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	π_j, μ_j - характеристики состояний: Е, Qw, Tw, Эв, А, Г.
$K_{П}$	$K_{П} = \frac{\sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\pi_n \cdot \mu_n}$	π_j, μ_j - характеристики состояний: Qпф, Qд(КВР), А(Ф1), В(Ф2), С(Ф3), У, D(КВР), З, Д, Ж, Дв
$K_{ИСПР}$	$K_{ИСПР} = \frac{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i - \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i}$	π_j, μ_j - характеристики состояний: Qпф, Qд(КВР), А(Ф1), В(Ф2), С(Ф3), У, D(КВР), З, Д, Ж, Дв
$K_{Т}$	$K_{Т} = \frac{\sum_j \pi_j \cdot \tau_j}{\pi_n \cdot \mu_n}$	π_j, τ_j - характеристики состояний: Е, Tw, А(Ф1), В(Ф2), С(Ф3), D(КВР), У, Д.

Таблица 6

Показатели эффективности ПТЭ и оценка уровня его эффективности

Критерий		Регулярность	Использование			Исправность		Экономичность
			$R_{100 ПТ}$	$K_{И}$	$K_{ИР}$	$K_{ВИР}$	$K_{П}$	
Показатели								
Для расчетного ПТЭ	ПРАСЧ							
Нормативные	ПНОРМ							
Относительные		$\overline{П}$						
Оценка	Соответствует (+)							
	Не соответствует (-)							

3. Задание для самостоятельной работы

Для выполнения практического занятия студенты изучают методические указания (п. 2 Пособия), получают от преподавателя варианты задания и решают задачи определения показателей и оценки эффективности ПТЭ самолета.

В соответствии с полученным вариантом задания и с использованием исходных данных, приведенных в Приложениях, студенту требуется:

1) сформировать граф состояний и переходов ПТЭ самолета (расчетный вариант);

2) определить характеристики ПТЭ;

- 3) рассчитать показатели эффективности ПТЭ;
- 4) оценить уровень эффективности ПТЭ.

4. Отчетность по практическому занятию

После выполнения практического занятия студент предъявляет преподавателю отчет по форме, приведенной в Приложении Е, который включает:

- а) формулировку задачи и исходную информацию по выбранному варианту;
- б) изложение порядка решения задачи (расчет количества попаданий в состояние ПТЭ, определение характеристик состояний ПТЭ);
- в) определение показателей эффективности ПТЭ и оценку уровня его эффективности;
- г) выводы по результатам оценки эффективности ПТЭ самолета.

Литература

1. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Основы теории технической эксплуатации летательных аппаратов. Учебник. – М.: МГТУ ГА, 2015.
2. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1994.
3. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – 2-е изд. М.: Транспорт, 1987.
4. Деркач О.Я. Формирование систем технического обслуживания самолётов при их создании. - М.: Машиностроение, 1994.
5. Далецкий С.В., Деркач О.Я., Петров А.Н. Эффективность технической эксплуатации самолетов ГА. – М: Воздушный транспорт, 2002.
6. Герасимова Е.Д. Вероятностно-статистические модели эксплуатации: учебно-методическое пособие по проведению практических занятий «Формирование модели ПТЭ самолета А-320». М.: МГТУ ГА, 2017. – 20 с.

Приложение А

Исходные данные для решения задачи по варианту задания

Варианты задания	Тип ВС	Объем парка $N_{ЛА}$	Отсутствующие состояния ПТЭ (Приложение В) шифр состояния	Суммарное время в состояниях (приложение В) № варианта	Годовой налет на самолет $T_{ГСС}$
1	SSJ 100	10	QPФ	1	2100
2	SSJ 100	12	Д	2	2200
3	SSJ 100	18	QD(КВР)	3	2400
4	В-737	20	Ж	1	2600
5	В-737	15	QPФ	2	2500
6	В-737	30	А	3	2700
7	А-320	20	QD(КВР)	1	2600
8	А-320	15	QPФ	2	2500
9	А-320	30	А, Ж	3	2700
10	Ту-214	8	QD(КВР)	1	2300
11	Ту-214	10	QPФ	2	2400
12	Ту-214	12	Д, Ж	3	2500
13	Ил-96	8	А	1	2700
14	Ил-96	10	QPФ	2	2900
15	Ил-96	12	QD(КВР)	3	3000
16	Ми-171А2	12	QPФ	1	1200
17	Ми-171А2	18	Д, Ж	2	1300
18	Ми-171А2	20	QD(КВР)	3	1500

Приложение Б

Периодичность обслуживания и ремонта самолетов, час. налета.

Тип ВС	Средняя длительность полета $t_{БП}$, ч	Периодичность технического обслуживания, ч.				
		τ_W ($\tau_{\Phi B}$) сутки	τ_A ($\tau_{\Phi 1}$)	τ_B ($\tau_{\Phi 2}$)	τ_C ($\tau_{\Phi 3}$)	τ_D ($\tau_{КВР}$)
SSJ 100	2,0	7	750	3750	7500	30000
В-737	2,1	7	250	750	4000	20000
А-320	2,2	7	750	3750	7500	24000
Ту-214	2,1	25	600	1800	3000	12000
Ил-96	3,0	15	500	1500	3000	12000
Ми-171А2	1,6	15	150	300	600	2100

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

Состояния ПТЭ (шифр) №	Типы самолетов								
	SSJ 100			B-737			A-320		
	Варианты								
	№1	№2	№3	№1	№2	№3	№1	№2	№3
П	19 000	22800	34200	50000	37500	75000	52000	39000	78000
Е	28 562	34274	51412	18000	13500	27000	18000	13500	27000
Г	6100	7320	10980	23636	17727	35454	21636	16227	32454
А	7800	9360	14040	27820	20865	41730	25820	19365	38730
Qw	900	1080	1620	1420	1065	2130	1120	840	1680
Tw	3600	4320	6480	7100	5325	10650	7100	5325	10650
QПФ	1020	1224	1836	2476	1857	3714	2676	2007	4014
ТA(Ф1)	3480	4176	6264	3328	2496	4992	3328	2496	4992
ТB(Ф2)	1700	2040	3060	1516	1137	2274	1416	1062	2124
ТC(Ф3)	2840	3408	5112	2381	1786	3572	2381	1786	3572
QD(КВР)	2600	3120	4680	2840	2130	4260	3840	2880	5760
КВР (D)	700	840	1260	1430	1073	2145	1430	1072	2145
У	1200	1440	2160	671	503	1006	3671	2753	5506
З	1400	1680	2520	11900	8925	17850	10700	8025	16050
Дв	900	1080	1620	10800	8100	16200	8000	6000	12000
Д	1540	1848	2772	5952	4464	8928	5952	4464	8928
Ж	800	960	1440	1430	1072	2145	3630	2723	5445
Зв	3458	4150	6224	2500	1875	3750	2500	1875	3750
8760*N_{ЛА}	87600	105120	157680	175200	131400	262800	175200	131400	262800

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

Состояния ПТЭ (шифр) №	Типы самолетов								
	Ту-214			Ил-96			Ми-171А2		
	Варианты								
	№1	№2	№3	№1	№2	№3	№1	№2	№3
П	15200	19000	22800	15656	19570	23484	18000	27000	30000
Е	22850	28562	34275	22850	28562	34275	26182	39273	43637
Г	4880	6100	7320	2480	3100	3720	12580	18870	20967
А	6240	7800	9360	3840	4800	5760	8470	12705	14117
Qw	720	900	1080	480	600	720	1510	2265	2517
Tw	2880	3600	4320	2880	3600	4320	6000	9000	10000
QПФ	816	1020	1224	816	1020	1224	1050	1575	1750
ТА(Ф1)	2784	3480	4176	2784	3480	4176	1780	2670	2967
ТВ(Ф2)	1360	1700	2040	2160	2700	3240	1260	1890	2100
ТС(Ф3)	2272	2840	3408	3872	4840	5808	1570	2355	2617
QD(КВР)	2080	2600	3120	2080	2600	3120	4870	7305	8117
КВР (D)	560	700	840	520	650	780	2290	3435	3817
У	960	1200	1440	3184	3980	4776	6470	9705	10783
З	1120	1400	1680	1680	2100	2520	2000	3000	3333
ДВ	720	900	1080	960	1200	1440	3418	5127	5696
Д	1232	1540	1848	1232	1540	1848	2890	4335	4816
Ж	640	800	960	640	800	960	680	1020	1133
ЗВ	2766	3458	4149	1966	2458	2949	4100	6150	6833
8760*N_{ЛА}	70080	87600	105120	70080	87600	105120	105120	157680	175200

Приложение Г

Средние значения трудозатрат в состояниях ПТЭ

Состояния ПТЭ	Наименование состояния	Средние значения трудоемкости, чел.-ч.					
		SSJ-100	В-737	А-320	Ту-214	Ил-96	Ми-171А2
Е	Transit Check (Ф-А)	8,1	9,6	10,1	8,3	21	3,0
Тw	Weekly Check (Ф-Б)	47	49	51	51	47	34
ТA(Ф1)	А-Check (Ф-1)	65	70	135	510	30,5	176
ТВ(Ф2)	В-Check (Ф-2)	310	315	310	730	1300	215
ТС(Ф3)	С-Check (Ф-3)	1050	2200	2100	1250	3200	385
D(КВР)	D (КВР)	16000	18000	17000	17000	18000	8000
У	Устранение неисправностей	24	20	16	21	28	10
Д	Доработки по бюллетеням	210	180	200	230	220	120

Приложение Д

Нормативные значения показателей эффективности ПТЭ

Показатель Тип ЛА	Р100П	Ки	Кир	Квир	Кп	Киспр	Кт
SSJ - 100	0,95	0,25	0,62	0,8	0,8	0,8	7,2
В-737	0,96	0,29	0,60	0,8	0,6	0,8	8,0
А-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-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

Кафедра ТЭ ЛА и АД
 Дисциплина «Основы теории технической эксплуатации ЛА»

О Т Ч Е Т

о выполнении практического занятия №2 на тему
**«Определение показателей и оценка эффективности процесса
 технической эксплуатации самолета»**

Студент _____

Отчет принял _____

Группа _____

«__» _____ 202_ г.

1. Цель занятия:

1) закрепление знаний по разделу лекционных занятий «Эффективность процесса технической эксплуатации, потребная исправность и техническая регулярность полетов летательного аппарата»;

2) приобретение навыков определения показателей и оценки эффективности процесса технической эксплуатации (ПТЭ) самолета.

2. Исходные данные для варианта № ____. (Приложение А)

Тип самолета - _____.

Объем парка $N_{\text{ЛА}}$ - _____.

Годовой налет на самолет $T_{\text{ГСС}}$ - _____.

Отсутствуют состояния ПТЭ (шифры) - _____.

Граф состояний и переходов для заданного варианта – рис. 1

Суммарное время пребывания самолета в состояниях ПТЭ – вариант №__ (Прил. В).

Средние значения трудозатрат в состояниях (см. табл.1 отчета);

Периодичность обслуживания и ремонта самолета - _____ (пос. Прил. Б).

$t_{\text{БП, Ч}}$	$t_{\text{В}}$ ($t_{\text{ФБ}}$) сутки	$t_{\text{А}}$ ($t_{\text{Ф1}}$)	$t_{\text{В}}$ ($t_{\text{Ф2}}$)	$t_{\text{С}}$ ($t_{\text{Ф3}}$)	$t_{\text{Д}}$ ($t_{\text{КВР}}$)

Нормативные значения показателей для самолета - _____.

Показатель	$P_{100\text{П}}$	$K_{\text{И}}$	$K_{\text{ИР}}$	$K_{\text{ВИР}}$	$K_{\text{П}}$	$K_{\text{ИСПР}}$	$K_{\text{Т}}$
Значение показателя							

3. Формирование характеристик состояний ПТЭ

Расчетный вариант графа состояний:

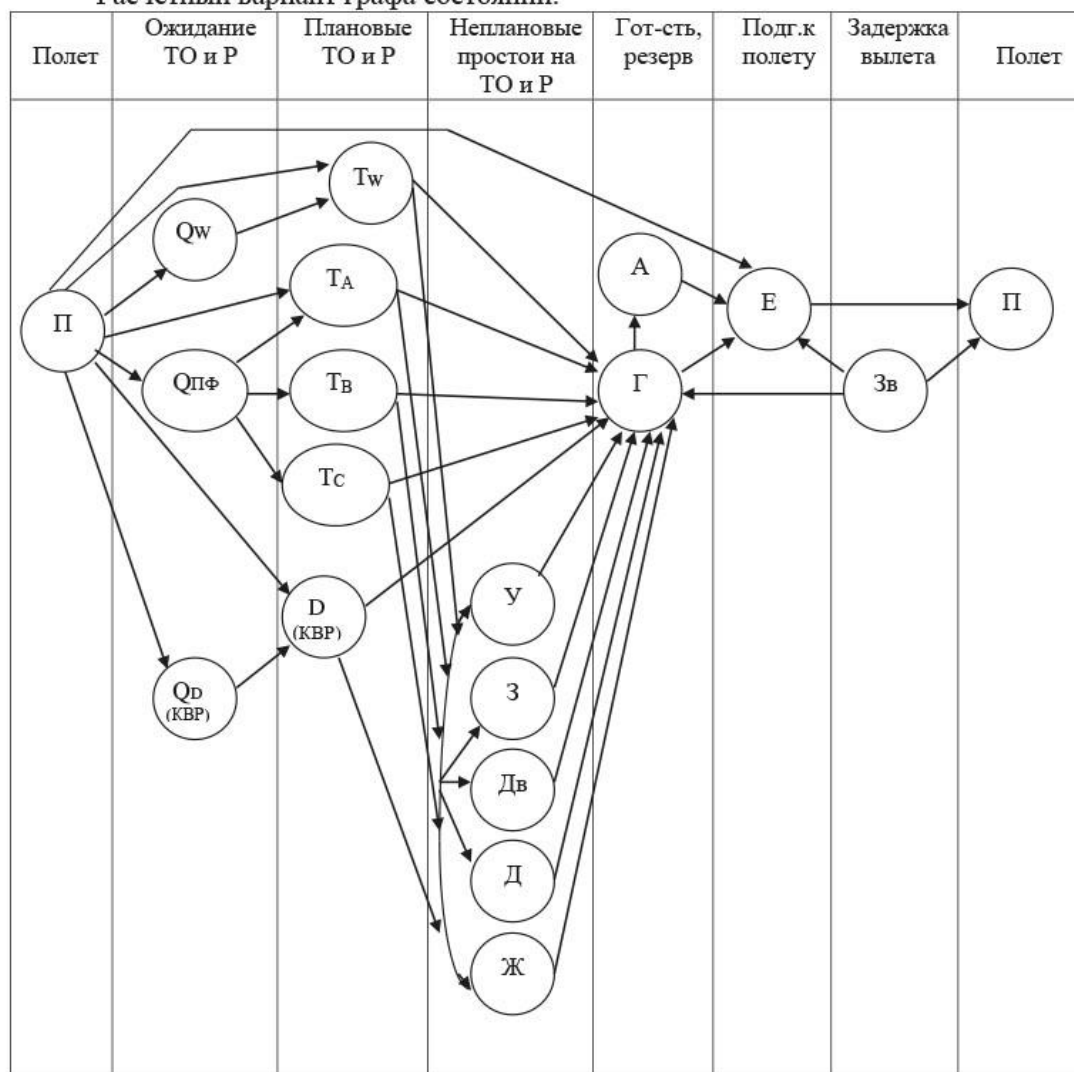


Рис.1 Граф состояний и переходов для заданного варианта

П – полет; Е – подготовка к полету; Г – готовность (неиспользуемое для полетов время); А – нахождение в резерве; Qw – ожидание обслуживания по W(Ф-Б); Tw – обслуживание по W(Ф-Б); Опф – ожидание форм период. обл.; TA – обл. по форме А(Ф-1); TB – обл. по форме В(Ф-2); TC – обл. по форме С(Ф-3); У – устр. неисправностей; QD(КВР) – ожидание КВР; D (КВР) – контрольно-восстановительные работы; З – ожидание ЗЧ; Дв – ожидание двигателей; Д – доработки; Ж- рекламации; Зв – задержка вылета.

Расчет количества попаданий в каждое состояние ведется по формулам:

$$n_{II} = \frac{T_{ГСС} * N_{ЛА}}{t_{БП}}; \quad n_E = 1.1 \cdot n_{II}; \quad n_{Г} = 0.15 \cdot n_{II}; \quad n_{РЕЗ} = 0.1 \cdot n_{II}; \quad n_{QW} = n_W$$

$$n_W = \frac{365 \cdot N_{ЛА}}{\tau_W} - (n_D + n_A + n_B + n_C); \quad n_D = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_D}$$

$$n_A = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_A} - (n_B + n_C + n_D); \quad n_B = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_B} - (n_C + n_D); \quad n_C = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_C} - n_D$$

$$n_{QПФ} = n_{ПФ}; \quad n_{ПФ} = n_A + n_B + n_C + n_D$$

$$n_D = \frac{T_{ГСС} \cdot N_{ЛА}}{\tau_D}; \quad n_Y = 0.05 \cdot n_{II}; \quad n_3 = 0.1 \cdot n_{ПФ}; \quad n_{де} = 0.05 \cdot n_{ПФ}; \quad n_{д} = 0.1 \cdot n_{ПФ};$$

$$n_{ж} = 0.03 \cdot n_{ПФ}; \quad n_{з} = 0.05 \cdot n_{II}.$$

Проверка: перед определением $\mu_i = \frac{t_i}{n_i}$ по состояниям необходимо убедиться в выполнении условия

$\sum_{i=1}^N t_i = 8760 * N_{ЛА}$. Если $\sum_{i=1}^N t_i < 8760 * N_{ЛА}$, недостающий объем часов добавить к состоянию готовности А или Г.

Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики состояний ПГЭ

Состояния	t_i	n_i	π_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							
Г							
А							
Qw							
Tw							
QПФ							
ТА							
ТВ							
Тс							
Qд							
D(КВР)							
У							
З							
Дв							
Д							
Ж							
Зв							
Σ							

В расчетном варианте ПТЭ отсутствует состояние - _____

4. Расчет показателей эффективности ПТЭ

Коэффициент регулярности вылетов.

$$P_{100ПТ} = \left(1 - \frac{n_{3e}}{n_{П}} \right) = 1 - \frac{\dots}{\dots} =$$

Коэффициент использования ЛА по назначению.

$$K_{И} = \frac{\pi_{п} \cdot \mu_{п}}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i} = \frac{\dots}{\dots} =$$

Коэффициент использования ВС в рейсах.

π_j, μ_j - характеристики состояний: Е, Q_w, T_w, Эв.

$$K_{ИР} = \frac{\pi_{п} \cdot \mu_{п} + \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i} = \frac{\dots}{\dots} =$$

Коэффициент возможного использования ВС в рейсах.

π_j, μ_j - характеристики состояний: Е, Q_w, T_w, Эв, А, Г.

$$K_{ВИР} = \frac{\pi_{п} \cdot \mu_{п} + \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i} = \frac{\dots}{\dots} =$$

Удельные суммарные простои на ТОиР.

π_j, μ_j - характеристики состояний: Q_{ПФ}, Q_{D(КВР)}, А(Ф1), В(Ф2), С(Ф3), У, D(КВР), З, Д, Ж, Дв

$$K_{П} = \frac{\sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\pi_{п} \cdot \mu_{п}} = \frac{\dots}{\dots} =$$

Коэффициент исправности.

π_j, μ_j - характеристики состояний: Q_{ПФ}, Q_{D(КВР)}, А(Ф1), В(Ф2), С(Ф3), У, D(КВР), З, Д, Ж, Дв

$$K_{ИСПР} = \frac{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i - \sum_j \pi_j \cdot \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \cdot \mu_i} = \frac{\dots}{\dots} =$$

Удельная суммарная трудоемкость ТО и Р.

π_i, τ_i - характеристики состояний: E, T_w, A(Ф1), B(Ф2), C(Ф3), D(КВР), У, Д.

$$K_T = \frac{\sum_j \pi_j \cdot \tau_j}{\pi_n \cdot \mu_n} = \frac{\dots}{\dots} = \dots$$

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

5. Оценка эффективности ПТЭ

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

При условии:

$\bar{\Pi} < 1$ - для $K_{П}$, K_T ;

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

проектируемый ПТЭ соответствует нормативам.

Таблица 2

Критерий		Регулярность $P_{100 ПТ}$	Использование			Исправность		Экономичность K_T
Показатели			$K_{И}$	$K_{ИР}$	$K_{ВИР}$	$K_{П}$	$K_{ИСПР}$	
Для расчетного ПТЭ		ПРАСЧ						
Нормативные		ПНОРМ						
Относительные		$\bar{\Pi}$						
Оценка	Соответствует (+)							
	Не соотв-вует (-)							

6. Выводы по результатам оценки

Работа выполнена «__» _____ 202_г.

Подпись студента _____