

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

А.А.Ицкович, Е.Д.Герасимова, А.С.Чичерин

Пособие
по выполнению практических занятий
по дисциплине
“Основы надежности ЛА”

Для студентов III курса
Специальность 280102

Москва 2005

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей
А.А.Ицкович, Е.Д.Герасимова, А.С.Чичерин

Пособие
по выполнению практических занятий по дисциплине
“Основы надежности Л А”

Для студентов
специальности 280102
дневной формы обучения

Москва 2005

ББК 052-021.1

И 96

Рецензент: доц. Кабков П.К.

Ицкович А.А, Герасимова Е.Д., Чичерин А.С.

И 96 пособие по проведению практических занятий по дисциплине “Основы надежности ЛА и АД” – М.: МГТУ ГА, 2005, с.

Данное пособие по проведению практических занятий издается для студентов специальности 330500 дневной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 29.04.05 и методического совета 14.06.2005г.

1. Общие положения

1.1. Целью проведения практических занятий является овладение научными методами анализа, систематизация и обобщение теоретических знаний, приобретенных при изучении лекционного материала по дисциплине “ Основы надежности ЛА и АД”, приобретение навыков и умений применять теоретические знания к решению практических задач.

1.2. Практические занятия включают решения задач по основным темам дисциплины: оценка показателей безотказности невосстанавливаемых изделий АТ параметрическим методом; оценка показателей надежности восстанавливаемых изделий АТ непараметрическим методом; оценка показателей надежности изделий АТ по эксплуатационным наблюдениям; оценка надежности сложных функциональных систем ЛА.

1.3. Пособие по каждому практическому занятию содержит: название темы и цель занятий, краткие теоретические сведения по теме, рекомендации для выполнения задания. По каждому занятию предусмотрено несколько вариантов исходных данных для самостоятельной работы студентов.

1.4. По результатам выполнения каждого практического занятия студентом составляется отчет. Отчет должен содержать тему занятия, исходные данные выполненного варианта, необходимые расчетные зависимости, результаты расчета в виде таблиц или графиков и выводом.

2. Практические занятия

2.1. Практическое занятие № 1.

Тема: оценка показателей безотказности невосстанавливаемых изделий АТ параметрическим методом (использование метода моментов).

Цель: изучение метода моментов, распределений непрерывной случайной величины (наработки до отказа изделий АТ), использование критерия χ^2 .

2.1.1. Теоретические сведения.

Классификация методов оценки показаний надежности (безотказности) изделий АТ представлена на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Классификация методов оценки показателей надежности изделий АТ.

Параметрические методы оценки заключаются в том, что показатели надежности вычисляются по оценкам параметров законов распределения случайной величины.

Схемы использования параметрических методов для оценки показателей надежности (безотказности) изделий АТ представлены на рис. 2.2. и 2.3.:

а) Закон распределения случайной величины неизвестен.

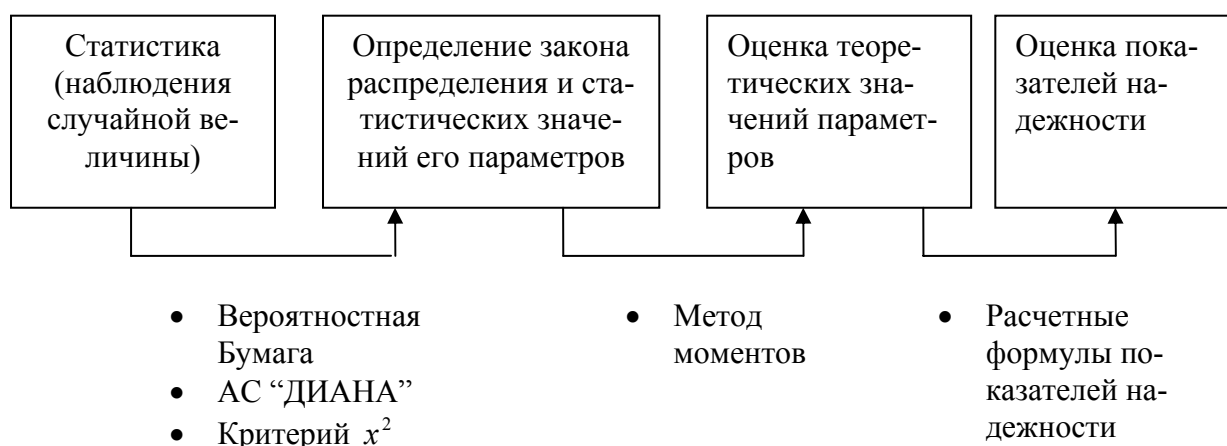


Рис. 2.2 . Схема оценки показателей надежности параметрическими методами при неизвестном законе распределения случайной величины

б) Закон распределения случайной величины известен заранее.

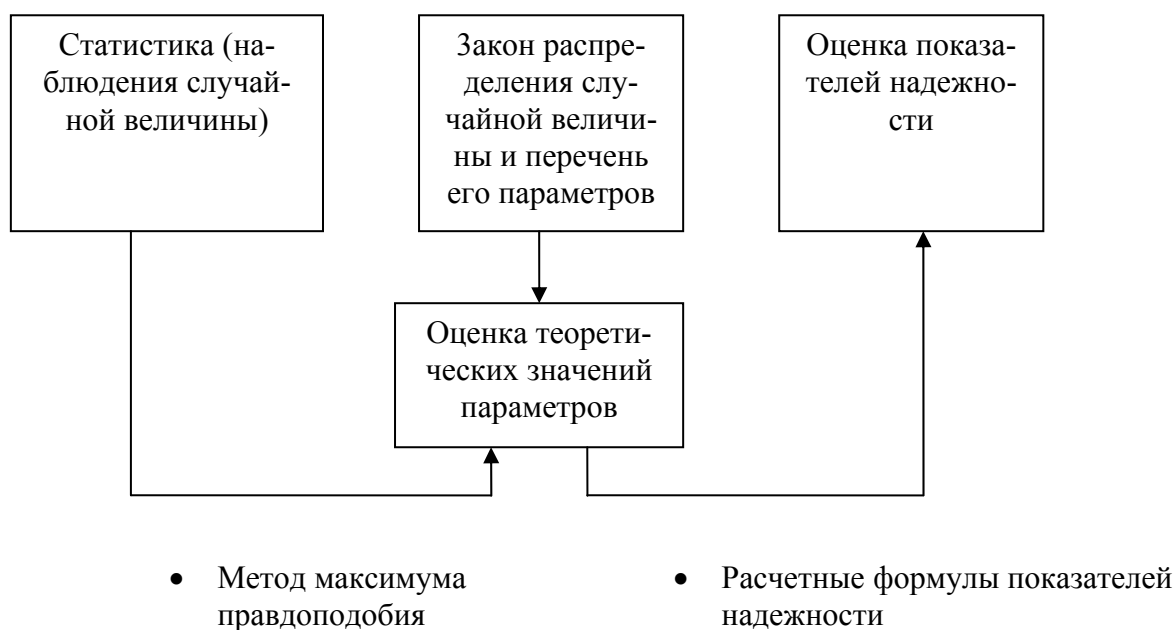


Рис.2.3. Схема оценки показателей надежности параметрическими методами, при известном законе распределения случайной величины.

Невосстанавливаемым изделием АТ считается изделие, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособности не предусмотрено нормативно – технической и (или) конструкторской документацией.

Наработка до отказа - наработка в часах от момента начала эксплуатации изделия до первого отказа.

Отказ изделия АТ является случайным событием, а наработка изделия АТ до отказа является непрерывной случайной величиной. Такая случайная величина подчиняется определенным закономерностям, которые выражаются законами распределения непрерывной случайной величины. Наиболее часто для описания наработки до отказа изделия АТ используют три вида распределения: экспоненциальный, нормальный, и закон Вейбулла. Характеристики этих законов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Характеристики законов распределения.
Наработка до отказа изделий АТ

Наименование закона распределения	Параметры	Математические выражения		Графики	
		плотности распределения	вероятность безотказной работы	плотности распределения	вероятность безотказной работы
Экспоненциальный	λ	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ $\lambda = const$	$P(t) = e^{-\lambda t}$		
Нормальный	T_{cp} σ	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma^2}}$	$P(t) = 1 - \left[\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(\tau-T_{cp})^2}{2\sigma^2}} d\tau \right] = 1 - F(t);$		
Вейбулла	a b	$f(t) = \frac{b}{a} t^{b-1} * e^{-\frac{1}{a} t^b}$	$P(t) = e^{-\frac{1}{a} t^b}$		

Показателями безотказности невосстанавливаемых изделий АТ установлены:

$P(t)$ – вероятность безотказной работы;

$\lambda(t)$ – интенсивность отказов;

T_{cp} – средняя наработка на отказ, ч. нар.

2.2. Расчетные формулы для оценки показателей безотказности невосстанавливаемых изделий АТ представлены в таб.

Таблица 2.2

Показатели безотказности невосстанавливаемых изделий АТ

№ п/п	Наименование показателя	Обозначения показателя	Определения	Расчетные формулы		Примечание
				Теоретические	Статистические	
1	2	3	4	5	6	7
1	Вероятность безотказной работы.	$P(t)$	Вероятность того, что в пределах заданной наработки t отказ изделия не возникает.	$P(t)=1-F(t)$ T - наработка изделия (ч. нар)	$P^* = 1 - \frac{n(t)}{N}$ $n(t)$ – количество отказов за наработку t , N -общее кол-во изделий под наблюдением.	$F(t)$ - интегральная функция распределения наработки до отказа (определяется законом распределения наработки до отказа).

Продолжение табл.2.2.

1	2	3	4	5	6	7
2	Интенсивность отказов.	$\lambda(t)$	Условная плотность вероятности возникновения отказа невозможного изделия, определяемая для рассматриваемого момента времени t при условии, что до этого момента отказ не возник.	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$	$\lambda^*(t) = \frac{\Delta n}{[N - n_i(t)]\Delta t}$ Δn - количество отказов за наработку на интервале Δt ; Δt - интервал в часах наработки, для которого определяется $\lambda(t)$; $n_i(t)$ - количество отказов на начало i -го интервала.	$f(t)$ - плотность распределения наработки до отказа. $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ $f^*(t) = \frac{\Delta n}{Ndt}$ $\int_0^{\infty} f(t)dt = 1$
3	Средняя наработка до отказа	T_{cp}	Математическое ожидание наработки изделия до первого отказа	$T_{cp} = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} t dF(t)$	$T_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$ <p>при $n=N$</p> $T_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{N} + \frac{(N-n)\theta}{n}$ <p>при $n < N$</p>	n – кол-во отказов за период наблюдения θ θ - период наблюдения в час. наработки

Для оценки показателей надежности (безотказности) параметрическим методом в случае, когда неизвестен закон распределения наработки до отказа, используется метод моментов. Метод моментов может быть использован для полных данных ($n = N$) и предназначен для оценки теоретических значений параметров закона распределения наработки до отказа.

Метод моментов – метод определения параметров, характеризующих случайную величину (наработку до отказа) по её моментам.

Так для определения значения теоретического параметра экспоненциального распределения λ составляется уравнение моментов $\lambda^* = \lambda$, при этом $\lambda^* = \frac{1}{T_{cp}^*}$, T_{cp}^* является математическим ожиданием наработки до отказа, и представляет собой первый начальный момент случайной величины.

Для определения значений теоретических параметров нормального закона распределения составляют систему уравнений моментов
$$\begin{cases} T_{cp}^* = T_{cp} \\ \sigma^* = \sigma \end{cases}.$$

Здесь T_{cp}^* - первый начальный момент, $\sigma^* = \sqrt{D^*}$ (D^* - дисперсия случайной величины, представляет собой центральный момент второго порядка).

Расчетные формулы для статистической оценки параметров законов распределения представлены в таблице 2.3.

Расчетные формулы для определения
статистических параметров законов распределения

Закон распределения	Параметры	Расчетные формулы
Экспоненциальный	λ	$\lambda^* = \frac{1}{T_{cp}^*}; \quad T_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}; \quad n=N$
Нормальный	T_{cp} σ	$T_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}; \quad n=N$ $\sigma^* = \sqrt{D^*}; \quad D^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - T_{cp}^*)^2$
Вейбулла	a b	1) Определить коэффициент вариации $\gamma = \frac{\sigma^*}{T_{cp}^*}$ 2) Определить коэффициенты K_b , C_b и параметр ν^* (по табл. П2) 3) Определить параметр $a^* = \frac{T_{cp}^*}{K_b}$ или $a^* = \frac{\sigma^*}{C_b}$

Метод моментов требует предварительной проверки предлагаемого закона распределения с помощью критериев согласия. Критерий согласия характеризует степень расхождения между предположением о законе распределения и фактическим экспериментальными данными (статистикой).

Наиболее распространен критерий согласия χ^2 (хи – квадрат).

Критерий χ^2 рассчитывается по формуле:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\Delta n_i - N Q_i)^2}{N Q_i}, \quad (2.1)$$

где k – количество интервалов при обработке статистических данных;

Δn_i - количество отказов, наблюдаемых в i – ом интервале;

N – общее количество изделий, находящихся под наблюдением ($N=n$);

Q_i - теоретическая (соответствующая предполагаемому закону распределения) вероятность нахождения случайной величины в i – ом интервале наработки; для изделий АТ представляет вероятность отказа изделия в i – ом интервале наработки.

$Q_i = F(t_i) - F(t_{i-1})$, $F(t_i)$, $F(t_{i-1})$ - интегральные функции распределения наработки до отказа для конца и начала интервала наработки, соответственно; определяются по расчетным формулам предполагаемого закона распределения наработки до отказа.

Расчитанное по формуле (2.1.) значение $\chi^2_{расч}$ сравнивается с $\chi^2_{теор}$, которое определяется по табл. П1 (приложение), $\chi^2_{теор}$ зависит от числа степеней свободы r и уровня значимости α . Уровень значимости α выбирается от 0 до 1, как максимально допустимая вероятность ошибки при подтверждении гипотезы о законе распределения наработки до отказа. Число степеней свободы зависит от процедуры обработки статистических наблюдений:

$r = k-s-1$, k - количество интервалов при обработке статистических наблюдений; s - количество параметров предполагаемого закона распределения наработки до отказа.

Если: $\chi^2_{расч} \leq \chi^2_{теор}$ - гипотеза о законе распределения принимается;

$\chi^2_{расч} > \chi^2_{теор}$ - гипотеза о законе распределения отвергается.

2.1.2. Порядок оценки показателей безотказности невосстанавливаемых изделий АТ параметрическим методом.

а) обработать статистические наблюдения за наработкой до отказа изделия АТ и подготовить исходные данные для оценки показателей (Δt , Δn_i , $i = 1, 2 \dots k$);

б) определить статистические характеристики (f_i^* , λ_i^* , P_i^*) случайной величины для каждого интервала наблюдений и построить гистограммы этих характеристик;

в) по виду гистограмм предположить закон распределения наработки до отказа и определить статистические значения его параметров (табл. 2.3.);

г) подтвердить гипотезу о законе распределения критерием согласия χ^2 ;

д) при подтверждении гипотезы рассчитать методом моментов теоретические значения параметров закона распределения наработки до отказа;

е) оценить показатели безотказности невосстанавливаемого изделия АТ, используя расчетные формулы табл. 2.1. и табл. 2.2.

2.1.3. Задание для самостоятельной работы.

Оценить показатели безотказности невосстанавливаемого изделия АТ T_{cp} и $P(t)$ для $t = 1800$ час параметрическим методом, используя метод моментов и критерий согласия χ^2 . Закон распределения наработки до отказа изделия неизвестен.

Исходная информация (наработка до отказа изделия АТ, наблюдаемые при его эксплуатации) представлена в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Статистические данные по наработкам до отказа изделия АТ ($N = n = 20$)

Вариант	Наработка до отказа (ч. нар)
1	400, 420, 430, 445, 450, 455, 460, 470, 480, 482, 485, 490, 500, 520, 550, 560, 590, 630, 680, 700
2	470, 500, 600, 760, 785, 800, 850, 890, 955, 980, 1000, 1030, 1055, 1070, 1085, 1100, 1135, 1170, 1200, 1250
3	156, 197, 300, 397, 500, 600, 670, 720, 800, 810, 850, 870, 890, 900, 930, 945, 955, 970, 980, 1000
4	56, 97, 200, 296, 400, 450, 570, 600, 650, 702, 749, 760, 790, 810, 830, 845, 855, 870, 970, 1000
5	570, 600, 700, 860, 885, 900, 951, 992, 1050, 1080, 1100, 1130, 1155, 1170, 1185, 1200, 1210, 1235, 1250, 1300

Оценку показателей безотказности выполнять по форме табл. 2.5.

Таблица 2.5

Оценка показателей безотказности
невосстанавливаемого изделия АТ
параметрическим методом

Исходные данные	Δt			...		
	Δn_i					
	$n_i(t)$					
Статисти- ческие ха- рактери- стики	f_i^*					
	λ_i^*					
	P_i^*					
Гипотеза о законе распреде- ления на- работки на отказ	<p>Наименование закона: Математическое выражение $f(t) =$ характеристик закона $P(t) =$</p> <p>Параметры закона:</p>					
Статисти- ческие значения парамет- ров закона						

Продолжение табл.2.5

Уравнения моментов						
Критерий χ^2	Q_i			...		
	NQ_i					
	$\Delta n_i - NQ_i$					
	$(\Delta n_i - NQ_i)^2$					
	$\chi_i^2 =$ $= \frac{(\Delta n_i - NQ_i)^2}{NQ_i}$					
	$\chi_{расч}^2 = \sum_{i=1}^k \chi_i^2 = \dots$	$\chi_{теор}^2 = \dots$				
Вывод	Гипотеза о Законе распределения (не) принимается					
Показатели безотказности	$P(t = 1800_4) = \dots$, $T_{ср} = \dots$					

2.2. Практическое занятие № 2.

Тема: Оценка показателей надежности восстанавливаемых изделий АТ непараметрическим методом (использование метода максимального правдоподобия).

Цель: Изучение непараметрических методов оценки показателей надежности восстанавливаемых изделий АТ.

2.2.1. Теоретические сведения.

Восстанавливаемым изделием считается изделие, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособности предусмотрено нормативно – технической и (или) конструкторской документацией.

Эксплуатация восстанавливаемых изделий АТ может быть описана следующим образом: в начальный момент времени изделие начинает работу до отказа, после отказа происходит восстановление работоспособности и изделия вновь работает до отказа и т.д.

Для восстанавливаемых изделий АТ оценивают все свойства надежности (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость). Исходной деформацией для оценки показателей надежности являются статистические данные, наблюдаемые в процессе эксплуатации изделий : наработки до отказа $\{t_i\}$; времена восстановления работоспособности изделий $\{t_{ei}\}$, сроки хранения и транспортирования изделий, по истечению которых изделие сохраняет свою работоспособность $\{t_{ci}\}$.

Показатели надежности восстанавливаемых изделий АТ и их расчетные формулы представлены в табл. 2.6.

Таблица 2.6.

Показатели надежности восстанавливаемых изделий

Свойство надежности	Наименование	Обозначение	Расчетная формула (точечные оценки непараметрическим методом)		Примечание
			Наблюдения в виде $\{t_i\}; \{n_i\}$	Наблюдение в виде $\{\Delta t_i\}; \{\Delta n_i\}$	
			1	2	
Безотказность	Вероятность безотказной работы	$P(t)$	$P(t) = 1 - \frac{n}{N}$	$P(t) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k \Delta n_i}{N}$ К – количество интервалов при обработке статистики	n - количество отказов за период наблюдения N - общее количество изделий над наблюдением Δn_i - количество отказов на i – ом интервале
	Параметр потока отказов	$\omega(t)$	при $\omega(t) = \text{const}$ $\omega(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \omega_i$	$\omega_i = \frac{\Delta n_i}{N * \Delta t_i}; \omega_{cp} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \omega_i$	Δt_i - величина i – го интервала в часах наработки
	Средняя наработка на отказ	T_0 (ч.нар)	$T_0 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_i$	$T_0 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_{i_{cp}} \Delta n_i$	$t_{i_{cp}}$ - значение наработки в середине интервала Δt_i

Продолжение табл. 2.6.

1	2	3	4	5	6
Долговечность	Средний ресурс	$T_{p\text{ ср}}$ (ч.нар)	$T_{p\text{ ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n t_i + \frac{N-n}{N} \theta$ (при $N > n$) $T_{p\text{ ср}} = T_0$ (при $N = n$)	$T_{p\text{ ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k t_{i\text{ ср}} \Delta n_i +$ $+ \frac{N - \sum_{i=1}^k \Delta n_i}{N} \theta$ (при $N > n$) $T_{p\text{ ср}} = T_0$ (при $N = n$)	θ - период наблюдений в часах наработки
	Гамма – процентный ресурс	$T_{p\gamma}$ (ч. нар)	$T_{p\gamma} = T_{p\text{ ср}} \left(-\text{Ln} \frac{\gamma}{N}\right)$	$T_{p\gamma} = T_{p\text{ ср}} \left(-\text{Ln} \frac{\gamma}{N}\right)$	γ - задаваемая вероятность, выраженная в процентах, при которой изделие в течение наработки $T_{p\gamma}$ не достигнет предельного состояния

Продолжение табл. 2.6.

1	2	3	4	5	6
Ремонто-пригодность	Вероятность восстановления работоспособности за заданное время	$P(t_{\epsilon})$	$P(t_{\epsilon}) = \frac{n_{\epsilon i}(t_{\epsilon i} > t_{\text{зад}})}{N_b}$ $n_{\epsilon}(t_{\epsilon} > t_{\text{зад}})$ - количество восстановлений, при которых превышалось $t_{\text{зад}}$; $t_{\text{зад}}$ - установленное время для восстановления изделия	$P(t_{\epsilon}) = \frac{\sum_{i=1}^k \Delta n_{\epsilon i}(t_{\epsilon i_{cp}} > t_{\text{зад}})}{N_{\epsilon}}$	$t_{\epsilon i_{cp}}$ - значение времени восстановления в середине интервала $\Delta t_{\epsilon i}$ $\Delta n_{\epsilon i}$ - количество восстановлений, наблюдаемых в i -ом интервале $t_{\epsilon i}$ - время восстановления i -го изделия в часах N_{ϵ} - количество восстановлений за период наблюдений
	Среднее время восстановления работоспособности	$t_{\epsilon_{cp}}, \text{ час}$	$t_{\epsilon_{cp}} = \frac{1}{N_{\epsilon}} \sum_{i=1}^{N_{\epsilon}} t_{\epsilon i}$	$t_{\epsilon_{cp}} = \frac{1}{N_{\epsilon}} \sum_{i=1}^k t_{\epsilon i_{cp}} n_{\epsilon i}$	

Продолжение табл. 2.6.

1	2	3	4	5	6
Сохраняемость	Средний срок сохраняемости	$t_{c_{cp}}$ Измеряется в календарных сроках	$t_{c_{cp}} = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} t_{c_i}$	$t_{c_{cp}} = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^k t_{c_{i_{cp}}} * \Delta n_{c_i}$	t_{c_i} - срок сохраняемости i -го изделия в часах. N_c - количество фиксированных сроков сохраняемости изделия. $t_{c_{icc}}$ - значение срока сохраняемости в середине интервала Δt_{c_i} . Δn_{c_i} - количество сроков сохраняемости в i -ом интервале.
	Гамма - процентный срок сохраняемости	T_{c_γ} Измеряется в календарных сроках	$T_{c_\gamma} = t_{c_{cp}} \left(-Ln \frac{\gamma}{100} \right)$	$T_{c_\gamma} = t_{c_{cp}} \left(-Ln \frac{\gamma}{100} \right)$	γ - задание вероятности, выраженная в процентах, при которой изделие сохранит свою работоспособность за календарное время T_{c_γ}

Представленные в табл. 2.6. расчетные формулы для оценки показателей надежности восстанавливаемых изделий АТ получены непараметрическими методами. Непараметрические методы используются, когда нельзя определить значения параметров распределения случайной величины. Показатели надежности оцениваются непосредственно по наблюдаемой статистике (экспериментальные наблюдения случайной величины). Для непараметрических оценок показателей надежности изделий АТ используют метод максимального правдоподобия.

В основе этого метода – формирование функции максимума правдоподобия.

Рассматривается наблюдаемая случайная величина X_i (подразумевается - $\{t_i\}$, $\{b_i\}$, $\{c_i\}$)

Предполагается, что каждое i -ое наблюдаемое случайной величины может быть характеризовано плотностью распределения с параметром $\xi - f_\xi(X_i)$.

Тогда функция правдоподобия всех наблюдений запишется в виде:

$$L(\xi) = f_\xi(X_1)f_\xi(X_2)\dots f_\xi(X_k),$$

X_1, X_2, \dots, X_k - наблюдаемые значения случайной величины

$L(\xi)$ - вероятность того, что при наблюдении будут зафиксированы значения случайной величины X_1, X_2, \dots, X_k .

Для определения максимума этой функции следует записать уравнение вида:

$$\frac{\partial}{\partial \xi} L(\xi) = 0 \quad \text{или} \quad \frac{\partial}{\partial \xi} \ln L(\xi) = 0.$$

Решение этих уравнений позволит получить максимум функции $L(\xi)$. Если в предположении распределения имеет несколько параметров, записывается система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial \xi_1} L(\xi_1, \xi_2) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial \xi_2} L(\xi_1, \xi_2) = 0 \end{cases}$$

ξ_1, ξ_2 - параметры распределения случайной величины

В качестве оценки ξ^* принимают его значение, при котором $L(\xi) = \max$ или $\ln L(\xi) = \max$. Такая оценка будет наилучшей (максимально правдоподобной). Оценка показателей надежности, выраженные через ξ^* и полученные этим методом (расчетные формулы в табл. 2.6) являются точечными оценками. Для определения границ таких оценок необходимо постро-

ить доверительные интервалы. Пусть получено точечное значение показателей надежности q^* , надо определить q_H и q_G - доверительные границы величины q . Задаются доверительной вероятностью $\alpha = P\{q_H \leq q \leq q_G\}$ или $\alpha_1 = P\{q \geq q_H\}$ и $\alpha_2 = P\{q \leq q_G\}$. Величина доверительного интервала характеризует точность выборочной оценки показателей надежности изделий АТ, а доверительная вероятность - достоверность оценки.

2.2.2. Задание для самостоятельной работы.

Оценить показатели надежности восстанавливаемого изделия АТ. Использовать расчетные формулы табл. 2.6, полученные непараметрическим методом на основе максимума правдоподобия и получить точечные оценки. Сделать выводы о надежности изделий АТ, рассматривая его безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

Исходная статистическая информация (табл. 2.7), зафиксированная при эксплуатации изделия АТ представлена в обработанном виде - наблюдаемые случайные величины $\{t_i\}$, $\{t_{e_i}\}$, $\{t_{c_i}\}$ разбиты на интервалы $\{\Delta t_i\}$, $\{\Delta t_{e_i}\}$, $\{\Delta t_{c_i}\}$ и для каждого интервала определено количество показаний случайной величины $\{\Delta n_i\}$, $\{\Delta n_{e_i}\}$, $\{\Delta n_{c_i}\}$. Для получения варианта задания следует величины $\{\Delta t_i\}$, $\{\Delta t_{e_i}\}$, $\{\Delta t_{c_i}\}$ увеличить в α раз ($\alpha = 1 \div 6$, назначается преподавателем).

Статистические данные для оценки показателей
надежности восстанавливаемых изделий АТ
непараметрическим методом

Количество изделий	N=400		N _B = 108		N _C = 60	
	Δt , час. нар	Δn	Δt_{ϵ}	Δn_{ϵ}	Δt_c , месяцы	Δn_c
Статистические данные по интервалам наблюдений $i = 1 \dots k$ $k = 7$	0 – 1000	5	0 – 0,5	13	0 – 3	10
	1000 - 2000	7	0,5 – 1,0	15	3 – 6	15
	2000 - 3000	3	1,0 – 1,5	21	6 – 9	14
	3000 - 4000	8	1,5 – 2,0	17	9 – 12	9
	4000 - 5000	6	2,0 – 2,5	20	12 – 15	6
	5000 - 6000	2	2,5 - 3	12	15 – 18	4
	6000 - 7000	4	3 – 3,5	10	18 - 20	2

Для оценки показателей надежности принять:

$$\gamma = 90\%; t_{зад} = 2,5 \text{ час.}$$

2.3. Практическое занятие №3.

Тема: Анализ показателей деятельности по эксплуатационным данным (отказы функциональных систем самолета Ил- 62 за 1 год эксплуатации).

Цель: Научиться строить временные диаграммы и оценить показатели надежности по эксплуатационным данным.

2.3.1. Теоретические сведения.

Реальные наблюдения за эксплуатацией изделий АТ характеризуются следующим:

- а) переменным числом наблюдаемых изделий на разных интервалах наработки в фиксированные моменты календарного времени (переменность парка ЛА);
- б) ограничением наработки изделий межремонтным ресурсом, что приводит к усеченности выборки (ее цензурированию);
- в) неодновременным началом и окончанием эксплуатации изделий АТ.

Эксплуатационная информация для оценки и анализа надежности изделий АТ может наблюдаться в виде полных данных (полные выборки), когда наблюдаемые случайные величины (наработки до отказа изделий, времена восстановлений, сроки хранения) реализованы полностью, т.е. число наблюдений N равняется числу реализации случайной величины n : $N = n$.

При наблюдении за отказами изделий АТ, наиболее часто имеем дело с усеченными (цензурированными) выборками, когда $N > n$, т.е. при наблюдении данные состоят как из полных реализаций случайной величины в количестве n , так и из количества $(N - n)$ изделий, которые эксплуатируются, но не отказали.

Различают однократно и многократно цензурированные выборки. В однократно цензурированной выборке значения наработок для всех изделий в количестве $(N - n)$ равны между собой и каждая из них больше или равна наибольшей наработке до отказа. В многократно цензурированной выборке эти величины не равны между собой.

Для проведения экспериментальных наблюдений устанавливаются планы (ГОСТ 27502-83). Они обозначаются $[NUT]$, $[NUr]$, $[NRT]$, $[NRr]$, $[NMg]$, где N – количество наблюдаемых изделий,

U – отказавшие изделия не заменяются,

R – отказавшие изделия заменяются,

M – отказавшие изделия восстанавливаются,

T – наблюдения проводятся в течении времени T ,

g – наблюдения проводятся до отказа g изделий.

Например, наблюдения за эксплуатацией невосстанавливаемых изделий АТ в течение времени T соответствует плану [NUT], наблюдения за эксплуатацией восстанавливаемых изделий в течении времени T соответствует плану [NRT].

Данные о наработках до отказа изделий АТ фиксируются в КУН АТ (“карточка учета неисправной АТ”) которые оформляются на каждый отказ и неисправность изделия АТ. Обработка массива таких КУН АТ, накопленных за календарный период позволяет получить статистические данные о наработках до отказа изделия ($t_1, t_2 \dots t_n$).

Для обработки статистических данных, накопленных при эксплуатации парка ЛА, строят временные диаграммы по наработкам до отказа изделий АТ.

Примеры временных диаграмм представлены на рис. 2.4.

Для восстанавливаемых изделий или заменяемых при наблюдениях на временной диаграмме отражаются бортовые номера ЛА, в составе которых эксплуатируются изделия. Пример такой временной диаграммы представлена на рис. 2.5.

Для оценки показателей безотказности ранжированная временная диаграмма использоваться для разбиения наработке на “К” интервалов Δt_i (величины интервалов должен быть равны без реализации случайной величины (рис. 2.6).

Обработка статистических данных (подготовка информации для оценки показателей надежности) заключается в формировании табл. 2.8

Таблица 2.8.

Информация для оценки надежности

Δt	$0 - t_1$	$t_1 - t_2$	$t_2 - t_3$	Примечание
N	9	7	3	N - количество наблюдений на интервале;
Δn	1	2	1	Δn - количество отказов на интервале;
$n(t)$	0	1	3	$n(t)$ - количество отказов, накопленное на начало интервала

Оценка показателей безотказности выполняется параметрическим методом в соответствии с теоретическими сведениями практических занятий № 1 и № 2 данного пособия.

2.3.2. Задание для самостоятельной работы.

Оценить вероятность безотказной работы восстанавливаемых (заменяемых при отказе) изделия функциональной системы ЛА по исходной информации, содержащиеся в КУН АТ, для чего:

- а) получить вариант исходных данных по результатам эксплуатационных наблюдений за отказами изделий функциональной системы ЛА;
- б) построить временную диаграмму наработок изделий, воспользовавшись данными о наработке до отказа, содержащихся в КУН АТ; предусмотреть реализацию плана [NRT] при однократном цензурировании;
- в) построить ранжированную временную диаграмму и обработать статистические данные;
- г) оценить вероятность безотказной работы изделий функциональной системы для каждого интервала наработок непараметрическим методом, используя расчетную формулу табл. 2.6.;

Сделать выводы об изменении безотказности изделий в зависимости от наработок.

2.4. Практическое занятие № 4.

Тема: Анализ надежности участков гидросистем Ил-62 методом структурных схем и методом логических схем.

Цель: Приобрести навыки оценки надежности сложных систем методом структурных и логических схем.

2.4.1. Теоретические сведения.

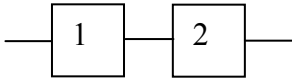
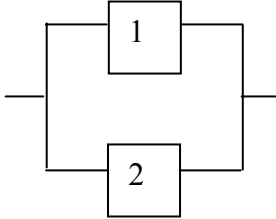
Методы структурных схем применяется для оценки надежности одно - функциональных систем. Особенностью применения метода является то, что структурная схема может включать только один вид отказа элементов сложной системы. Порядок применения метода состоит в следующем:

- а) анализируется работа принципиальной схемы сложной системы, определяется связь между элементами и вложенность работы системы при отказе элементов;
- б) строится структурная схема надежности сложной системы, отражающая вероятность безотказной работы системы при рассмотрении безотказности ее элементов.
- в) производится расчет надежности (вероятности безотказной работы) системы; исходной информацией являются вероятности безотказной работы элементов.

Для построения структурной схемы используются последовательные и параллельные цепочки. Последовательное соединение используется, если отказ элемента приводит к отказу системы; параллельное соединение используется, если отказ элемента не приводит к отказу системы.

Графическое изображение последовательных и параллельных звеньев, расчетные формулы для оценки их надежности приведены в таблице 2.9.

Расчет надежности методом структурных схем

Вид соединения	Графическое изображение	Вероятность безотказной работы	Исходная информация
Последовательное		$P = P_1 P_2$	$P_1 = e^{-\lambda_1 t}$ $P_2 = e^{-\lambda_2 t}$ λ_1 и λ_2 - интенсивность отказов 1-ого и 2-ого элементов;
Параллельное		$P = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$	при установившемся потоке отказов $\lambda = \omega_{cp}$; t – время работы системы.

Метод логических схем применяется для оценки надежности одно и многофункциональных систем и позволяет учитывать виды отказов элементов.

Порядок применения метода состоит в следующем:

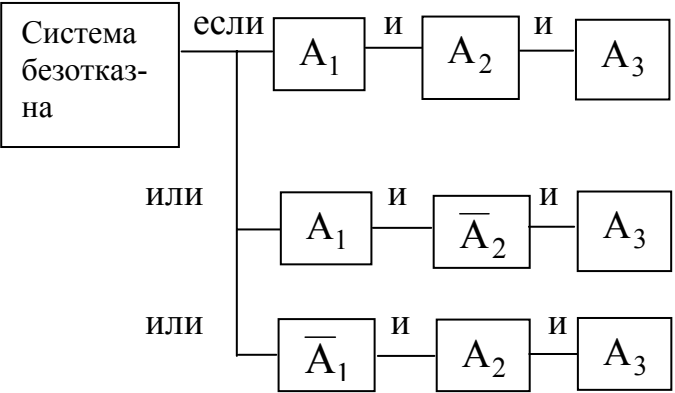
- а) анализируется работа принципиальной схемы сложной системы и определяется функциональная связь между элементами;
- б) строится логическая схема надежности систем, отражающих все возможные варианты безопасной работы элементов для обеспечения безотказной работы системы;
- в) проводится расчет надежности (вероятности безотказной работы) системы; исходной информацией являются вероятности безотказной работы элементов и логические связи между ними.

Для построения логической схемы используются логические элементы “если”, “и” и “или”. Для описания работы системы при безотказной работе системы при безотказной работе и одного и другого элемента используется “и”, при безотказной работе или одного или другого элемента - “или”.

Примеры логической схемы и расчетные формулы для оценки надежности системы представлены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Расчет надежности методом логических схем

Логическая схема	Условные обозначения	Вероятности безотказной работы	Исходная информация
	<p>A – событие безотказной работы элемента;</p> <p>\bar{A} – событие отказа элемента;</p> <p>“И” – логический символ умножения;</p> <p>“ИЛИ” – логический символ сложения</p>	$P = P_{A_1} P_{A_2} P_{A_3} + P_{A_1} (1 - P_{A_2}) P_{A_3} + (1 - P_{A_1}) P_{A_2} P_{A_3}$	<p>$P_{A_i} = e^{-\lambda_i t}$</p> <p>$\lambda_i$ - интенсивность отказа i-ого элемента;</p> <p>t – время работы системы;</p> <p>при установившемся потоке отказов $\lambda_i = \omega_{i_{cp}}$</p>

2.4.2. Задание для самостоятельной работы.

Оценить вероятность безотказной работы участка гидросистемы Ил-62 за время работы $t_1 = 3$ часа и $t_2 = 300$ часов двумя методами: структурных и логических схем.

Для чего:

- а) проанализировать работу участка гидросистемы по принципиальной схеме и выделить основные элементы;
- б) построить структурную и логическую схемы;
- в) рассчитать вероятность безотказной работы элементов за время t_1 и t_2 при условии, что все элементы равнонадежны и параметр потока отказов элемента $\omega_i = 1 * 10^{-4}$;
- г) рассчитать вероятность безотказной работы участка гидросистемы методом структурных и логических схем за время t_1 и t_2 ;
- д) принципиальная схема участка гидросистемы Ил-62 по приложению (рис. П1 ÷ П6);
- е) сделать выводы о вероятности безотказной работе участка гидросистемы Ил-62 при наработке t_1 и t_2 .

Табл. П.1. – χ^2 – методика № 767 - табл. 4.1.

Табл. П.2. – Вейбулла – метод. № 76 – табл. 3.5

Табл. П.3. – $F_0(X)$ – метод. № 76 – табл. П.1.1

Рис. П1 ÷ П6 – принципиальная схема участка гидросистемы Ил-62

Использованные источники.

Стр.43. метод № 767