





# 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

## 1.1. Цель работы

Целью практического занятия (ПЗ) по теме «Статистическое моделирование эксплуатационно-технических характеристик объектов АТ» является:

1) закрепление знаний по теме лекционного занятия «Классификация моделей возникновения отказов в процессе эксплуатации объектов АТ, статистическое моделирование»;

2) приобретение навыков статистического моделирования эксплуатационно-технических характеристик и процессов эксплуатации объектов АТ.

## 1.2. Основные вопросы, подлежащие изучению для выполнения практического занятия

Для закрепления теоретического материала по указанной теме и для подготовки к ПЗ студентам рекомендуется изучить следующие вопросы:

- 1) эксплуатационно-технические характеристики объектов АТ;
- 2) модели возникновения отказов объектов АТ;
- 3) модели процессов эксплуатации объектов АТ;
- 4) принципы статистического моделирования.

# 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

## 2.1. Эксплуатационно-технические характеристики объектов АТ

Процесс эксплуатации АТ сопровождается изменением ее технического состояния, появляются отказы и неисправности. Эксплуатационные качества объектов АТ принято описывать эксплуатационно-техническими характеристиками (ЭТХ), которые определяют как «комплекс количественных и качественных показателей, характеризующих техническое совершенство АТ».

Под техническим совершенством понимают способность к сохранению, поддержанию и восстановлению эксплуатационных качеств объектов АТ в процессе их технической эксплуатации.

При выполнении ПЗ подлежат определению такие ЭТХ, как:

$P(T_{рес})$  – вероятность безотказной работы АТ за межремонтный ресурс ЛА;

$N_{ср}(T_{рес})$  – Среднее количество отказов объекта АТ за межремонтный ресурс ЛА.

## 2.2. Процесс эксплуатации объекта АТ

Рассматривается процесс эксплуатации объекта АТ, схематично представленный на рис. 1.

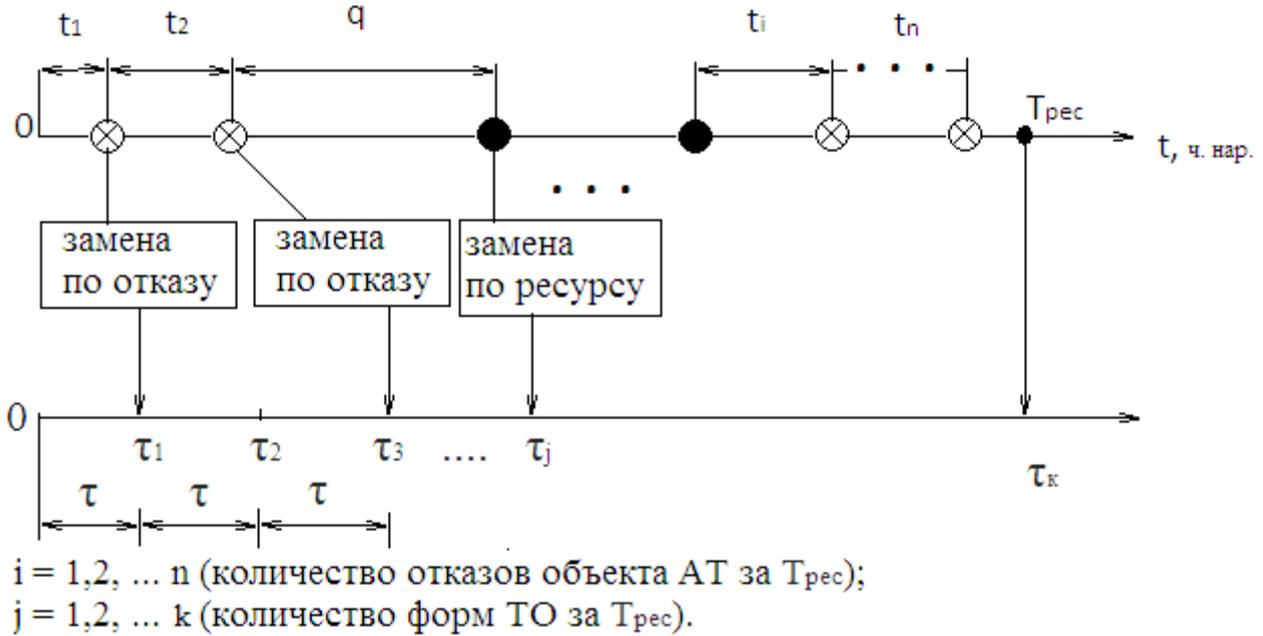


Рис. 1. Схема процесса эксплуатации объекта АТ

На схеме представлено:  $r$

$t$ , ч. нар. – ось наработки объекта АТ при его использовании по назначению (полет);

$t_1, t_2, \dots, t_n$ , ч. нар – наработки до отказа объекта АТ;

$q$ ,  $T_{рес}$ , ч. нар – ресурс объекта АТ и межремонтный ресурс ЛА, соответственно, установленные в технической документации;

$\tau$ , ч.нар. – ось выполнения технического обслуживания (ТО) ЛА;

$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$ , ч.нар – периодичность выполнения ТО в соответствии с регламентом периодического ТО ЛА.

При выполнении ТО проводятся замены объекта АТ по истечении ресурса (замена по ресурсу), а также замены отказавшего объекта АТ (замена по отказу). Время восстановления (замены) объекта АТ не учитывается.

Значения  $t_1, t_2, \dots, t_n$  являются результатом статистических наблюдений и представляют реализацию непрерывной случайной величины.

### 2.3. Модели возникновения отказов объектов АТ

Модели возникновения отказов объектов АТ позволяют оценивать и анализировать показатели их ЭТХ и делать прогнозы на длительный период эксплуатации парка ЛА.

Классификация моделей представлена на рис. 2. Изучению при выполнении ПЗ подлежит «статистическое моделирование».

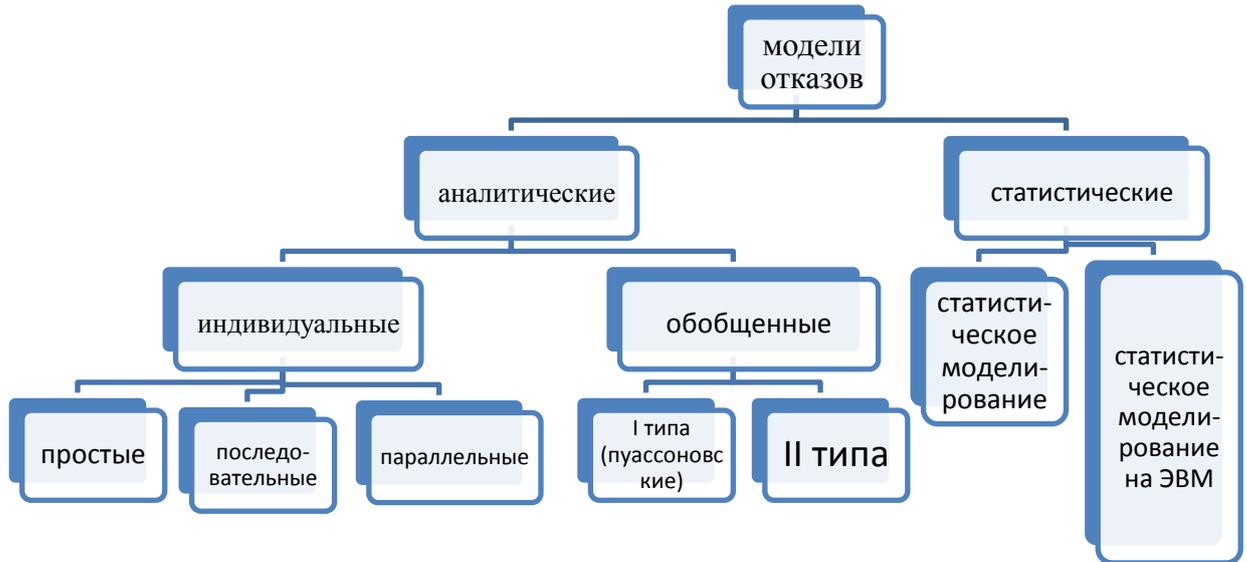


Рис. 2. Классификация моделей возникновения отказов объектов АТ

### 2.4. Принципы статистического моделирования

Реальные условия эксплуатации объектов АТ так сложны, что применение аналитических моделей невозможно, тогда используют статистическое моделирование.

В основе статистического моделирования лежит процедура, носящая название метода статистических испытаний (метод Монте-Карло). Общий принцип метода отражен в выражении:

$$\Theta = \int_0^T y(t)p(t)d(t),$$

где  $\Theta$  - оцениваемая характеристика объекта АТ (ЭТХ);

$t$  – случайная величина, возникающая с вероятностью  $P(t)$ ,

( $P(t)$  – характеризует закон распределения случайной величины  $t$ )

$y(t)$  – функция случайной величины  $t$  (зависимость ЭТХ от случайной величины  $t$ ).

Результатом моделирования является оценка  $\tilde{\Theta}$ , которая определяется как математическое ожидание  $y(t)$ :

$$\tilde{\Theta} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R y(t_r), t_r = P(t),$$

где  $R$  – количество испытаний (опытов) реализации случайной величины  $t$ .

В каждом опыте разыгрывается реализация искусственно сформированной случайной величины  $\{t_r\}$ . После того как рассмотрено  $R$  опытов вычисляется итоговая оценка  $\tilde{\Theta}$ .

Преимущество статистического моделирования:

- 1) имитация процесса эксплуатации объекта АТ, на стадии проектирования ЛА или на ранней стадии эксплуатации, когда отсутствует накопленная статистика по возникновению отказов;
- 2) возможность исследовать динамику изменения ЭТХ объектов АТ от наработки.

### **3. Методические указания по теме практического занятия**

#### **3.1. Постановка задачи**

Объектом АТ рассматривается изделие функциональной системы ЛА, подверженное в процессе эксплуатации отказам.

Под «изделием» понимается узел, агрегат, компонента функциональной системы ЛА, восстановление которых производится заменой отказавших на новые.

«Запасным изделием» является новое (исправное), которое ставится на ЛА взамен отказавшего. Замена отказавших изделий выполняется при проведении ТО с периодичностью  $\tau$ , ч. нар.

Изделие имеет свой ресурс  $q$ , ч. нар., по истечении которого оно заменится на новое независимо от технического состояния.

Задано, что наработки до отказа изделия являются реализацией непрерывной случайной величины, которая подчинена экспоненциальному закону распределения.

Для ЛА установлен межремонтный ресурс -  $T_{рес}$ , ч. нар.

Подлежат решению следующие задачи:

- 1) Определение вероятности безотказной работы изделия за межремонтный ресурс ЛА –  $P(T_{рес})$ ;
- 2) Определение количества потребных запасных изделий на период межремонтного ресурса ЛА-  $N_{ср}(T_{рес})$ .

### 3.2. Определение вероятности безотказной работы изделия за межремонтный ресурс ЛА

Исходные данные для определения безотказной работы изделия за межремонтный ресурс ЛА  $P(T_{рес})$  представлены в приложении 1.

Порядок выполнения статистического моделирования:

- 1) Рассмотреть модель процесса эксплуатации изделия (рис. 1) с учетом выполнения ТО с периодичностью  $\tau_{за}$  за период  $T_{рес}$ ;
- 2) Выполнить моделирование для нескольких реализаций процесса ( $r$  – порядковый номер реализации,  $r = 1 \div R$ );
- 3) При моделировании использовать искусственно сформированную статистику по средним наработкам до отказа изделия  $\{t_{срч}\}$ , (Приложение 1).

Примечание: для сопоставления со схемой рис. 1

$$t_{срч} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i,$$

где  $n$  – количество наблюдений наработки до отказа изделия  $t_i$  в реальном процессе эксплуатации;

4) Для каждой  $r$ -ой реализации процесса определить статистические характеристики в соответствии с экспоненциальным законом распределения:

- параметр потока отказов  $\omega_r = \frac{1}{t_{срч} \cdot N_{ЛА} \cdot a}$ ;

- вероятность безотказной работы  $P_{rj} = e^{-\omega_r \cdot \tau_j}$ ,

где  $\tau_j$ , ч. нар. – периодичность выполнения  $j$ -ой формы ТО ( $j = 1 \div K$ );

$N_{ЛА}$  - количество ЛА в парке;

$a$  – количество однотипных изделий на ЛА.

5) результаты расчета представить по форме табл. 1 и графически (рис. 3)

Расчет вероятности безотказной работы изделия  
при моделировании процесса эксплуатации

r	t <sub>ср</sub> , ч. нар.	$\omega_r = \frac{1}{t_{срr} \cdot N_{ЛЛ} \cdot a}$	$P_{rj} = e^{-\omega_r \cdot \tau_j}; \tau, \text{ ч. нар.}$					
			$\tau_1$	$\tau_2$	...	$\tau_j$	...	$\tau_k$
1	t <sub>ср1</sub>	$\omega_1$	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	...	P <sub>1j</sub>	...	P <sub>1k</sub>
2	t <sub>ср2</sub>	$\omega_2$	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	...	P <sub>2j</sub>	...	P <sub>2k</sub>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
R	t <sub>срR</sub>	$\omega_R$	P <sub>R1</sub>	P <sub>R2</sub>	...	P <sub>Rj</sub>	...	P <sub>Rk</sub>
$\sum_r P_{rj}$			P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	...	P <sub>j</sub>	...	P <sub>k</sub>
$P_{ср}(\tau) = \frac{1}{R} \sum_r P_{rj}$			P <sub>ср1</sub>	P <sub>ср2</sub>	...	P <sub>срj</sub>	...	P <sub>срк</sub>

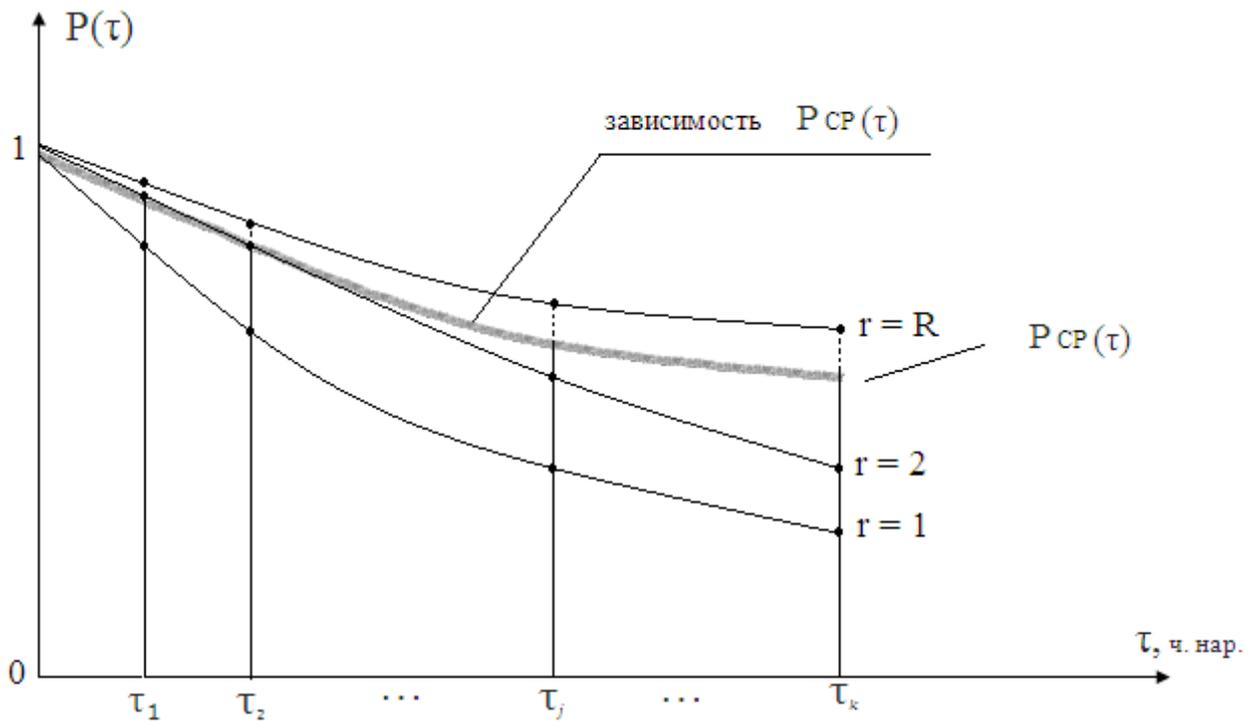


Рис.3 Результаты статистического моделирования для определения  $P(\tau)$

б) по результатам моделирования определить  $P(T_{рес}) = P_{ср}(\tau_k)$ .

### 3.3. Определение количества потребных запасных изделий на период межремонтного ресурса ЛА

Количество потребных запасных изделий для обеспечения работоспособности функциональных систем на период межремонтного ресурса ЛА определяется по среднему количеству замен отказавших изделий и замен изделий по ресурсу при выполнении периодического ТО ( $N_{ср}(T_{рес})$ ).

Будем рассматривать процесс эксплуатации изделия в течении наработки, равной межремонтному ресурсу ЛА ( $T_{рес} = T_k$ ), отраженный на схеме рис. 1.

Исследуется дискретная случайная величина – количество замен изделий ( $d$ - замены по ресурсу,  $n_{ср}$  – замены по отказу). В этом случае необходимое количество потребных запасных изделий на период межремонтного ресурса ЛА для парка составит:

$$N_{ср}(T_{рес}) = d + n_{ср}.$$

Расчет выполняется методом статистического моделирования.

#### 3.3.1. Определение количества замен по ресурсу

Процесс замены изделия по ресурсу  $q$ , ч. нар. отражен на рис. 4.

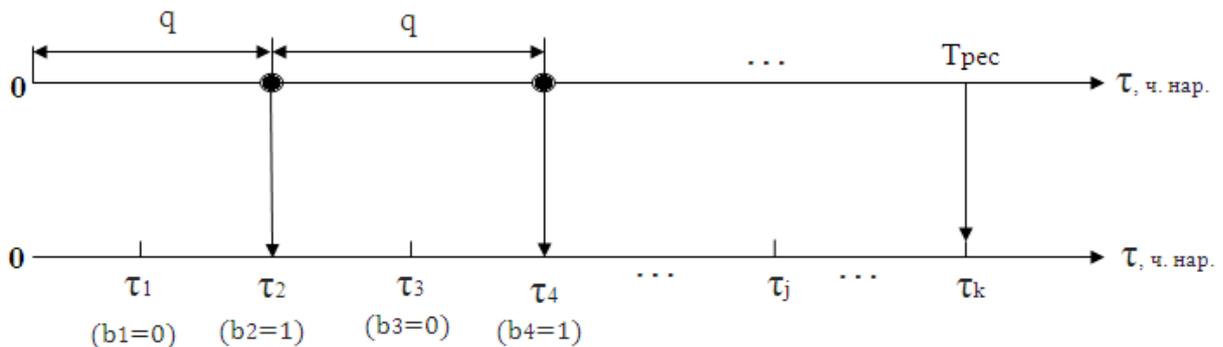


Рис. 4. Схема замены изделий по ресурсу

Количество замен определяется для каждого  $T_j$ ; после каждой замены по ресурсу отсчет величины  $q$  ведется заново. Процедура расчета представлена в табл. 2.

## Процедура расчета замен по ресурсу

обозначения	Условия определения количества замен	d	Примечание
b – кол-во замен изделия,	$b_j = \begin{cases} 0, & \text{при } q > \tau_j (\text{нетзамен}) \\ 1, & \text{при } q = \tau_j (\text{замена}) \end{cases}$		а – количество однотипных изделий на ЛА;
с – кол-во замен изделия на ЛА	$c_j = b_j \cdot a$		
d – кол-во замен изделия на парке ЛА	$d_j = c_j \cdot a \cdot N_{\text{ЛА}}$	$d = \sum_{j=1}^k d_j$	$N_{\text{ЛА}}$ – кол-во ЛА в парке; J = 1, 2 ... K

Результаты расчета должны быть представлены по форме табл. 3

Таблица 3

## Расчет количества замен по ресурсу

объект АТ	$\tau$ , ч. нар. количество замен	$\tau_1$	$\tau_2$	...	$\tau_j$	...	$\tau_k$
изделие	$b(\tau) = b_j$	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	...	b <sub>j</sub>	...	b <sub>k</sub>
ЛА	$c(\tau) = c_j$	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	...	c <sub>j</sub>	...	c <sub>k</sub>
парк ЛА	$d(\tau) = d_j$	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	...	d <sub>j</sub>	...	d <sub>k</sub>

## 3.3.2. Определение количества замен по отказу

Процесс замены изделия по отказу отражен на рис. 5. Моделирование выполняется для R реализаций процесса (r – порядковый номер реализации  $r=1 \div R$ ). Используется искусственно сформированная статистика  $\{t_{cpr}\}$  (Приложение 1).

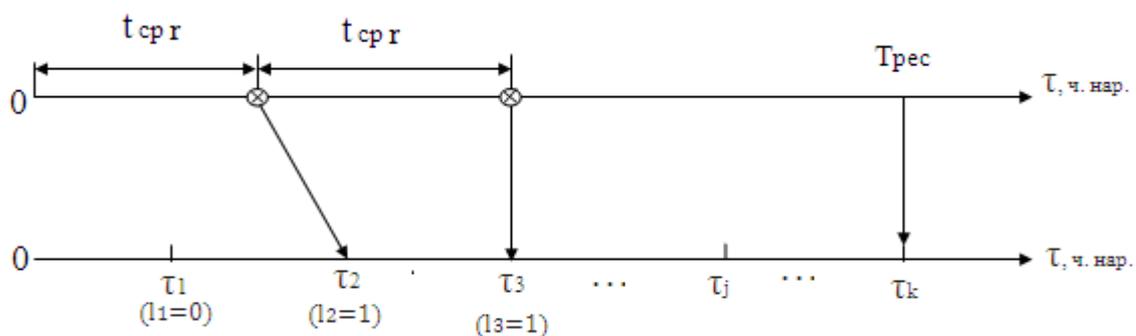


Рис.5. Схема r-ой реализации процесса замены изделия по отказу

Количество замен определяется для каждого значения  $\tau_j$ ; после замены отсчет наработки  $t_{cpr}$  ведется заново.

Процедура расчета представлена в табл. 4.

Таблица 4

Процедура расчета замен по отказу

Обозначения	Условия определения кол-ва замен	$n_{ср}$	Примечания
l - кол-во замен изделия	$l_{rj} = \begin{cases} 0, & \text{при } t_{cpr} > \tau_j \text{ (нет замены)} \\ 1, & \text{при } t_{cpr} \leq \tau_j \text{ (замена)} \end{cases}$ $l_{срj} = \begin{cases} 0, & \text{при отсутствии 1 в столбце } \tau_j \\ 1, & \text{при наличии любого числа "1" в столбце } \tau_j \end{cases}$		$t_{cpr}$ - средн. нар. до отказа, ч. нар. (по Приложению 1) $r = 1 \div R; R = 5$ $j = 1, 2, \dots, k;$ <b>a</b> - кол-во однотипных изд. на ЛА; <b>N<sub>ЛА</sub></b> - кол-во ЛА в парке;
m - кол-во замен изделия на ЛА	$m_{срj} = l_{срj} \cdot a$		$Q_{ср}$ - вероятность отказа изделия,
n - кол-во замен изделия на парке ЛА	$n_{срj} = m_{срj} \cdot N_{ЛА} \cdot Q_{ср}$	$n_{ср} = \sum_{j=1}^k n_{срj}$	$Q_{ср} = 1 - P_{ср}$ $P_{ср}$ - вероятность безотказной работы изделия (по табл. 1, п. 3.2)

Результаты расчета должны быть представлены по форме табл.5.

Таблица 5

## Расчет количества замен по отказу

Объект АТ	Кол-во замен	r	$\tau$ , ч.нар.	$\tau_1$	$\tau_2$	...	$\tau_j$	...	$\tau_k$
			$t_{cp}$ , ч.нар.						
Изделие	1 ( $\tau$ )	1	$t_{cp1}$	$l_{11}$	$l_{12}$	...	$l_{1j}$	...	$l_{1k}$
		2	$t_{cp2}$	$l_{21}$	$l_{22}$	...	$l_{2j}$	...	$l_{2k}$
		.	.	.	.	.	.	.	.
		.	.	.	.	.	.	.	.
	R	$t_{cpR}$	$l_{R1}$	$l_{R2}$	...	$l_{Rj}$	...	$l_{Rk}$	
	$l_{cp}(\tau)$			$l_{cp1}$	$l_{cp2}$	...	$l_{cpj}$	...	$l_{cpk}$
ЛА	$m_{cp}(\tau)$			$m_{cp1}$	$m_{cp2}$	...	$m_{cpj}$	...	$m_{cpk}$
Парк ЛА		$P_{cp}(\tau)$		$P_{cp1}$	$P_{cp2}$	...	$P_{cpj}$	...	$P_{cpk}$
		$Q_{cp}(\tau)$		$Q_{cp1}$	$Q_{cp2}$	...	$Q_{cpj}$	...	$Q_{cpk}$
	$n_{cp}(\tau)$			$n_{cp1}$	$n_{cp2}$	...	$n_{cpj}$	...	$n_{cpk}$

Примечание. Полученные расчетные значения  $\{n_{cpj}\}$  округлять до целых значений в сторону увеличения

$$n_{cpj} = \{0,0001 \div 0,4\} \approx 1$$

### 3.3.3. Определение суммарного количества потребных запасных изделий при замене по ресурсу и по отказу

Количество потребных запасных изделий определяется на период межремонтного ресурса ЛА для парка:

$$N_{cp}(T_{рес}) = d + n_{cp}, \text{ где } d \text{ определяется по табл. 2, } n_{cp} \text{ – по табл. 3.}$$

### 3.3.4. Исследование зависимости $N_{cp}$ от периодичности ТО

Зависимость  $N_{cp}(\tau)$  отражается на графике (рис. 6), построенном по данным табл. 6.

Примечание. Полученные расчетные значения  $\{n_{cpj}\}$  округлять до целых значений в сторону увеличения  $n_{cpj} = \{0,0001 \div 0,4\} \approx 1$

Таблица 6

Исходные данные для построения графика

$\tau$ , ч.нар.	$\tau_1$	$\tau_2$	...	$\tau_j$	...	$\tau_k$	Примечание
$d(\tau)$	$d_1$	$d_2$	...	$d_j$	...	$d_k$	По табл.3
$n_{cp}(\tau)$	$n_{cp1}$	$n_{cp2}$	...	$n_{cpj}$	...	$n_{cpk}$	По табл.5
$N_{cp}(\tau) = d(\tau) + n_{cp}(\tau)$	$N_{cp1}$	$N_{cp2}$	...	$N_{cpj}$	...	$N_{cpk}$	

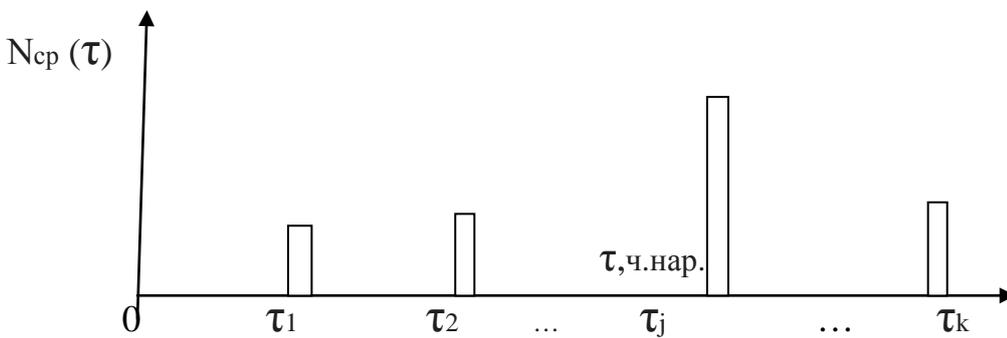


Рис.6. Потребность в запасных изделиях при проведении периодического ТО для парка ЛА

### 3.4. Выводы по практическому занятию

Выводы должны содержать:

1) оценку полученного значения вероятности безотказной работы изделия за межремонтный ресурс ЛА; при  $P(\text{Трес}) \leq 0,8$  – предложения по повышению безотказности изделия;

2) рекомендации по обеспечению процесса эксплуатации парка ЛА запасными изделиями на период межремонтного ресурса ЛА с учетом периодичности выполнения ТО.

### 4. Задание для самостоятельной проработки на практическом занятии

Для выполнения ПЗ студенты изучают методические указания (п. 3 пособия), получают от преподавателя вариант задания и выполняют статистическое моделирование процесса эксплуатации изделия.

Исходные данные для выполнения варианта задания представлены в Приложении 1.

Для варианта задания с использованием исходных данных студенту требуется:

1) определить вероятность безотказной работы изделия за межремонтный ресурс ЛА -  $P(T_{рес})$ ;

2) определить количество потребных запасных изделий для парка ЛА на период межремонтного ресурса ЛА -  $N_{сп}(T_{рес})$ .

## 5. Отчетность по практическому занятию

После выполнения практического занятия студенты представляют преподавателю отчет по форме Приложения 2, который включает:

- расчет вероятности безотказной работы изделия;
- зависимость  $P(\tau)$ ;
- расчет количества замен изделия по отказу;
- расчет количества замен изделия по ресурсу;
- потребность в запасных изделиях с учетом периодичности ТО;
- значения  $P(T_{рес})$  и  $N_{сп}(T_{рес})$ .

## Литература

1. ГОСТ 18 322-78 (СТ СЭВ 5151-85). Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
2. Смирнов Н. Н., Герасимова Е. Д., Полякова И. Ф., Эксплуатация надежность и режимы технического обслуживания самолетов: учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2002.
3. Ицкович А. А., Кабков П. К., Вероятностно-статистические модели эксплуатации ЛА: учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2009.

**Исходные данные для определения  
Р(Трес) и N<sub>ср</sub>(Трес)**

Тип ЛА – Ту-154; количество ЛА в парке -  $N_{\text{ЛА}} = 10$ ;

Межремонтный ресурс ЛА –  $T_{\text{рес}} = 6000$  ч. нар.;

Периодичность технического обслуживания  $\tau = 600$  ч. нар.

Таблица П 1.1

№ вар.	Функц. система	Изделие	Ресурс изделия q, ч.нар.	Кол-во на ЛА, а	Средние наработки до отказа для статистического моделирования {tcp <sub>r</sub> }, ч.нар.				
					tcp 1	tcp 2	tcp 3	tcp 4	tcp 5
1	Гидравл. система	Клапан обратный	4200	6	1000	2500	3000	3500	4000
2		Гидроаккумулятор	1800	3	600	800	1000	1500	1800
3		Регулятор давления	4200	2	2000	2500	3000	3600	3800
4		Гидробак	4800	1	1000	2400	3500	4000	4500
5		Кран электромагнитн.	3000	1	900	1500	1800	2100	2800
6	Топливн. система	Кран перекивной	3600	2	1550	1950	2300	3000	3500
7		Насос-регулятор	3600	4	1200	2100	2600	3200	3600
8		Клапан обратный	4200	4	900	2200	3000	3400	4100
9		Кран заправки	2400	6	1000	1100	1400	1800	2000
10		Сливной кран	3000	3	1000	1300	2100	2300	2900
11	Система кондицон.	Турбоохладитель	4200	2	950	2300	3000	3200	4000
12		Заслонка регулирования	1800	2	600	900	1100	1600	1800
13		Клапан обратный	4800	4	1000	2300	3100	3600	4500
14		Командный прибор	2400	2	900	1200	1600	2000	2300
15		Регулятор давления	3000	4	1000	1200	1600	2400	3000

Форма отчета о выполнении  
практического занятия

Кафедра ТЭЛА и АД  
Дисциплина «Вероятностно-статистические модели эксплуатации»

Отчет

о выполнении практического занятия на тему «Статистическое моделирование  
эксплуатационно-технических характеристик АТ»

Студент \_\_\_\_\_

Отчет принял \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20...г.

1. Цель практического занятия

---

---

---

---

---

2. Исходные данные для варианта задания №\_\_\_ (по приложению 1):

Тип ЛА – Ту-154;

Количество ЛА в парке -  $N_{ЛА} = 10$ ;

Межремонтный ресурс ЛА –  $T_{рес} = 6000$  ч. нар.;

Периодичность ТО- $\tau = 600$  ч. нар.

Таблица П 2.1

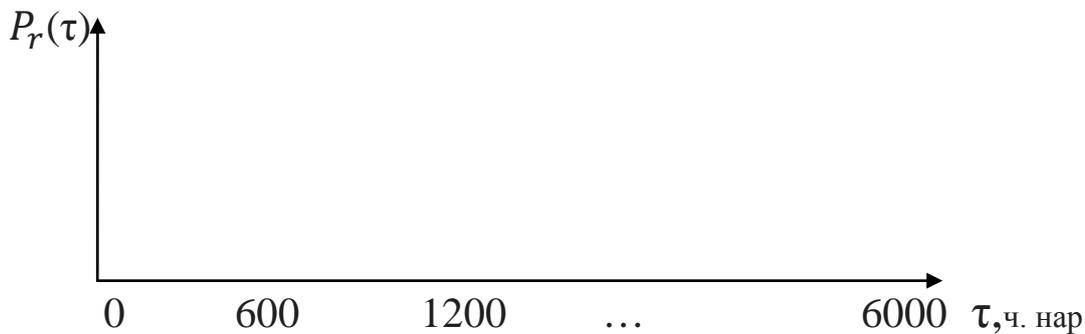
Изделие	Ресурс изделия q, ч.нар.	Кол-во на ЛА,а	Средние наработки до отказа для статистического моделирования {t <sub>срj</sub> }, ч.нар.					
			t <sub>ср 1</sub>	t <sub>ср 2</sub>	t <sub>ср 3</sub>	t <sub>ср 4</sub>	t <sub>ср 5</sub>	

## 2. Определение вероятности безотказной работы изделия за межремонтный ресурс ЛА - P(Трес)

Таблица П 2.2

r	t <sub>ср</sub> , ч. нар.	$\omega_r = \frac{1}{t_{срr} \cdot N_{ЛА} \cdot a}$	$P_{rj} = e^{-\omega_r \cdot \tau_j}$ ; $\tau$ , ч. нар											
			$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$	$\tau_5$	$\tau_6$	$\tau_7$	$\tau_8$	$\tau_9$	$\tau_{10}$		
1														
2														
3														
4														
5														
		$\sum_r P_{rj}$												
		$P_{срj} = \frac{1}{5} \sum_r P_{rj}$												

На рис. П 2.1 представлены зависимости  $P_r(\tau)$  для  $r = 1, 2, \dots, 5$  и  $P_{ср}(\tau)$  по данным табл. П 2.2

Рис. П 2.1 Результаты статистического моделирования для  $P(\tau)$ 

Получено:  $P(\text{Трес}) = P_{ср}(\tau = 6000 \text{ ч.}) = \dots$

## 4. Определение количества потребных запасных изделий на период межремонтного ресурса ЛА для парка

### 4.1 Определение количества замен d по ресурсу

Расчет представлен в табл. П 2.3.

Таблица П 2.3

## Расчет количества замен по ресурсу

Объект эксплуатации	$\tau$ , ч. нар.	$\tau_1$	$\tau_2$	...	$\tau_j$	...	$\tau_k$
	количество замен						
Изделие	$b(\tau) = b_j$						
ЛА	$c(\tau) = c_j$						
Парк ЛА	$d(\tau) = d_j$						

$$\text{Получено } d = \sum_{j=1}^k d_j = \dots$$

4.2 Определение количества замен по отказу  $n_{cp}$ 

Расчет представлен в табл. П 2.4

Таблица П 2.4

## Расчет количества замен по отказу

Объект АТ	Кол-во замен	r	$\tau$ , ч. нар.	$\tau_1$	$\tau_2$	...	$\tau_j$	...	$\tau_k$
			$t_{cp}$ , ч. нар.						
Изделие	1 ( $\tau$ )	1							
		2							
		.	.	.	.	.	.	.	.
		.	.	.	.	.	.	.	.
		.	.	.	.	.	.	.	.
	5								
	$l_{cp}(\tau)$								
ЛА	$m_{cp}(\tau)$								
Парк ЛА		$P_{cp}(\tau)$							
		$Q_{cp}(\tau)$							
	$n_{cp}(\tau)$								

$$\text{получено } n_{cp} = \sum_{j=1}^k n_{cp_j} = \dots$$

## 5. Определение количества потребных запасных изделий на период межремонтного ресурса для парка ЛА

$$N_{cp}(T_{рес}) = d + n_{cp} = \dots$$

6. Исследование зависимости  $N_{\text{ср}}(\tau)$  представлено на рис. П 2 по данным табл. П 2.5

Таблица П 2.5

Зависимость $N_{\text{ср}}(\tau)$						
$\tau$ , ч. нар.	$\tau_1$	$\tau_2$	...	$\tau_j$	...	$\tau_k$
$d(\tau)$						
$n_{\text{ср}}(\tau)$						
$N_{\text{ср}}(\tau) = d(\tau) + n_{\text{ср}}(\tau)$						

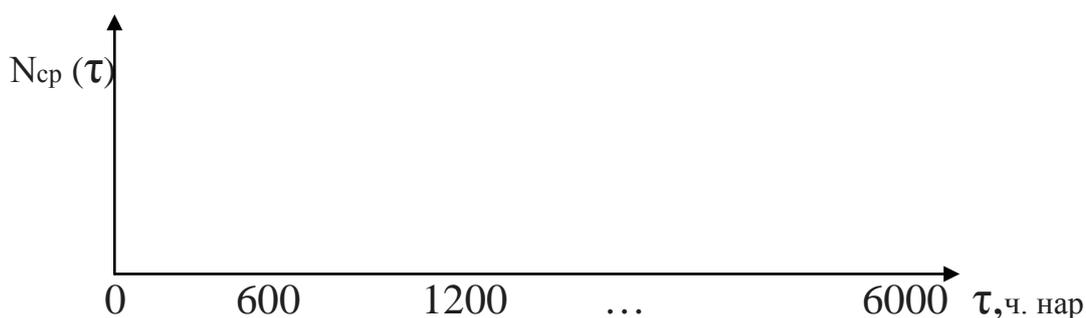


Рис. П.2. Потребность в запасных изделиях при проведении ТО для парка ЛА

7. Результаты статистического моделирования:

- вероятность безотказной работы изделия за межремонтный ресурс ЛА:

$$P(\text{Трес}) = \dots$$

- количество потребных запасных изделий на период межремонтного ресурса ЛА:  $N_{\text{ср}}(\text{Трес}) = \dots$

8. Выводы

---



---



---



---



---

Отчет выполнил студент \_\_\_\_\_

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20...г

### Пример выполнения расчетов по теме практического занятия

Пример расчетов выполнен для варианта № 1 задания в соответствии с приложением 1.

1. Цель ПЗ – статистическое моделирование ЭТХ объекта АТ.

2. Исходные данные:

Тип ЛА – Ту-154;

Количество ЛА в парке -  $N_{ЛА} = 10$ ;

Межремонтный ресурс ЛА –  $T_{рес} = 6000$  ч. нар.;

Периодичность ТО  $\tau = 600$  ч. нар.

Таблица П 3.1

Изделие	Ресурс изделия q, ч.нар.	Кол-во на ЛА, а	Средние наработки до отказа для статистического моделирования { $t_{срj}$ }, ч.нар.				
			$t_{ср 1}$	$t_{ср 2}$	$t_{ср 3}$	$t_{ср 4}$	$t_{ср 5}$
Клапан обратный	4200	6	1000	2500	3000	3500	4000

3. Определение вероятности безотказной работы изделия за межремонтный ресурс ЛА -  $P(T_{рес})$

Зависимость  $P(\tau)$  рассчитана в Табл. П3.2 и представлена на рис. П 3.1 для  $r = 1, 2 \dots 5$  реализаций процесса эксплуатации изделия и для  $P_{ср}(\tau)$

$$\text{Получено } P(T_{рес}) = P_{ср}(\tau = 6000 \text{ ч. нар.}) = 0,9563$$

4. Определение количества потребных запасных изделий на период межремонтного ресурса для парка ЛА

4.1 Определение количества замен  $d$  по ресурсу

Расчет представлен в табл. П 3.3.

$$\text{Получено } d = \sum_{j=1}^k d_j = 60 \text{ изделий.}$$

Таблица П 3.2

Расчет вероятности безотказной работы изделия

Г	t <sub>ср</sub> , ч.нар.	ω <sub>Г</sub> = 1/t <sub>ср</sub> *Nл <sup>а</sup> *а	P <sub>Гj</sub> =exp(-ω <sub>Г</sub> t <sub>j</sub> ); τ, ч.нар.									
			τ1	τ2	τ3	τ4	τ5	τ6	τ7	τ8	τ9	τ10
			600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000
1	1000	1,667E-05	0,990116647	0,980330974	0,9706	0,96105	0,9516	0,942	0,9328	0,9236	0,9145	0,9054
2	2500	6,667E-06	0,996034875	0,992085472	0,9882	0,98423	0,9803	0,976	0,9726	0,9687	0,9649	0,961
3	3000	5,556E-06	0,996694636	0,993400197	0,9901	0,98684	0,9836	0,98	0,9771	0,9739	0,9706	0,9674
4	3500	4,762E-06	0,997166161	0,994340352	0,9915	0,98871	0,9859	0,983	0,9803	0,9776	0,9748	0,972
5	4000	4,167E-06	0,997519951	0,995046053	0,9926	0,99012	0,9877	0,985	0,9828	0,9803	0,9779	0,9755
		ΣPr	4,977532269	4,955203047	4,933	4,91096	4,889	4,867	4,8456	4,8241	4,8027	4,7814
		ΣPr/5	0,995506454	0,991040609	0,9866	0,98219	0,9778	0,973	0,9691	0,9648	0,9605	0,9563

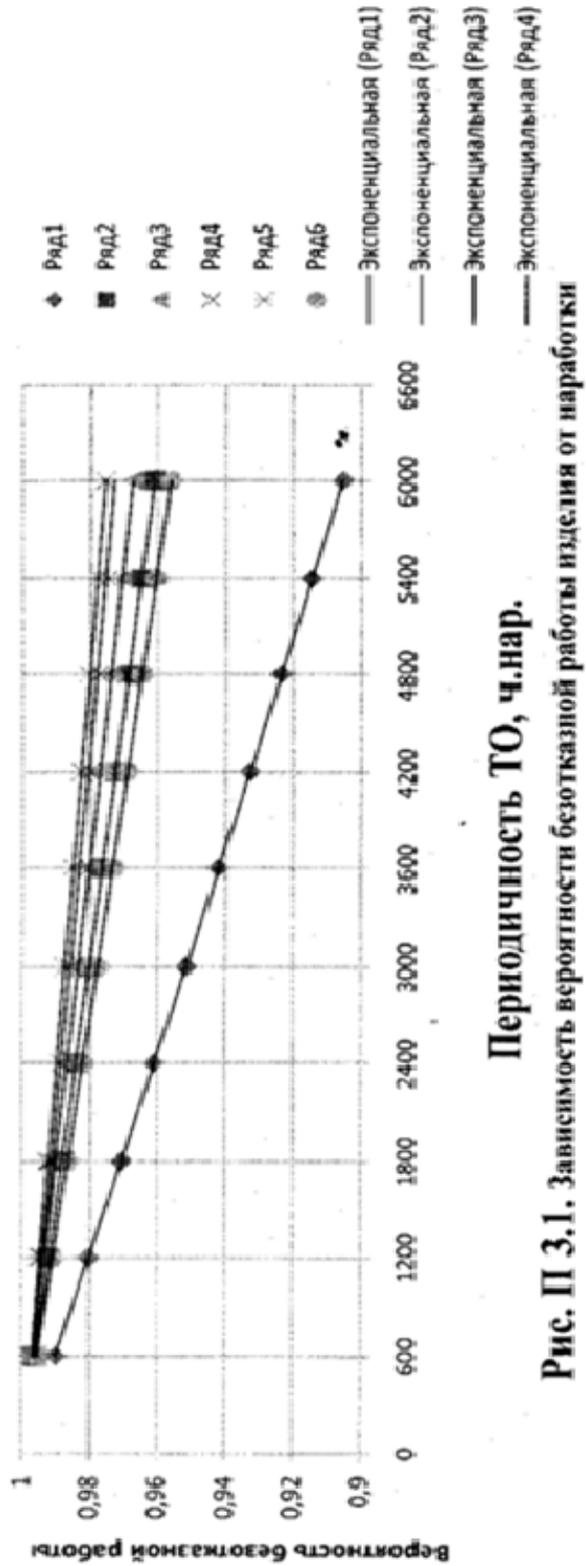


Таблица ПЗ.3

Расчет количества замен изделий по ресурсу ( $q=4200$  ч.нар.)

Объект эксплуатации	$\tau$ , ч.нар.	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$	$\tau_5$	$\tau_6$	$\tau_7$	$\tau_8$	$\tau_9$	$\tau_{10}$
		600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000
количество замен											
изделие	$b(\tau)=b_j$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
ЛА	$c(\tau)=c_j$	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0
парк ЛА	$d(\tau)=d_j$	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0

Таблица ПЗ.4

Расчет количества замен изделий по отказу

Объект эксплуатации	Колич. замен	r	$t_{cp}$ , ч.на р.	$\tau$ , ч.нар.									
				$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$	$\tau_5$	$\tau_6$	$\tau_7$	$\tau_8$	$\tau_9$	$\tau_{10}$
				600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000
изделие	l( $\tau$ )	1	1000	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
		2	2500	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		3	3000	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		4	3500	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		5	4000	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	$l_{cp}(\tau)$			0	1	0	1	1	1	1	1	0	1
ЛА	$m_{cp}(\tau)$			0	6	0	6	6	6	6	6	0	6
парк ЛА		$P_{cp}(\tau)$		0,995	0,991	0,986	0,982	0,978	0,973	0,969	0,965	0,96	0,95
		$Q_{cp}(\tau)$		0,005	0,009	0,014	0,018	0,022	0,027	0,031	0,035	0,04	0,05
	$n_{cp}(\tau)$	$n_{cpj}$		0	0,54	0	1,08	1,32	1,62	1,86	2,1	2,4	3
		$\approx n_{cpj}$		0	1	0	2	2	2	2	3	3	3

4.2 Определение количества замен по отказу  $n_{cp}$ 

Расчет представлен в табл. ПЗ.4.

получено  $n_{cp} = \sum_{j=1}^k n_{cpj} = 18$  изделий.

5. Определение количества потребных запасных изделий на период межремонтного ресурса для парка ЛА

$$N_{cp}(T_{рес}) = d + n_{cp} = 60 + 18 = 78 \text{ изделий}$$

6. Исследование зависимости  $N_{cp}(\tau)$

Исходные данные для построения графика

$\tau$ , ч.н.	600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000
$d(\tau)$	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0
$n_{cp}(\tau)$	0	1	0	2	2	2	2	3	3	3
$N_{cp}(\tau) = d(\tau) + n_{cp}(\tau)$	0	1	0	2	2	2	62	3	3	3

Примечание.  $d(\tau)$  – по табл. П 3.3.;

$n_{cp}(\tau)$  – по табл. П 3.4.

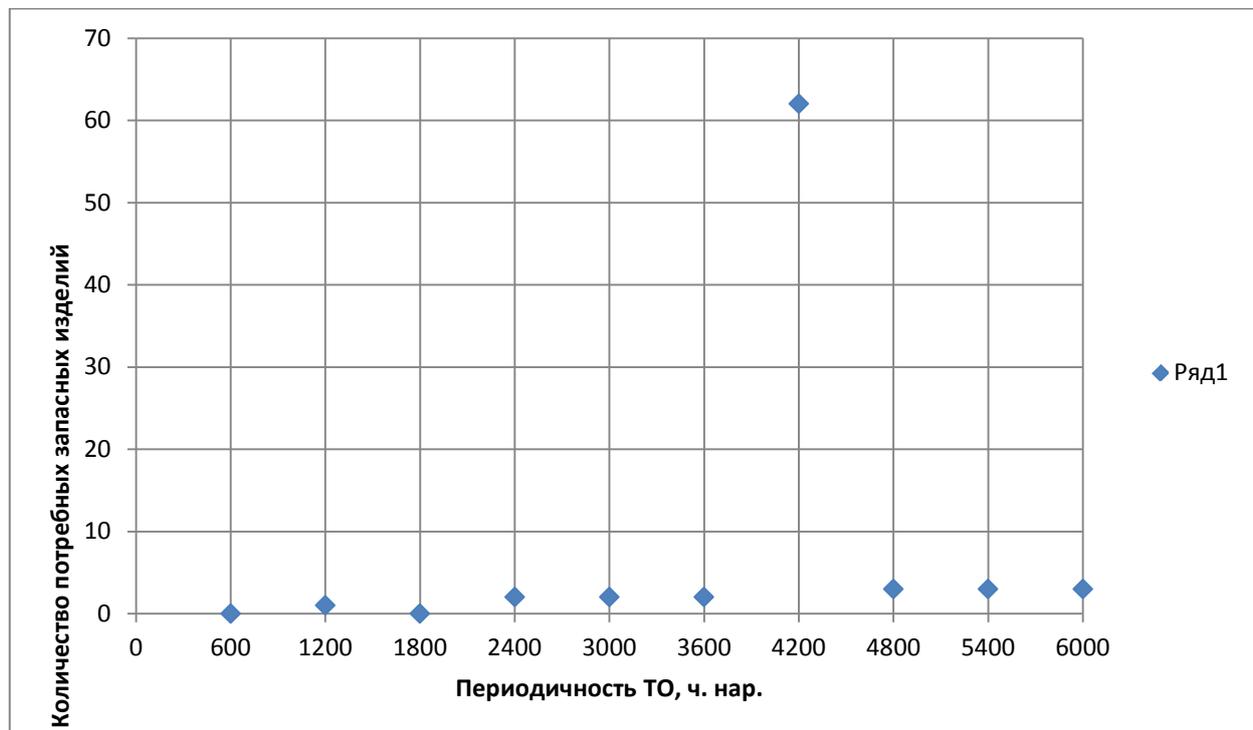


Рис. ПЗ.2. Потребность в запасных изделиях при проведении ТО для парка ЛА

#### 7. Результаты статистического моделирования:

- вероятность безотказной работы изделия за межремонтный ресурс ЛА:

$$P(\text{Трес}) = 0,9563;$$

- количество потребных запасных изделий на период межремонтного ресурса ЛА:

$$N_{cp}(\text{Трес}) = 78 \text{ изделий.}$$

## 8. Выводы:

1) вероятность безотказной работы изделия «клапан обратный» гидравлической системы» Ту – 154 за межремонтный ресурс ( $T_{рес} = 6000$  ч. нар.) составила  $P(T_{рес}) = 0,9563 > 0,8$

Следовательно нет оснований для повышения безотказности изделия за счет конструктивных доработок;

2) для обеспечения процесса эксплуатации парка Ту-154 в количестве 10 бортовых номеров на период межремонтного ресурса потребуется 78 клапанов обратных гидравлической системы;

3) поставка запасных клапанов может быть организована с учетом проведения форм ТО:

- 62 изделия должны быть поставлены к проведению ТО при  $\tau = 4200$  ч. нар.;

- для замен изделий на остальных формах ТО потребуется:

а) 1 изделие - к проведению ТО при  $\tau = 1200$  ч. нар.;

б) по 2 изделия - к проведению ТО при  $\tau = 2400, 3000, 3600$  ч. нар.

в) по 3 изделия - к проведению ТО при  $\tau = 4800, 5400, 6000$  ч. нар.