

Лк-4

ВСМ процессов эксплуатации АТ

1. Особенности обеспечения длительной эксплуатации АТ
2. ВСМ процессов восстановления АТ
3. ВСМ корреляционно-регрессионного анализа
4. ВСМ на основе полумарковских случайных процессов
5. Совершенствование технической эксплуатации АТ по результатам моделирования

Совершенствование принципов ТОиР ЛА

1930-45гг.	1958г.	1968г.	1970г.	1980-95гг.
Руководство ТОиР по ресурсу	Руководство ТОиР выборочн. кап. ремонт. по ресурсу	Руководство ТОиР по состоянию В-747 (MSG-1)	Руководство ТОиР с контролем уровня надежности (MSG-2)	Руководство ТОиР с контролем уровня надежности и контролем параметров (MSG-3)
<ul style="list-style-type: none"> Доля компонентов, обслуживаемых по состоянию 				
20%	более 20%	80%	90%	94%

•

Долговечность АТ

- $T_{p\text{ ср}} = \int_0^{\infty} t * f(t)dt;$
- $T_{p\gamma} = T_{p\text{ ср}} \left(-\ln \frac{\gamma}{100} \right),$
- где t – наработка до отказа объекта АТ (исследуемая случайная величина);
- $f(t)$ – плотность распределения наработки до отказа;
- γ – заданная вероятность, %.

Использование ВСМ

В настоящее время разработаны и могут быть использованы:

- модель оптимальной эксплуатации АТ с учетом ударных внешних воздействий;
- модель оптимальной эксплуатации АТ с учетом внезапных отказов;
- модели оптимальной эксплуатации АТ с учетом накопления повреждений.

- модели процессов восстановления
- модели корреляционно-регрессионного анализа
- модели технической эксплуатации АТ на основе полумарковских случайных процессов

МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

ВОССТАНОВЛЕНИЕ – воздействие на ЛА, ФС, изделие АТ с целью:

- определения технического состояния
- ликвидации неисправностей
- ликвидации отказов
- улучшения технических характеристик

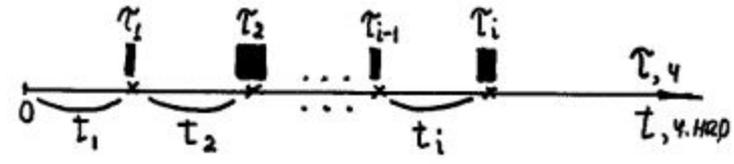
ВОССТАНОВЛЕНИЕ включает:

- осмотры
- проверки
- собственно восстановление

ОБЪЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ	ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ	
	На работоспособной ФС	На неработоспособной ФС
Обновление не проводится	Плановый (неплановый) осмотр, проверка работоспособности	
Полное обновление ФС	Плановая (неплановая) предупредительная профилактика ФС	Плановый (неплановый), аварийно-профилактический ремонт ФС
Обновление части ФС	Плановая (неплановая) предупредительная профилактика части ФС	Плановый (неплановый), аварийно-профилактический ремонт части ФС

МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЙ

1. Модель функционирования изделия с восстановлением



$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i$ - время восстановления
 t_1, t_2, \dots, t_i - наработка до отказа

ФАКТОРЫ, влияющие на :

t_i →

- надежность изделия
- процесс развития неисправности
- конструктивное решение
- конструктивный материал

} группа А

τ_i →

- объем повреждений
- узел крепления
- наличие запасных изделий
- оборудование для восстановления
- квалификация технического персонала

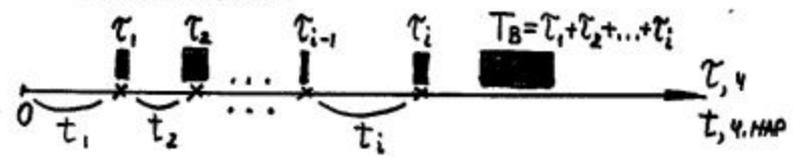
} группа Б



СЛУЧАЙНЫЕ ПОТОКИ

$\{t_i\}$ $\{\tau_i\}$

2. Модель процесса с учетом конечного времени восстановления



t_i, τ_i — независимые случайные величины
 T_B — конечное время восстановления

$\{t_i\}$

закон распределения зависит от факторов группы А

$$F(t) = P(t < T)$$

$$M.O. = M(t) = T_1$$

$$\sigma_t = \sqrt{D[t]}$$

$\{\tau_i\}$

закон распределения зависит от факторов группы Б

$$G(\tau) = P(\tau < T_B)$$

$$M.O. = M(\tau) = T_2$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{D[\tau]}$$

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

1. Вероятность восстановления за заданное время $P_B(\tau)$
2. Интенсивность восстановления μ
3. Коэффициент готовности K_r

Таблица 2

Показатели ЭМ восстанавливаемых изделий ФС ЛА

Показатели безотказности	Стационарный процесс	Нестационарный процесс
Параметр потока отказов	$\omega(t) = \frac{1}{M[t]} = \frac{1}{\int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt}$	$\omega_i = \frac{\Delta n}{N_i \cdot \Delta t_i}$ $\omega(t)$ - определяется аналитическая зависимость
Средняя наработка по 1 ^{му} отказу	$t_{cp} = \frac{1}{M[t]} \cdot \int_0^{\infty} t \cdot [1 - F(t)] dt$	$t_{cp} = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \omega(u) du} \cdot dt$
Средняя наработка между отказами	$t_{cp} = M[t] = \int_0^{\infty} t f(t) dt$	---
Вероятность безотказной работы в интервале (t_1, t_2)	$P(t_1, t_2) = \frac{1}{M[t]} \int_0^{\infty} [1 - F(t_2 - t_1 + t)] dt$	$P(t_1, t_2) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt}$

В отличие стационарного процесса аналитическая зависимость $\omega(t)$ имеет

МОДЕЛИ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Исходные данные: статистические наблюдения случайных величин
 X_1, X_2, \dots, X_n (ЭТХ ЛА)
 Y_1, Y_2, \dots, Y_n (эффективность ПТЭ ЛА)

Корреляция – зависимость между случайными величинами, не имеющая функциональный характер

Регрессия - зависимость среднего значения случайной величины от другой величины или нескольких других величин

Корреляционный анализ устанавливает факт связи между случайными величинами

Регрессионный анализ устанавливает вид связи (зависимости)

Функция регрессии

$$Y = m_y(x)$$

x - независимая переменная

$m_y(x)$ - математическое ожидание

Линия регрессии - $m_y(x)$

график функции

x - регрессионная переменная (регресс)



Модели корреляционного анализа



Модели регрессионного анализа

модели корреляционного анализа

ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Начальный момент (порядка K, S случайных величин X, Y)

$$\alpha_{k,s} = M[X \cdot Y]$$

- математическое ожидание произведения X и Y

2. Центральный момент (порядка K, S случайных величин X, Y)

$$\mu_{k,s} = M[(X - m_x)^k \cdot (Y - m_y)^s]$$

- математическое ожидание произведения отклонений случайных величин X, Y от их математических ожиданий (m_x и m_y)

3. Первый центральный момент ($K = 1, S = 1$)

$$\mu_{K=1, S=1} = M[(X - m_x) \cdot (Y - m_y)] = K_{xy}$$

K_{xy} - корреляционный момент (момент связи)

$K_{xy} = 0 \rightarrow X$ и Y независимы

$K_{xy} \neq 0 \rightarrow X$ и Y зависимы

4. Коэффициент корреляции

$$r = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

5. Ковариация (совпадает с первым центральным моментом)

$$COV(X, Y) = M[(X - m_x) \cdot (Y - m_y)]$$

6. Автокорреляция – корреляция значений случайных функций, сдвинутых относительно друг друга на некоторое время τ между X_t и $X_{t+\tau}$

$$K_x(\tau) = M[(x_t - m_x)(x_{t+\tau} - m_x)]$$

модели регрессионного анализа

Порядок формирования модели:

1. Статистические наблюдения (X, Y)
2. Группировка статистических данных по признакам (тип ЛА, авиакомпания и т.д.)
3. Определение средних значений \bar{Y}_x
4. Построение графика $Y = f(x)$
по средним значениям
5. Подбор функции, наилучшим образом отражающей график (линейные, квадратичные, полиномиальные, экспоненциальные и др.)

Точность моделирования измеряется дисперсией случайной величины Y

$$D[Y/x] = \sigma_{Y(x)}^2$$

$\sigma_{Y(x)}^2 = 0$ - не регрессия, а функциональная зависимость

- Модели регрессии :
- линейная
 - нелинейная

Линейная модель регрессии

$$y = a + bx$$

- по двум опорным точкам (X_1, Y_1) и (X_2, Y_2)
- по всем n статистическим наблюдениям (метод наименьших квадратов)

Сущность метода – подбирается функция регрессии

$$\sum_{i=1}^n [Y_i - f(x_i)]^2 = \min$$

так, чтобы сумма квадратов отклонений Y_i от $f(x_i)$ была минимальной

Нелинейная модель регрессии

$$y = a + bx + cx^2$$

- по нескольким опорным точкам
- по всем n статистическим наблюдениям (метод наименьших квадратов)

Для функции степенного вида

$$y = a \cdot x^b$$

статистические данные на график наносятся в логарифмической шкале:

$$z = c + b \cdot u$$

$$\begin{aligned} z &= \lg y \\ c &= \lg a \\ u &= \lg x \end{aligned}$$

Полумарковская модель ПТЭ ЛА

ДИСКРЕТНЫЙ ПРОЦЕСС С НЕПРЕРЫВНЫМ ВРЕМЕНЕМ

МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА
ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛА

Состояния процесса $S_1, S_2, S_3, \dots, S_i, S_j, \dots, S_n$

$\| P_{ij} \|$ - вероятность перехода из S_i в S_j

Случайная величина - время пребывания в S_i до перехода в S_j
(любой закон распределения, кроме экспоненциального)



ПОЛУМАРКОВСКИЙ ПРОЦЕСС

1. Переходы из S_i в S_j - без последствий
(марковский процесс)

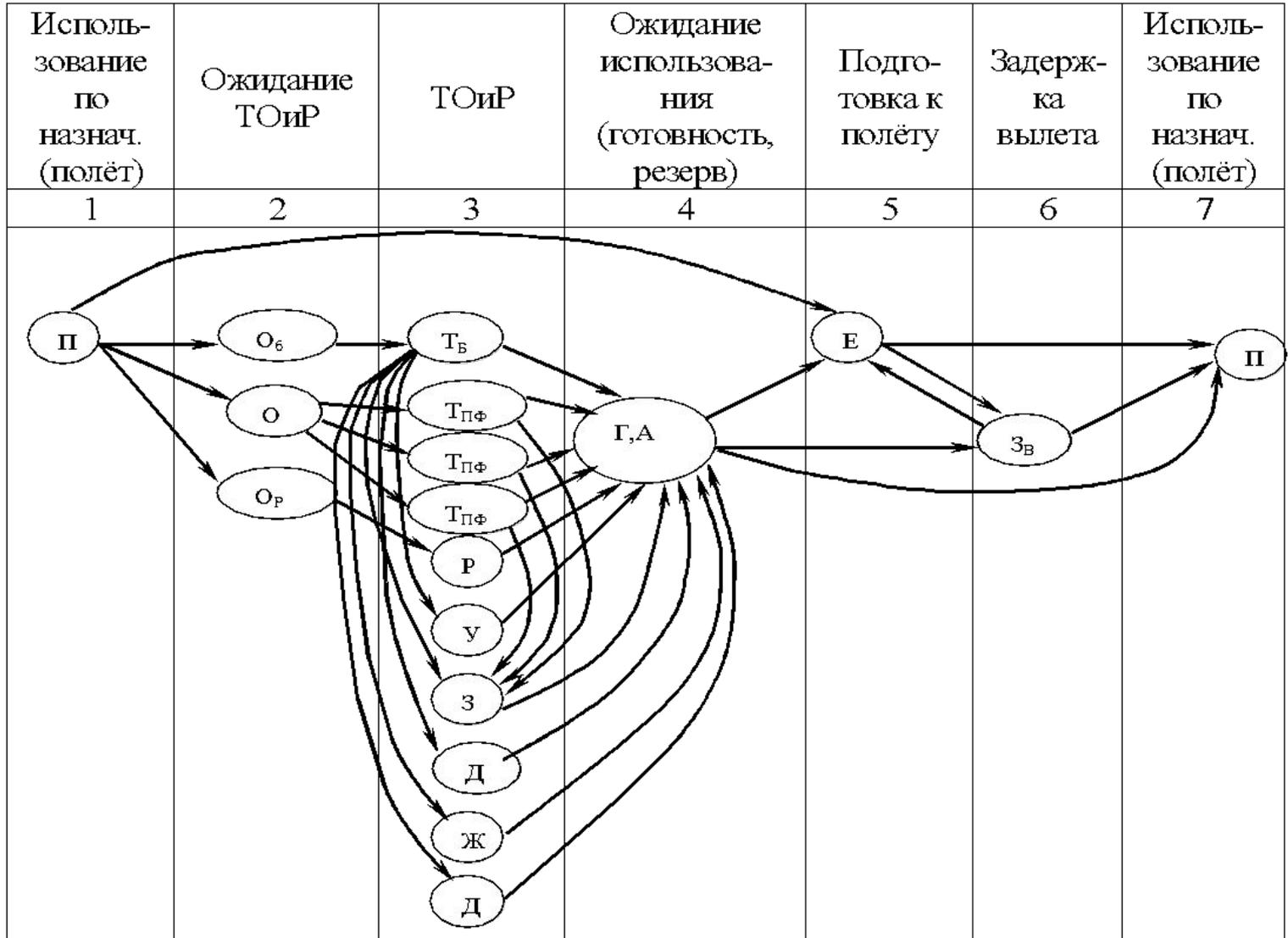
2. Время нахождения в S_i до перехода в S_j
(произвольное распределение, кроме экспоненциального)



НЕМАРКОВСКИЙ ПРОЦЕСС (время пребывания в
 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_i, S_j, \dots, S_n$) и в него вложен **МАРКОВСКИЙ
ПРОЦЕСС** (переходы из S_i в S_j)

Термин - **ВЛОЖЕННЫЙ МАРКОВСКИЙ ПРОЦЕСС**

Граф состояния и переходов ППЭ ЛА



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

Построение модели

- **Исходные данные за период наблюдения:**

количество состояний N ; количество попаданий в состояние n ; время пребывания в состоянии t ; труд в состоянии T (чел.-ч.); фонд времени Φ

- **Вероятностные характеристики:**

вероятность попадания в состояние $\pi_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^N n_i}$; среднее

время пребывания в состоянии за одно попадание $\mu_i = \frac{t_i}{n_i}$

(ч.); труд, потраченный в состоянии за одно попадание

$\tau_i = \frac{T}{n_i}$ (чел.-ч.)

- **Особенность моделирования** – распределение Φ по всем состояниям
- **Целевая задача** – сбор исходной информации → граф состояний и переходов → определение характеристик модели → расчет показателей эффективности → определение доминирующих состояний ($\max \pi_i \mu_i$; $\max \pi_i \tau_i$) → разработка предложений по повышению эффективности ПТЭ ЛА
- **Результаты моделирования**

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

Совершенствование технической эксплуатации АТ по результатам моделирования

- Сокращение времени восстановления АТ (модели процессов восстановления)**
- Прогнозирование зависимостей между ЭТХ АТ (модели регрессионного анализа)**
- Определение доминирующих состояний ПТЭ ЛА для сокращения временных и трудовых затрат на ТОиР ЛА (модели на основе полумарковских случайных процессов)**