

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

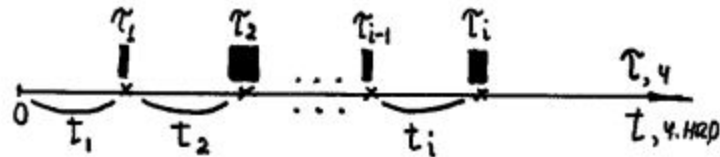
ВОССТАНОВЛЕНИЕ включает:

- 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

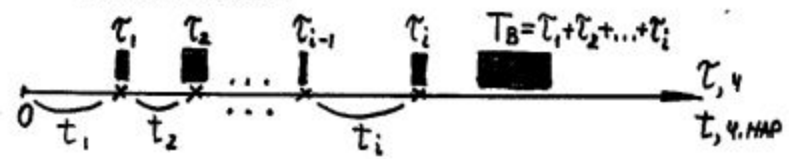


СЛУЧАЙНЫЕ ПОТОКИ

$\{t_i\}$

$\{\tau_i\}$

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 M
3. Коэффициент готовности K_r

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 от 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)

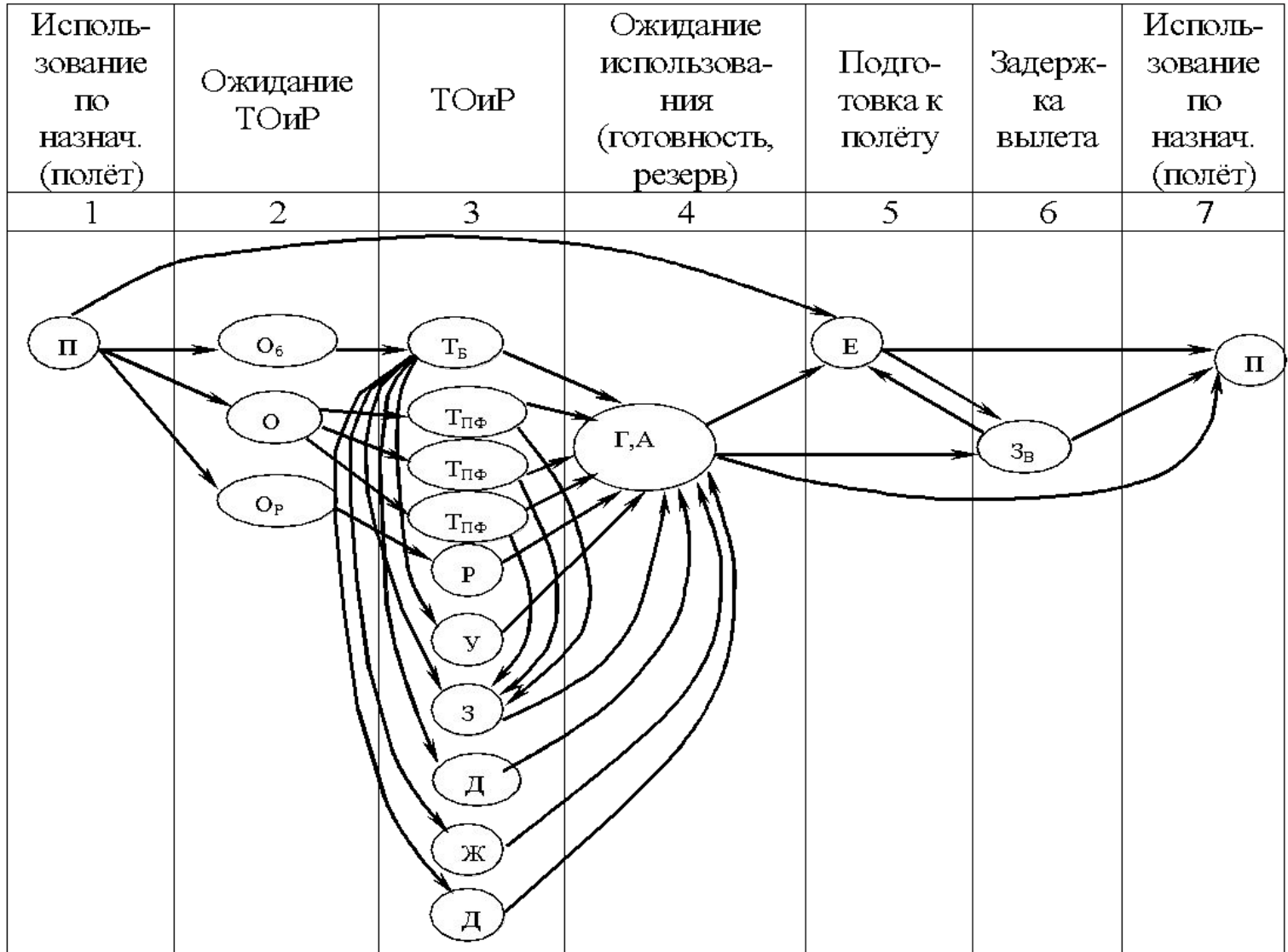
2. Время нахождения в S_i до перехода в S_j
(произвольное распределение, кроме экспоненциального)



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)**