Метод пространства состояний

(Марковские процессы)

Для расчёта надёжности установок с восстановлением пригоден аппарат ***марковских*** (случайных) процессов.

В моделях надёжности различных подсистем СЭС (парк трансформаторов; распределительные устройства с коммутационной аппаратурой, системами шин и ошиновкой; ЛЭП; устройствf РЗиА), которые тоже в свою очередь состоят из отдельных элементов, учитываются:

- полные и частичные отказы;
- резервное электрооборудование;
- профилактические и аварийные ремонты.

Если между многочисленными видами отказов, восстановления, ремонтов и технического обслуживания существует значительная статистическая зависимость, то для построения моделей используется метод пространства состояний (марковские процессы).

Этот метод предусматривает определение возможных состояний системы (*пространство состояний*) и возможных способов перехода из одного состояния в другое.

Метод может использоваться:

- в случае независимых и зависимых отказов элементов;
- для анализа нескольких состояний элементов;
- при анализе отказов с общей причиной.

Случайный процесс называется ***марковским***, если все вероятностные характеристики его в будущем зависят от того, в каком состоянии элемент находился в начальный момент времени и не зависят от того, как этот процесс протекал в прошлом.

Основными показателями, используемыми при моделировании и вычислении показателей надежности СЭС, являются интенсивности отказов и среднее время восстановления отдельных элементов подсистем, приводимые в справочной литературе или получаемые на основе обработки статистического материала по данным эксплуатации таких систем.

Показатели надёжности, используемые в марковских процессах:

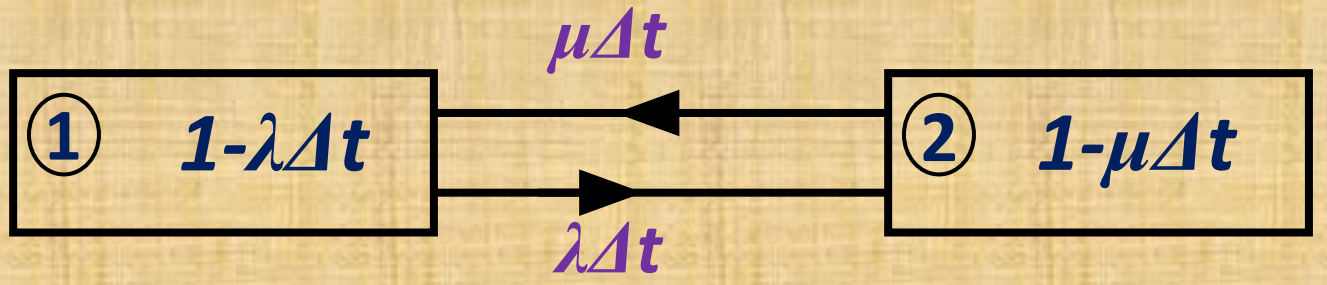
- λ – интенсивность отказа; $\lambda = 1 / T_0$
- μ – интенсивность восстановления; $\mu = 1 / T_в$
- $T_в$ – время восстановления;
- T_0 – наработка на отказ.

*Наработка на отказ – среднее время работы элемента, определённое для всей совокупности невосстанавливаемых элементов данного типа (наработка до первого и единственно возможного отказа каждого элемента данного типа).

Восстанавливаемое электрооборудование ранее рассматривалось как системы, которые могли находиться всего в двух состояниях – в работоспособном состоянии либо в состоянии отказа (восстановления). Однако, само состояние восстановления следует дифференцировать: нахождение в текущих и капитальных ремонтах, а также восстановление работоспособного состояния электрооборудования после его отказа.

Для решения задач надежности систем с числом возможных состояний больше двух составляют матрицу состояний, раскрывая которую получают систему *дифференциальных уравнений*, описывающих связь между вероятностями пребывания системы в каждом из возможных состояний. Решением этой системы определяют показатели надежности.

Граф состояний системы:



1 – работоспособное состояние; 2 – состояние отказа

За время Δt вероятность отказа (т. е. вероятность перехода из состояния 1 в состояние 2) составит:

$$\Delta Q(t)=\lambda\Delta t\ ;$$

Вероятность же того, что элемент останется в работоспособном состоянии 1 составит:

$$\Delta P(t)=1-\Delta Qt=1-\lambda\Delta t$$

Вероятность восстановления за время Δt (вероятность перехода из состояния 2 в состояние 1): $\mu\Delta t$;

Вероятность невосстановления, т.е. вероятность того, что электрооборудование останется в неисправном состоянии: $1-\mu\Delta t$.

Возможное состояние электрооборудования	Вероятность пребывания в данном состоянии	Вероятность перехода в другое состояние
Работоспособное (1)	$1-\lambda\Delta t$	$\lambda\Delta t$
Отказа (2)	$1-\mu\Delta t$	$\mu\Delta t$

Матрица вероятности переходов

- Состояние оборудования в момент $t + \Delta t$ →
- Состояние оборудования в момент t ↓

$$P(\Delta t) = \begin{vmatrix} 1 - \lambda\Delta t & \lambda\Delta t \\ \mu\Delta t & 1 - \mu\Delta t \end{vmatrix}$$