

## Лекция № 5. Показатели надежности ЭТО

Показатели надежности характеризуют такие важнейшие свойства систем, как *безотказность*, *живучесть*, *отказоустойчивость*, *ремонтпригодность*, *сохраняемость*, *долговечность* и являются количественной оценкой их технического состояния и среды, в которой они функционируют и эксплуатируются. Оценка показателей надежности сложных технических систем на различных этапах жизненного цикла используется для выбора структуры системы из множества альтернативных вариантов, назначения гарантийных сроков эксплуатации, выбора стратегии и тактики технического обслуживания, анализа последствий отказов элементов системы.

Аналитические методы оценки показателей надежности сложных технических систем управления и принятия решения базируются на положениях теории вероятности. В силу вероятностной природы отказов оценка показателей основана на использовании методов математической статистики. При этом статистический анализ проводится, как правило, в условиях априорной неопределенности относительно законов распределения случайных значений наработки системы, а также по выборкам ограниченного объема, содержащих данные о моментах отказа элементов системы при из испытаниях или в условиях эксплуатации.

**Вероятность безотказной работы (ВБР)** – это вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени не произойдет ни одного отказа. Вероятность  $P(t)$  – функция, убывающая см. рис.1 причем,  $0 \leq P(t) \leq 1$ ,  $P(0) = 1$ ,  $P(\infty) = 0$ .

ВБР по статистическим данным об отказах оценивается выражением

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} \quad (1)$$

где  $P^*(t)$  – статистическая оценка ВБР;  $N_0$  – число изделий в начале испытаний, при большом числе изделий статистическая оценка практически совпадает с вероятностью  $P(t)$ ;  $n(t)$  – число отказавших изделий за время  $t$ .

Рисунок 1. Кривые вероятности безотказной работы и вероятности отказов

**Вероятность отказа  $Q(t)$**  – это вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени произойдет хотя бы один отказ. Отказ и безотказная работа – события противоположенные и несовместимые

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad Q^*(t) = \frac{n(t)}{N_0} \quad (2)$$

**Частота отказов  $a(t)$**  – есть отношение отказавших изделий в единицу времени к первоначальному числу испытываемых изделий

$$a^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t} \quad (3)$$

где  $n(\Delta t)$  – число отказавших изделий в интервале времени  $\Delta t$ .

Частота отказов или плотность вероятности отказов может быть определена как производная по времени вероятности отказов

$$a(t) = f(t) = dQ(t)/dt = -dP(t)/dt \quad (4)$$

Знак (-) характеризует скорость снижения надежности во времени.

**Средняя наработка до отказа  $T_{\text{ср}}$**  – среднее значение продолжительности работы неремонтируемого устройства до первого отказа:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0} \quad (5)$$

где  $t_i$  – продолжительность работы (наработка) до отказа  $i$ -го устройства;  $N_0$  – число наблюдаемых устройств.

**Пример.** Наблюдения за эксплуатацией 10 электродвигателей выявили, что первый проработал до отказа 800 ч, второй – 1200 и далее соответственно; 900, 1400, 700, 950, 750, 1300, 850 и 1500 ч. Определить наработку двигателей до внезапного отказа,

*Решение.* По (5) имеем

$$T_{\text{ср}} = \frac{800 + 1200 + 900 + 1400 + 700 + 950 + 750 + 1300 + 850 + 1500}{10} = 1000 \text{ ч.}$$

**Интенсивность отказов  $\lambda(t)$**  – условная плотность вероятности возникновения отказа, которая определяется как отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{ср}} \Delta t}, \quad (6)$$

где  $n(\Delta t)$  – число устройств, отказавших в период времени  $\Delta t$ ;  $N_{\text{ср}} = (N_1 + N_{(i+1)})/2$  – число среднее число устройств, исправно работающих в период наблюдения;  $\Delta t$  – период наблюдения.

$$\lambda(t) = a(t)/P(t) = -P'(t)/P(t) \quad (7)$$

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  через  $\lambda(t)$  выразится

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (8)$$

**Пример 1.** При эксплуатации 100 трансформаторов в течение 10 лет произошло два отказа, причём каждый раз отказывал новый трансформатор. Определить интенсивность отказов трансформатора за период наблюдения.

*Решение.* По (6) имеем  $\lambda(t) = \frac{2}{100 \cdot 10} = 0,002 \text{ отк./год.}$

**Пример2.** Изменение числа отказов ВЛ из-за производственной деятельности сторонних организаций по месяцам года представлено следующим образом:

Месяц	я	ф	м	а	м	и	и	а	с	о	н	д
$n$ (кол-во повреждений)	3	3	5	8	10	12	15	9	2	2	3	3

Определить среднемесячную интенсивность отказов.

$$\text{Решение. } N = \sum_{i=1}^{12} n_i = 75 = \Omega; \lambda(t) = \frac{\Omega}{12} = \frac{75}{12} = 6,25 \text{ отк./мес.}$$

Ожидаемая расчетная интенсивность  $\lambda = 7,0$ .

**Средняя наработка на отказ**  $T_{\text{оср}}$  – среднее значение наработки ремонтируемого устройства между отказами, определяемое как среднее арифметическое:

$$T_{\text{оср}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (9)$$

где  $t_i$  – наработка до первого, второго,  $n$ -го отказа;  $n$  – число отказов от момента начала эксплуатации до окончания наблюдения. Нарработка на отказ, или среднее время безотказной работы, есть математическое ожидание  $T_0$ :

$$T_{\text{оср}} = M[T_0] = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (10)$$

**Пример.** Трансформатор отказал, проработав около года. После устранения причины отказа он проработал еще три года и опять вышел из строя. Определить среднюю наработку трансформатора на отказ.

$$\text{Решение. По (1.7) вычислим } T_{\text{оср}} = \frac{1+3}{2} = 2 \text{ года.}$$

**Параметр потока отказов**  $\omega(t)$  – среднее количество отказов ремонтируемого устройства в единицу времени, взятое для рассматриваемого момента времени:

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N\Delta t} \quad (11)$$

где  $m_i(t + \Delta t)$  – число отказов  $i$ -го устройства по состоянию на рассматриваемые моменты времени –  $(t + \Delta t)$  и  $t$  соответственно;  $N$  – число устройств;  $(\Delta t)$  – рассматриваемый период работы, причём  $\Delta t \ll t$ .

*Отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку к значению этой наработки  $\sum t_i$*

$$\omega(t) = \frac{n(t)}{\sum t_i \Delta t}$$

**Пример.** Электротехническое устройство состоит из трех элементов. В течение первого года эксплуатации в первом элементе произошло два отказа, во втором – один, в третьем отказов не было. Определить параметр потока отказов.

*Решение*

$$N = 3. \quad \sum_{i=1}^{N=3} m_i(t + \Delta t) = 2 + 1 + 0 = 3. \quad \sum_{i=1}^{N=3} m_i(t) = 0 + 0 + 0 = 0.$$

$$\text{Откуда по (1.8) } \omega(t) = \frac{3 - 0}{3 \cdot 1} = 1 \text{ год}^{-1}.$$

**Среднее значение ресурса** рассчитывают по данным эксплуатации или испытаний с использованием уже известного выражения для наработки:

$$T_p = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^t T_{pi}.$$

**Среднее время восстановления**  $T_B$  – среднее время вынужденного или регламентированного простоя, вызванного обнаружением и устранением одного отказа:

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

где  $i$  – порядковый номер отказа;  $t_i$  – среднее время обнаружения и устранения  $i$  – ГО отказа.

**Коэффициент готовности**  $K_G$  – вероятность того, что оборудование будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени в промежутках между выполнениями планового технического обслуживания. При экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы  $T_0$  и времени восстановления  $T_B$  коэффициент готовности

$$K_G = \frac{T_{\text{оср}}}{T_{\text{оср}} + T_{\text{вср}}}.$$

**Коэффициент вынужденного простоя** – это отношение времени вынужденного простоя к сумме времени исправной работы и вынужденных простоев.

$$K_{\Pi} = \frac{t_{\Pi}}{(t_p + t_{\Pi})}$$

$$K_{\Pi} = 1 - K_G$$

**Коэффициент технического использования**  $K_{\text{ти}}$  – это отношение наработки оборудования в единицах времени за некоторый период эксплуатации к сумме этой наработки и времени всех простоев, вызванных, техническим обслуживанием и ремонтами за тот же период эксплуатации:

$$K_{\text{ти}} = \frac{\sum T_0}{\sum T_B + \sum T_0}.$$

Кроме того [ГОСТ 27.002-83] определяет *показатели долговечности*, в терминах которых следует указывать вид действий после наступления

предельного состояния объекта (например, средний ресурс до капитального ремонта; гамма-процентный ресурс до среднего ремонта и т.д.). Если предельное состояние обуславливает окончательное снятие объекта с эксплуатации, то показатели долговечности называются: полный средний ресурс (срок службы), полный гамма-процентный ресурс (срок службы), полный назначенный ресурс (срок службы).

*Средний ресурс* – математическое ожидание ресурса.

*Гамма-процентный ресурс* – наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

*Назначенный ресурс* – суммарная наработка объекта, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено.

*Средний срок службы* – математическое ожидание срока службы.

*Гамма-процентный срок службы* – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта, в течение которой он не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

*Назначенный срок службы* – календарная продолжительность эксплуатации объекта, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено.

Показатели ремонтпригодности и сохраняемости определяются следующим образом.

*Вероятность восстановления работоспособного состояния* – это вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного.

*Среднее время восстановления работоспособного состояния* – это математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния.

*Средний срок сохраняемости* – это математическое ожидание срока сохраняемости.

*Гамма-процентный срок сохраняемости* – это срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.