

Тема 19

Вероятность нормального функционирования объектов НКИ

19.1. Вероятность безотказной работы объектов НКИ

Вероятность нормального функционирования элементов КСНО при выполнении поставленной задачи определяется вероятностью двух факторов:

- надежностью КСНО, определяемой вероятностью безотказной работы его элементов;
- эффективностью действия КСНО при выполнении поставленной задачи

$$P_{н.ф.р} = P_{б.р} P_{д.к}, \quad (19.1)$$

где $P_{б.р}$ — вероятность безотказной работы элементов КСНО; $P_{д.к}$ — вероятность выполнения поставленной задачи при действии КСНО (вероятность действия КСНО).

Все элементы можно условно разделить на две группы:

- элементы, обслуживающие все стартовые позиции;
- элементы, обслуживающие каждую позицию индивидуально.

В соответствии с таким делением важнейшей характеристикой КСНО является количество каналов для выполнения поставленной задачи перед КСНО и ЛА.

Если комплекс включает один канал по выполняемой работе и n каналов по ЛА, то элементы $1, 2, 3, \dots, N_{б.р}$ составляют общую часть комплекса по каналу выполняемой задачи, а элементы $1, 2, 3, \dots, N_{ЛА}$ входят в каждый канал по ЛА.

Если элементы канала по выполняемой задаче соединены последовательно, то вероятность их нормального функционирования определяется по теореме умножения вероятностей независимых событий

$$P_{б.р.об} = \prod_{i=1}^{N_{об}} P_{i \text{ б.р.об}}, \quad (19.2)$$

где $P_{б.р.об}$ — вероятность нормальной работы 1-го элемента по каналу выполняемой работы.

В этом случае выход из строя одного элемента по каналу выполняемой задачи приводит к срыву работы всего комплекса в целом.

В случае последовательного соединения элементов по каналу ЛА вероятность нормального функционирования j -го канала будет

$$P_{j \text{ б.р.ЛА}} = \prod_{i=1}^{N_{\text{ЛА}}} P_{i \text{ б.р.ЛА}}, \quad (19.3)$$

где $P_{i \text{ б.р.ЛА}}$ — вероятность нормальной работы i -го элемента по j -му каналу ЛА.

Вероятность нормальной работы n -канальной системы по ЛА, т. е. вероятность нормального функционирования не менее m каналов по ЛА из n , определяется выражением

$$P_{\text{б.р.}}(m) = C_n^m P_{j \text{ б.р.ЛА}} (1 - P_{j \text{ б.р.ЛА}})^{n-m}, \quad (19.4)$$

где $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$ — число сочетаний из n элементов по m .

Если комплекс включает один канал по выполняемой задаче и n каналов по ЛА, то вероятность выполнения поставленной задачи всем комплексом ЛА (n -ЛА) с учетом вероятности нормального функционирования КСНО определяется по формуле

$$P_n = P_{б.р.об} [1 - (1 - P_{б.р.ЛА} P_{ЛА})^n], \quad (19.5)$$

где $P_{б.р.об}$ — вероятность нормальной работы по каналу выполняемой задачи;

$P_{б.р.ЛА}$ — вероятность нормальной работы по одному каналу ЛА (в этом случае $P_{б.р.ЛА}$ для всех каналов по ЛА одинакова);

$P_{ЛА}$ — вероятность действия ЛА при условии нормальной работы КСНО;

n — число ЛА, использованных в операции.

Из анализа формулы видно, что отказ в работе элементов по каналу решаемой задачи влияет на эффективность всех ЛА в целом, а отказ в работе элементов по каналу ЛА влияет только на эффективность одного ЛА.

Надежность работы элементов ($P_{б.р}$), входящих как в канал по решаемой задаче, так и в каналы по ЛА, определяется опытным путем на основе статистических данных, накопленных в процессе эксплуатации. Обычно $\lambda = \text{const}$ и

$$P_{i \text{ б.р}} = \exp(-\lambda t_{i \text{ б.р}}), \quad (19.6)$$

где λ — интенсивность отказов, определяемая опытным путем;

$t_{i \text{ б.р}}$ — продолжительность работы i -го элемента.

Количественными показателями надежности являются:

- вероятность безотказной работы;
- частота отказов;
- интенсивность отказов;
- среднее время безотказной работы.

Вероятность безотказной работы — это вероятность того, что в пределах заданного промежутка времени t и заданных условиях работы отказ не произойдет. Она определяется как

$$P(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N - n(t)}{N}, \quad (19.7)$$

где N — число элементов, подвергнутых испытаниям; $n(t)$ — число вышедших из строя элементов к моменту времени t .

Иногда пользуются понятием “вероятность отказа”:

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (19.8)$$

Плотность распределения времени безотказной работы определяется производной по времени от вероятности отказа:

$$q(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = Q'(t) = P'(t). \quad (19.9)$$

Если имеется кривая распределения безотказной работы по времени (рис. 19.1), то, задаваясь уровнем надежности, легко определить время работы T , в течение которого надежность изделия будет приемлемой.

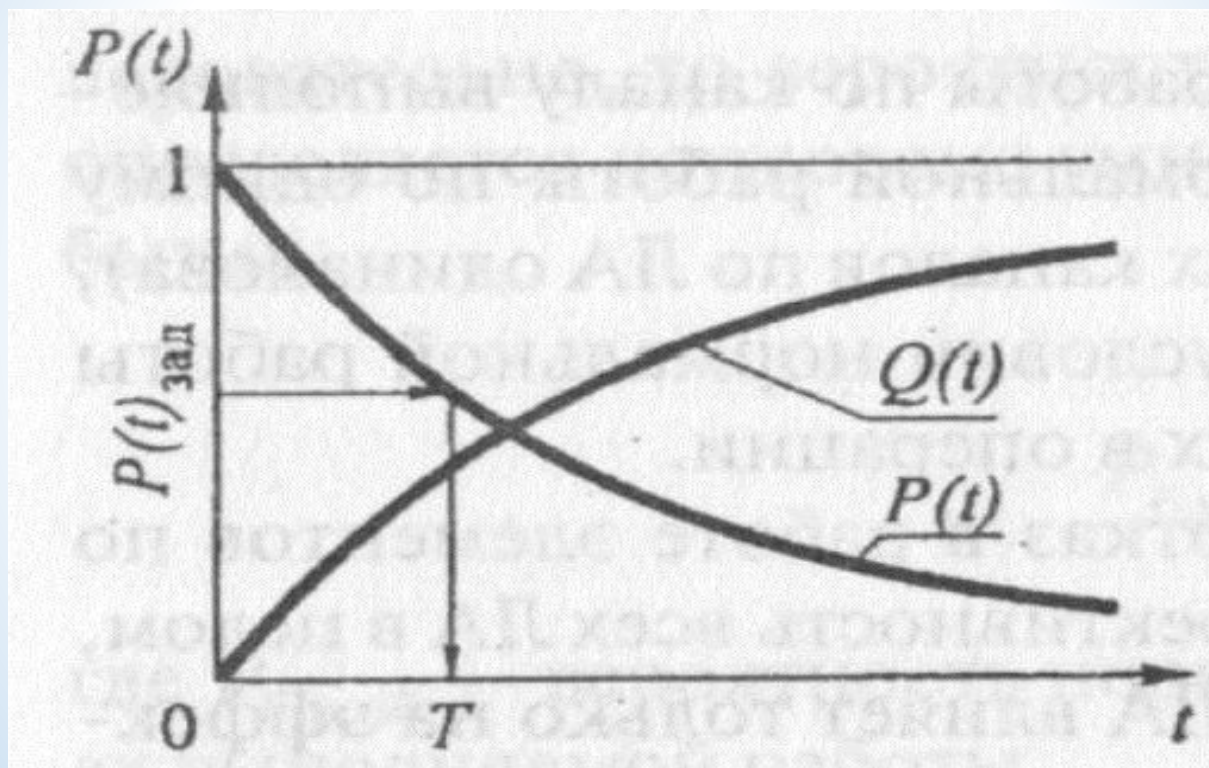


Рис. 19.1 - Кривая распределения безотказной работы

19.2. Частота и интенсивность отказов

Частота отказов $\alpha(t)$ представляет собой отношение числа отказавших изделий в единицу времени к общему числу изделий, взятых для испытания:

$$\alpha(t) = \frac{\Delta n(t)}{N \Delta t}, \quad (19.10)$$

где $\Delta n(t)$ — число отказавшихся изделий за время Δt .

Частота отказов равна плотности распределения времени безотказной работы;

$$\alpha(t) = Q'(t). \quad \lambda(t) \quad (19.11)$$

Интенсивность отказов — это отношение числа отказавшихся изделий в единицу времени к среднему числу изделий, продолжающих исправно работать при условии, что отказавшие изделия не восстанавливаются и не заменяются:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_{cp} \Delta t}, \quad (19.12)$$

$$\text{где } N_{cp} = \frac{N(t) + N(t + \Delta t)}{2}; \quad N(t) = NP(t)$$

Интенсивность отказов — это условная плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник:

$$\lambda(t) = \frac{Q'(t)}{P(t)} = \frac{P'(t)}{P(t)}. \quad (19.13)$$

После интегрирования получаем

$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln P(t)$$

или

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (19.14)$$

19.3. Зависимость интенсивности отказов от времени эксплуатации

Зависимость интенсивности отказов от времени эксплуатации показана на рис. 19.2, где I — период приработки; II — период нормальной работы; III — период старения.

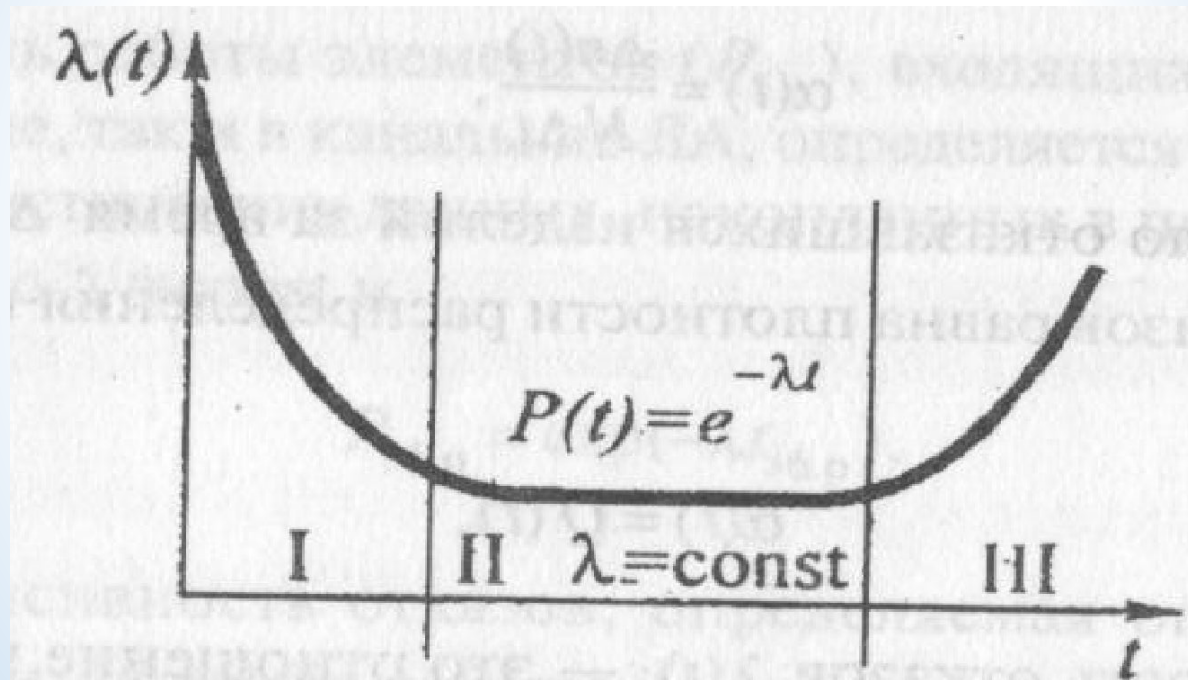


Рис. 19.2 - Зависимость интенсивности отказов от времени эксплуатации

Первый участок кривой обычно аппроксимируется выражением вида

$$P(N_{и}) = 1 - Q_n e^{-bN_{и}} \quad (19.15)$$

где $N_{и}$ — количество испытанных образцов; Q_n — начальный уровень отказа, $Q_n = 1 - P_n$; b — статистический коэффициент, характеризующий градиент роста уровня надежности.

На втором участке, где интенсивность постоянна, т. е. $\lambda(t) = \text{const}$, вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda(t)} \quad (19.16)$$

На третьем участке статистика показывает, что вероятность безотказной работы описывается зависимостью

$$P(t) = \frac{1}{2} - \Phi(Z), \quad (19.17)$$

где $\Phi(Z)$ — интеграл вероятности:

$$\Phi(Z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (19.18)$$

$Z = \frac{t - t_{cp}}{\sigma}$; σ — среднее квадратическое отклонение времени безотказной работы от его среднего значения; t_{cp} — среднее время безотказной работы.

Среднее время безотказной работы — это математическое ожидание безотказной работы:

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t q(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (19.19)$$