Введение

Отправной точкой в решении задач по определению количественных характеристик надежности могут быть:

1) статистические данные об отказах изделия;

2) известное аналитическое выражение одной какой-либо характеристики.

При решении задач первой группы используются статистические определения количественных характеристик надежности, при решении задач второй группы – вероятностные определения характеристик и аналитические зависимости между ними.

Однако, при определении количественных характеристик надежности технических устройств по статистическим данным об их отказах не всегда возможно оценить достоверность используемой информации. По этой причине иногда в примерах и задачах исходные данные о числе испытуемых образцов и количестве отказов приводятся без учета требований к достоверности получаемых количественных характеристик надежности.

1.1 Критерии и количественные характеристики надежности

Критерием надежности называется признак (мера), по которому (которой) оценивается надежность различных объектов (*изделий*). Критерии представляются в виде *показателей надежности, свойств безотказности, долговечности, ремонтопригодности, сохраняемости* и др.

К числу наиболее широко применяемых критериев надежности относятся *показатели безотказности*:

– вероятность безотказной работы в течение определенного времени $P(t)$;

– гамма-процентная наработка до отказа t_γ;

– средняя наработка до отказа T_1 (для статистических задач $\overline{T}_1$);

– средняя наработка на отказ T (для статистических задач $\overline{T}$);

– частота отказов $f(t)$;

– интенсивность отказов $\lambda(t)$;

– параметр потока отказов $\mu(t)$ и др.

Характеристикой надежности называется количественное значение критерия надежности конкретного изделия.

Выбор количественных характеристик надежности зависит от вида изделия.

Основные критерии надежности можно разделить на две группы:

– критерии, характеризующие надежность невосстанавливаемых изделий;

– критерии, характеризующие надежность восстанавливаемых изделий (рис. 1.1).

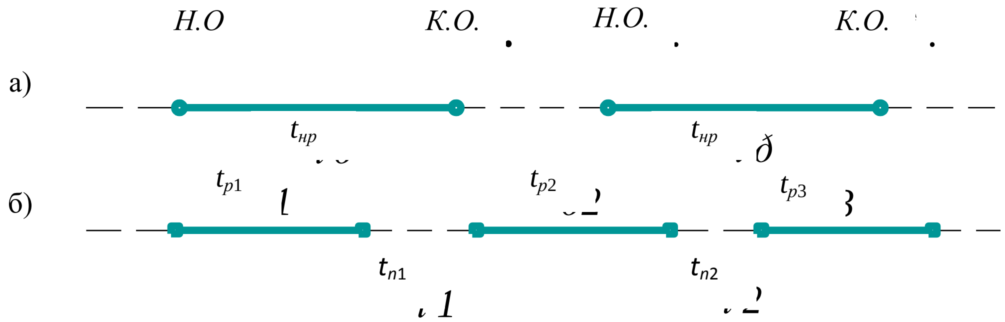

Рис. 1.1 Временной график работы невосстанавливаемых и восстанавливаемых изделий:

а – изделия невосстанавливаемые ($t_{нр}$ – время непрерывной работы, *Н.О.* – начало операции, *К.О.* – конец операции);

б – изделия восстанавливаемые (t_p – время исправной работы, t_n – время вынужденного простоя)

1.2 Критерии надежности невосстанавливаемых изделий

Пусть на испытании находится N_0 объектов, и пусть испытания считаются законченными, если все они отказали. Вместо отказавших образцов отремонтированные или новые не ставятся. В таких случаях критериями надежности изделий являются:

– вероятность безотказной работы $P(t)$;

– частота отказов $f(t)$;

– интенсивность отказов $\lambda(t)$;

– средняя наработка до отказа T_1 (в некоторых источниках T_{cp}).

Вероятностью безотказной работы (*ВБР*) называется ***количественная мера*** того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа.

Функция P – относительная продолжительность непрерывной исправной работы объекта до первого отказа, а *аргумент t* – время, за которое нужно определить ВБР, следовательно, согласно определению,

$$P(t) = P(T \geq t), \qquad t \geq 0, \qquad (1.1)$$

где T – время работы объекта от начала до первого отказа; t – время, в течение которого определяется вероятность безотказной работы.

Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением

$$\hat{P}(t) = \left(N_0 - n(t)\right) / N_0, \qquad (1.2)$$

где $\hat{P}(t)$ – статистическая оценка вероятности безотказной работы;

N_0 – число объектов в начале работы (серии испытаний);

$n(t)$ – число отказавших элементов за время t.

На практике, наряду с ВБР, определяют такую характеристику, как *вероятность отказа* $Q(t)$.

Вероятностью отказа называется *количественная мера* того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникает хотя бы один отказ.

Отказ и безотказная работа являются событиями несовместными и противоположными, поэтому при $0 \leq t$

$$Q(t) = P(T < t), \; Q(t) = 1 - P(t) = F(t), \qquad (1.3)$$

где $Q(t) = F(t)$ – интегральная функция распределения случайной величины.

Статистически вероятность отказа равна:

$$\hat{Q}(t) = n(t) / N_0, \qquad (1.4)$$

$$\hat{Q}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\sum_{i=1}^{t/\Delta t} n_i}{N_0},$$

где n_i – число неблагоприятных исходов;

N_0 – общее число испытаний.

Если функция *Q(t)* дифференцируема, то производная от интегральной функции распределения – дифференциальный закон *(плотность вероятности, плотность распределения)* случайной величины T – времени безотказной работы:

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}. \qquad (1.5)$$

Частотой отказов по статистическим данным называется отношение числа *отказавших* элементов в единицу времени к *первоначальному* числу работающих (испытываемых) при условии, что все вышедшие из строя изделия не восстанавливаются. Согласно определению,

$$\hat{f}(t) = n(\Delta t) / N_0 \Delta t \quad \text{или} \quad a(t) = n(\Delta t) / N_0 \Delta t, \tag{1.6}$$

где $n(\Delta t)$ – число отказавших элементов в интервале времени от $(t - \Delta t)/2$ до $(t + \Delta t)/2$.

Частота отказов есть плотность вероятности (или закон распределения) времени работы изделия до первого отказа. Поэтому

$$f(t) = -\frac{dP}{dt} = -P'(t) = \frac{dQ(t)}{dt} Q'(t),$$

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt, \tag{1.7}$$

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt. \tag{1.8}$$

Интенсивностью отказов по статистическим данным называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени.

$$\hat{\lambda}(t) = n(\Delta t) / N_{cp} \cdot \Delta t, \tag{1.9}$$

где $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$ – среднее число исправно работающих изделий в интервале Δt;

N_i – число изделий, исправно работающих в начале интервала Δt

N_{i+1} – число изделий, исправно работающих в конце интервала Δt.

Интенсивность отказов в вероятностной оценке есть условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Вероятностная оценка характеристики $\lambda(t)$ находится из выражения

$$\lambda(t) = f(t) / P(t) \tag{1.10}$$

или $f(t) = \lambda(t) P(t)$.

Интенсивность отказов и вероятность безотказной работы связаны между собой зависимостью

$$P(t) = e^{-\int_0^1 \lambda(t) dt} \tag{1.11}$$

Средней наработкой до первого отказа называется математическое ожидание времени работы объекта до отказа.

Математическое ожидание средней наработки до отказа T_1 вычисляется через частоту отказов (плотность распределения времени безотказной работы):

$$m_t = T_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} tf(t)dt \qquad (1.12)$$

Зная, что $t > 0$ и $P(0) = 1$, а $P(\infty) = 0$, определяют T_1:

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t)dt \qquad (1.13)$$

Средняя наработка до первого отказа, согласно статистическим данным об отказах, вычисляется по формуле

$$\hat{T}_1 = (\sum_{i=1}^{m} n_i t_i) / N_0, \qquad (1.14)$$

где t_i – время безотказной работы i-го образца;

N_0 – число испытываемых объектов.

Для определения *средней наработки до первого отказа* необходимо знать моменты выхода из строя всех испытываемых объектов. Поэтому для вычисления $\hat{T}_1$ пользоваться данной формулой неудобно. Имея данные о количестве вышедших из строя элементов n_i в каждом i-м интервале времени, среднюю наработку до первого отказа лучше определять по уравнению

$$\hat{T}_1 \approx (\sum_{i=1}^{m} n_i t_{cpi}) / N_0, \qquad (1.15)$$

где t_{cp} и m находятся по следующим формулам:

$$t_{cp} = \left(t_{i-1} + t_i\right)/2, \qquad m = t_k / \Delta t, \qquad (1.16)$$

где t_{i-1} – время начала i-го интервала;

t_i – время конца i-го интервала;

t_k– время, в течение которого вышли из строя все элементы;

$\Delta t = t_{i-1} - t_i$ – интервал времени.

При расчетах надежности технических устройств часто применяются законы распределения: экспоненциальный, усеченный нормальный, Рэлея, гамма, Вейбулла – Гнеденко, логарифмически-нормальный. В табл. 1.1 приведены выражения для расчета количественных характеристик объектов, соответствующих перечисленным законам распределения времени их безотказной работы.

Таблица 1.1

Интенсивность отказов элементов

Закон распределения	Частота отказов (плотность распределения)	Вероятность безотказной работы	Интенсивность отказов	Средняя наработка до первого отказа
Экспоненциальный	$\lambda e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t}$	$\lambda = \mathrm{const}$	$\dfrac{1}{\lambda}$
Рэлея	$\dfrac{t}{\sigma^2} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$	$e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$	$\dfrac{t}{\sigma^2}$	$\sqrt{\dfrac{\pi}{2}}\sigma$
Гамма (при *k* целом)	$e^{-\lambda_0 t}$	$e^{-\lambda_0 t}$	$\dfrac{\lambda_0 (\lambda_0 t)^{k-1}}{(k-1)! \sum\limits_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}}$	$\dfrac{k}{\lambda_0}$
Вейбулла – Гнеденко	$\lambda_0 k t^{k-1} e^{-\lambda_0 t^k}$	$e^{-\lambda_0 t^k}$	$\lambda_0 k t^{k-1}$	$\dfrac{\Gamma(\frac{1}{k}+1)}{\lambda_0^{\frac{1}{k}}}$
Усеченный нормальный	$\dfrac{1}{F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}}$	$\dfrac{F\left(\frac{T_1 - t}{\sigma}\right)}{F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)}$	$\dfrac{e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi\sigma F\left(\frac{T_1 - t}{\sigma}\right)}}$	$T_1 + \dfrac{\sigma}{\sqrt{2\pi} F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)} e^{-\frac{T1^2}{2\sigma^2}}$
Логарифмически-нормальный	$\dfrac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t-\mu}{\sigma}\right)^2}$	$\dfrac{1}{2} + \Phi\left(\dfrac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)$	$\dfrac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} \dfrac{e^{\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t-\mu}{\sigma}\right)^2}}{0{,}5 + \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)}$	$\dfrac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int\limits_0^\infty e^{-\frac{(\ln t-\mu)^2}{2}} dt$

Из приведенных соотношений видно, что все характеристики, кроме средней наработки до первого отказа, зависят от времени (являются функциями времени). На рис. 1.2 показаны зависимости количественных характеристик надежности объектов от времени.

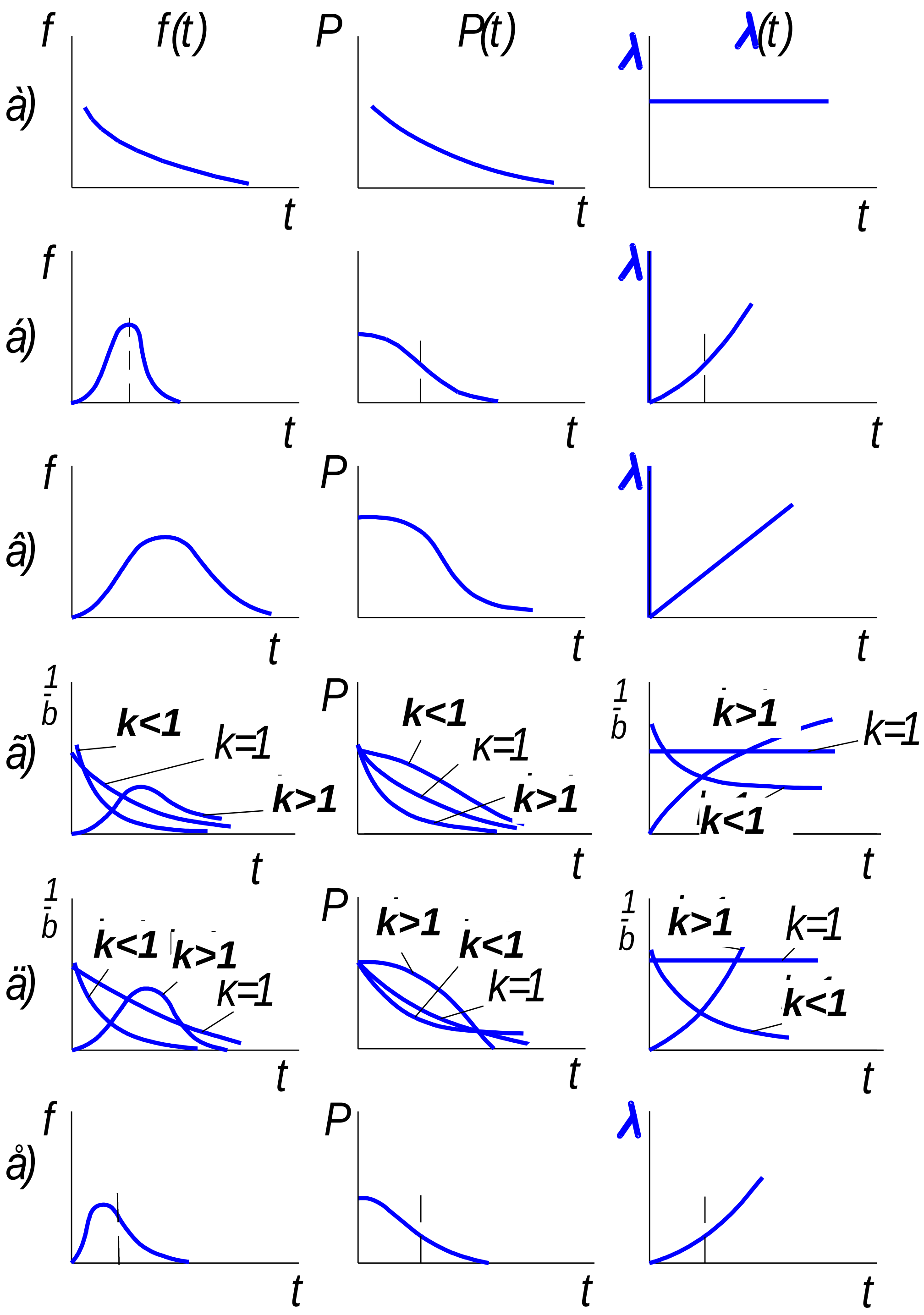

Рис. 1.2 Зависимости количественных характеристик надежности от времени:
а – экспоненциальный закон; б – усеченный нормальный закон; в – закон Рэлея; г – гамма-распределение: д – закон Вейбулла – Гнеденко; е – логарифмически-нормальный закон

Рассмотренные критерии надежности позволяют достаточно полно оценивать надежность невосстанавливаемых объектов, а также надежность восстанавливаемых объектов до первого отказа. Наличие нескольких критериев не означает, что всегда нужно оценивать надежность объектов по всем характеристикам.

Наиболее полной характеристикой надежности является частота отказов $f(t)$ (плотность распределения), она содержит в себе все данные о случайном явлении – времени безотказной работы.

Средняя наработка до первого отказа является достаточно наглядной характеристикой надежности. Однако применение этого критерия для оценки надежности сложной системы ограничено в тех случаях, когда:

– время работы системы гораздо меньше среднего времени безотказной работы;

– закон распределения времени безотказной работы не однопараметрический и для достижения полной оценки требуются моменты высших порядков;

– система резервированная;

– интенсивность отказов не постоянная;

– время работы отдельных частей сложной системы разное.

Интенсивность отказа – наиболее удобная характеристика надежности простейших элементов, так как позволяет просто вычислять количественные характеристики надежности сложных систем.

Наиболее целесообразно оценивать надежность сложных систем по критерию *вероятности безотказной работы,* так как:

– она входит в качестве сомножителя в другие, более общие характеристики систем, например в эффективность и стоимость (цена и стоимость различаются);

– характеризует надежность с учетом изменения во времени;

– может быть получена сравнительно простыми расчетами в процессе проектирования систем и оценена в процессе испытаний.

1.3 Критерии надежности восстанавливаемых изделий

Пусть на испытании находится N изделий, и пусть отказавшие изделия немедленно заменяются исправными (новыми или отремонтированными). Испытания считаются законченными, если число отказов достигает величины, достаточной для оценки надежности с определенной доверительной вероятностью. Если не учитывать времени, потребного на восстановление системы, то количественными характеристиками надежности могут быть параметр потока отказов $\mu(t)$ и наработка на отказ T.

Параметром потока отказов называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия заменяются исправными (новыми или отремонтированными).

Согласно определению,

$$\mu(t)=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{M\{\hat{r}(t+\Delta t)-r(t)\}}{\Delta t}, \tag{1.17}$$

где Δt – малый отрезок наработки;

$r(t)$ – число отказов, наступивших от начального момента времени до достижения наработки t. Разность $r(t+\Delta t)-r(t)$ представляет собой число отказов на отрезке Δt.

Статистическую оценку параметра потока отказов дают по формуле

$$\hat{\mu}(t)=\frac{\hat{r}(t_2)-r(t_1)}{t_2-t_1} \tag{1.18}$$

Для стационарных потоков можно применять формулу

$$\hat{\mu}=\frac{1}{\hat{T}}, \tag{1.19}$$

где $\hat{T}$ – оценка средней наработки на отказ;

$\hat{T}=T=\dfrac{t}{M\{r(t)\}}$, здесь t – суммарная наработка, $r(t)$ – число отказов, наступивших в течение этой наработки, $M\{r(t)\}$ – математическое ожидание этого числа.

Параметр потока отказов определяется также по формуле

$$\hat{\mu}(t)=\frac{\sum_{i=1}^{N}n_i(t+\Delta t)-\sum_{i=1}^{N}n_i(t)}{N\cdot\Delta t}=\frac{\sum_{i=1}^{N}n_i(\Delta t)}{N\cdot\Delta t}, \tag{1.20}$$

где $n_i(t)$ – число отказавших образцов в интервале времени от $(t-\Delta t)/2$ до $(t+\Delta t)/2$;

N – число испытываемых образцов;

Δt – интервал времени.

Формула (1.18) является статистическим определением параметра потока отказов.

Параметр потока отказов и частота отказов для ординарных потоков с ограниченным последействием связаны интегральным уравнением Вольтерра второго рода

$$\mu(t) = f(t) + \int_0^e \mu(\tau) f(t-\tau) d\tau \cdot \qquad (1.21)$$

По известной $f(t)$ можно найти все количественные характеристики надежности невосстанавливаемых изделий. Поэтому (1.21) является основным уравнением, связывающим количественные характеристики надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых изделий при мгновенном восстановлении.

Уравнение (1.21) можно записать в операторной форме:

$$\mu(t) = \frac{f(s)}{1 - f(s)}, \qquad f(s) = \frac{\mu(s)}{1 + \mu(s)}. \qquad (1.22)$$

Соотношения (1.22) позволяют найти одну характеристику через другую, если существуют преобразования Лапласа функций $a(s)$ и $m(s)$ и обратные преобразования выражений (1.22).

Параметр потока отказов обладает следующими важными свойствами:

1) для любого момента времени независимо от закона распределения времени безотказной работы параметр потока отказов больше, чем частота отказов, т. е. $\mu(t) >> f(t)$;

2) независимо от вида функции $f(t)$ параметр потока отказов $\mu(t)$ при $t \to \infty$ стремится к $1/T_{ср}$. Это важное свойство параметра потока отказов означает, что при длительной эксплуатации ремонтируемого изделия поток его отказов независимо от закона распределения времени безотказной работы становится стационарным. Однако это не означает, что интенсивность отказов есть величина постоянная;

3) если $\lambda(t)$ – возрастающая функция времени, то

$\lambda(t) > \mu(t) > f(t)$,

4) если $\lambda(t)$ – убывающая функция, то

$f(\mathrm{t}) > \lambda(t) > \mu(t)$;

5) при $\lambda(t)$ = const параметр потока отказов системы не равен сумме параметров потоков отказов элементов, т. е.

$$\mu_c \neq \sum_{i=1}^{N} \mu_i(t) \cdot \qquad (1.23)$$

Согласно этому свойству параметра потока отказов можно утверждать, что при вычислении количественных характеристик надежности сложной системы нельзя суммировать имеющиеся в настоящее время значения интенсивностей отказов элементов, полученные по статистическим данным об отказах изделий в условиях эксплуатации, так как указанные величины являются фактически параметрами потока отказов;

6) при $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ параметр потока отказов равен интенсивности отказов $\mu(t) = \lambda(t) = \lambda$.

Сравнение свойств интенсивности и параметра потока отказов свидетельствует, что эти характеристики различны.

В настоящее время широко используются статистические данные об отказах, полученные в условиях эксплуатации аппаратуры. При этом они часто обрабатываются таким образом, что приводимые характеристики надежности являются не интенсивностью отказов, а параметром потока отказов $\mu(t)$. Это приводит к ошибкам при расчетах надежности. В ряде случаев они могут быть значительными.

Для получения интенсивности отказов элементов из статистических данных об отказах ремонтируемых систем необходимо воспользоваться формулой (1.6), для чего следует знать предысторию каждого элемента принципиальной схемы. Это может существенно усложнить методику сбора статистических данных об отказах. Поэтому целесообразно определять $\lambda(t)$ по параметру потока отказов $\mu(t)$. Методика расчета сводится к следующим вычислительным операциям:

– по статистическим данным об отказах элементов ремонтируемых изделий и по формуле (1.13) вычисляется параметр потока отказов и строится гистограмма $\mu_i(t)$;

– гистограмма заменяется кривой, которая аппроксимируется уравнением;

– находится преобразование Лапласа $\mu_i(s)$ функции $\mu_i(t)$;

– по известной $\mu_i(s)$ на основании (1.15) записывается преобразование Лапласа $f_i(s)$ частоты отказов;

– по известной $f_i(s)$ находится обратное преобразование частоты отказов $f_i(t)$;

– находится аналитическое выражение для интенсивности отказов по формуле

$$\lambda_e(t) = f(t)/(1 - \int_0^t f_t(t)dt; \qquad (1.24)$$

– строится график $\lambda_i(t)$.

Если имеется участок, где $\lambda_i(t) = \lambda = \text{const}$, то постоянное значение интенсивности отказов принимается для оценки вероятности безотказной работы. При этом считается справедливым экспоненциальный закон надежности.

Приведенная методика не может быть применена, если не удается найти по $f(s)$ обратное преобразование частоты отказов $f(t)$. В этом случае приходится применять приближенные методы решения интегрального уравнения (1.21) или машинные методы расчета.

Средней наработкой на отказ называется отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

$$T = \frac{t}{M\{n(t)\}}, \tag{1.25}$$

где t – суммарная наработка;

$n(t)$ – число отказов, наступивших в течение этой наработки;

$M\{n(t)\}$ – математическое ожидание этого числа.

Статистически средняя наработка на отказ вычисляется по формуле

$$\hat{T} = \frac{t}{n_{ф}(t)}, \tag{1.26}$$

где $n_{ф}(t)$ – число фактических отказов в течение наработки t.

Наработка на отказ является достаточно наглядной характеристикой надежности, поэтому она получила широкое распространение на практике.

Параметр потока отказов и наработка на отказ характеризуют надежность ремонтируемого изделия и не учитывают времени, потребного на его восстановление. Следовательно, они не характеризуют готовности изделия к выполнению своих функций в нужное время. Для этой цели вводятся такие критерии, как коэффициент готовности и коэффициент вынужденного простоя.

Коэффициентом готовности называется вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Согласно данному определению,

$$K_{Г} = \frac{t_{P}}{t_{P} + t_{n}}, \tag{1.27}$$

где t_p – суммарное время работоспособного состояния объекта;

t_n – суммарное время, в течение которого объект не использовался по назначению. Значения времени t_p и t_n вычисляются по формулам:

$$t_P = \sum_{i=1}^{n} t_{pi}, \qquad t_n = \sum_{i=1}^{n} t_{ni}\,, \tag{1.28}$$

где t_{Pi} – время работы изделия между (i – 1)-м и i-м отказом;

t_n – время вынужденного простоя после i-го отказа;

n – число отказов (ремонтов) изделия.

Выражение (1.27) является статистическим определением коэффициента готовности. Для перехода к вероятностной трактовке величины t_p и t_n заменяются математическими ожиданиями времени между соседними отказами и времени восстановления соответственно. Тогда

$$K_Г = \frac{T}{T + T_в}, \tag{1.29}$$

где T – наработка на отказ;

$T_в$ – среднее время восстановления.

Коэффициентом вынужденного простоя называется отношение времени вынужденного простоя к сумме времени исправной работы и времени вынужденных простоев изделия, взятых за один и тот же календарный срок. Согласно определению,

$$T_П = T_П^1 / (t_p + t_П) \tag{1.30}$$

или, переходя к средним величинам,

$$K_П = t_B / (t_{cp} + t_B). \tag{1.31}$$

Коэффициент готовности и коэффициент вынужденного простоя связаны между собой зависимостью

$$K_П = 1 - K_Г. \tag{1.32}$$

При анализе надежности восстанавливаемых систем обычно коэффициент готовности вычисляют по формуле

$$K_Г = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + t_B}. \tag{1.33}$$

Формула (1.31) верна только в том случае, если поток отказов простейший, и тогда $t_{cp} = T$.

Часто коэффициент готовности отождествляют с вероятностью того, что в любой момент времени восстанавливаемая система исправна. На самом деле указанные характеристики неравноценны и могут быть отождествлены при определенных допущениях.

Действительно, вероятность возникновения отказа ремонтируемой системы в начале эксплуатации мала. С ростом времени t эта вероятность возрастает. Это означает, что вероятность застать систему в исправном состоянии в начале эксплуатации будет выше, чем по истечении некоторого времени. Между тем коэффициент готовности не зависит от времени работы.

Для выяснения физического смысла коэффициента готовности $К_Г$ необходимо воспользоваться формулой для вероятности застать систему в исправном состоянии. При этом рассматривается наиболее простой случай, когда интенсивность отказов и интенсивность восстановления есть величины постоянные.

Предполагая, что при $t = 0$ система находится в исправном состоянии ($P(0) = 1$), вероятность застать систему в исправном состоянии можно определить из выражений:

$$P_Г(t) = \frac{\mu_B}{\lambda + \mu_B} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu_B} e^{-(\lambda+\mu)t},$$

$$P_Г(t) = К_Г + (1 - К_Г) e^{-t/К_Г t_B}, \qquad (1.34)$$

где t – средняя наработка на отказ;

t_B – время восстановления;

$$\lambda = \frac{1}{T}, \qquad \mu_B = \frac{1}{t_B}, \qquad К_Г = \frac{T}{T + t_B} \qquad (1.35)$$

Последнее выражение устанавливает зависимость между коэффициентом готовности системы и вероятностью застать ее в исправном состоянии в любой момент времени t.

Из (1.34) видно, что $P_Г(t) \to К_Г$ при $t \to \infty$, т. е. практически коэффициент готовности имеет смысл вероятности застать объект в исправном состоянии при установившемся процессе эксплуатации.

В некоторых случаях критериями надежности восстанавливаемых систем могут быть также показатели безотказности невосстанавливаемых систем, например: вероятность безотказной работы, частота отказов, средняя наработка до отказа, интенсивность отказов. Такая необходимость возникает всегда, когда имеет смысл оценить надежность восстанавливаемой системы до первого отказа, а также в случае, когда применяется резервирование с восстановлением резервных устройств, отказавших в процессе работы системы, причем отказ всей резервированной системы не допускается.