УДК 625.143;629.4

А. Д. ОМАРОВ, С. И. НУСУПБЕКОВ

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

Теория надежности – сравнительно молодая наука. Ее основы были заложены в 50–60-х годах прошлого столетия.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» «надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования». Например, надежность пути можно определить как его способность пропускать поезда с установленной скоростью.

Надежность объекта оценивается не только во время непосредственной эксплуатации, но и во время хранения, транспортирования и ремонтов. Поэтому надежность является сложным свойством и состоит из сочетания следующих свойств: безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости.

Показатели надежности – это количественные характеристики одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта. Численные значения показателей могут быть выражены размерными или безразмерными величинами [1, 2].

Отказом в теории надежности называют событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Принципиальной основой ведения путевого хозяйства является не ликвидация отказов, а их предупреждение, т.е. выполнение профилактических работ в установленные сроки. Исходя из этого, основными показателями надежности элементов верхнего строения пути будут показатели надежности невосстанавливаемых объектов или объектов, работающих до первого отказа.

Для оценки надежности таких объектов используют вероятностные характеристики случайной величины наработки T объекта от начала его эксплуатации до первого отказа. Под наработкой понимают продолжительность или объем работы объекта в часах, циклах или в других единицах. Для объектов верхнего строения пути чаще всего наработка выражается в млн т брутто пропущенного груза или в единицах времени работы.

Функцией надежности называют функцию, выражающую вероятность того, что T – случайная наработка до отказа – будет не менее заданной наработки ($0; i$), отсчитываемой от начала эксплуатации, т.е.

$$p(t) = P(T \geq t). \quad (1)$$

Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением

$$\overline{P}(t) = \frac{N(t_i)}{N_0}, \quad (2)$$

где N_0 – число объектов вначале испытаний; $N(t_i)$ – число безотказно проработавших объектов к моменту наработки t_i.

На практике иногда более удобной характеристикой является функция ненадежности $q(t)$

$$q(t) = l – p(t) = P(T<t). \quad (3)$$

Она характеризует вероятность отказа объекта на интервале ($0;t$). Функция ненадежности является функцией распределения случайной величины T; эта функция в теории вероятностей обозначается $F(t)$. Вероятность отказа по статистическим данным

$$\overline{F}(t) = \frac{r(t_i)}{N_0}, \quad (4)$$

где $r(t_i)$ – число отказавших объектов к моменту наработки t_i.

Плотностью распределения наработки до отказа T_o называется производная от функции $F(t)$:

$F(t)=F`(t) = – p(t)$,

тогда

$$F(t)=\int_0^t f(x)dx. \quad p(t)=1-\int_0^t f(x)dx=\int_t^\infty f(x)dx. \ (5)$$

Нормальный закон распределения (закон Гаусса) часто хорошо согласуется с экспериментальными данными при испытаниях на надежность. Это относится, прежде всего, к таким процессам, при которых отказы вызываются совокупностью многих причин, влияние каждой из которых на отказ достаточно мало. Параметрами распределения для нормального закона являются T_{CP} и σ_t. Плотность распределения случайной величины задается равенством

$$f(x)=\frac{1}{\sigma_t\sqrt{2\pi}}e^{\frac{(t-T_{CP})^2}{2\sigma_t^2}}. \ (6)$$

Расчеты удобно производить, если указанное выражение привести к более простому виду. При этом необходимо заменить переменную величину t другой:

$$x=\frac{(t-T_{CP})}{\sigma_t}. \ (7)$$

Тогда получим так называемую плотность нормированного распределения случайной величины x

$$\varphi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{x^2}{2}}, \ (8)$$

для которой математическое ожидание $M(x) = 0$, а дисперсия σ_t. Так как $\varphi(-x) = \varphi(x)$, то эта функция является четной.

Значения $\varphi(x)$ приведены во многих математических справочниках. Площадь под кривой $\varphi(x)$ в пределах $-\infty < x < \infty$ равна 1.

Интегральная функция нормированного нормального распределения

$$F_0(x) = \int_{-\infty}^{x} \varphi(x)dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \ (9)$$

Она также табулирована.

Эксплуатировать конструкции пути до полного отказа всех элементов невозможно, поэтому для определения параметров распределения используют усеченные выборки.

В случае усеченной выборки, когда в результате испытаний объектов получены r возрастающих значений наработки ($r < N_0$) для отказавших объектов t_1, t_2,... t_r, а N_o-r объектов по истечении некоторого времени $t_o \geq t_r$ остались исправными, параметры T_{CP} и σ_t можно оценить по методу квантилей следующим образом.

Квантиль порядка P есть такое значение U_P случайной величины x, для которой

$F_0(x) = F_0(U_p) = P\ (0<P<1)$.

В соответствии с формулой (7)

$$U_p = \frac{(t - T_{CP})}{\sigma_t}, \quad \text{т} \qquad t_i = T_{CP} + U_h \sigma_t.$$

Значения функции $F_0(U_p) = P$ и соответствующие ей значения U_p можно найти в таблицах квантилей нормального распределения.

Индекс P означает «вероятность» и в таблицах квантилей задается в пределах $0{,}5 \leq P \leq 1$. Если $P < 0{,}5$, то определяют 1 - P, т.е.

U_{1-p} = - U_p и t_{1-p} — T_{CP} $U_p\sigma_t$.

Считаем, что за наработку t_i вероятность выхода из строя испытываемых объектом по статистическим данным составляет

$$\overline{F}(t) = \frac{r(t_i)}{N_0}. \ (10)$$

Для этих вероятностей (частостей) определяем квантили U_p и составляем r уравнений:

$$\begin{aligned} & T_{CP} + U_{p_1}\sigma_t = t_1; \\ & T_{CP} + U_{p_2}\sigma_t = t_2; \\ & \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ & T_{CP} + U_{p_r}\sigma_t = t_r. \end{aligned} \quad (11)$$

Полученную систему уравнений решаем по методу наименьших квадратов, для чего умножаем левые части каждого из уравнений системы на $U_{pi}, U_{p2}, \dots\ U_p$ соответственно и все r сравнений складываем, в результате получим первое так называемое нормальное уравнение:

$$T_{CP} + \sum_{i=1}^{r} U_{p_i} + \sigma_t \sum_{i=1}^{r} U_{p_i}^2 = \sum_{i=1}^{r} U_{p_i} t_i. \ (12)$$

Второе нормальное уравнение получим суммированием уравнений системы (10):

$$T_{CP} + \sigma_t \sum_{i=1}^{r} U_{p_i} = \sum_{i=1}^{r} t_i. \ (13)$$

Уравнения (11) и (12) решаем относительно неизвестных T_{CP} и σ_t.

Скрепление проектируют так, что обычно у него нет функционально «лишних» деталей. Отказ любой из них сильно снижает эффективность функционирования узла скрепления, вызывает интенсивный износ соседних деталей и повышает расходы на содержание пути. Поэтому, оценивая надежность скреплений различных типов в условиях нормальной эксплуатации, необходимо все элементы считать соединенными последовательно, а вероятность безотказной работы узла такой системы оценивать по формуле

$$P_{Ц}(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t), \ (14)$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i-го элемента.

Оценивая надежность скрепления в экстремальной ситуации, в которой конструкция может находиться ограниченное время, после чего переходит в аварийное состояние, отдельные цепи элементов можно считать параллельными. Безотказность работы элементов цепи

$$P_{Ц} = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^{n} P_i(t)\right]^2. \quad (15)$$

Эксплуатационные характеристики скреплений в основном зависят от свойств резиновых прокладок и клемм. Для обеспечения ресурса всех элементов необходимо продолжить совершенствование конструкции нашпальных и подрельсовых прокладок. Следует также уточнить ряд нормативных требований к скреплениям, таких, как вертикальная жесткость, усилие нажатия клеммы на рельс, боковая нагрузка на узел для кривых разного радиуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дружинин Г.В.* Надежность автоматизированных производственных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986. 480 с.

2. *Карпущенко Н.И., Тарнопольский Г.И.* Надежность железнодорожного пути. Новосибирск: НИИЖТ, 1989. 104 с.