

ОЦЕНКА СРЕДНЕЙ НАРАБОТКИ ДО КРИТИЧЕСКОГО ОТКАЗА ТЕХНОГЕННО-ОПАСНОГО ОБЪЕКТА

Г. С. Садыхов

Пусть $(\tau, \tau + l]$ – заданный опасный интервал времени эксплуатации техногенно-опасного объекта. Под опасным интервалом будем подразумевать такой период штатной эксплуатации, на котором возможный отказ объекта носит критический характер, приводящий к авариям и катастрофам. Тогда наработкой объекта до критического отказа служит величина

$$\zeta_l(\tau) = \begin{cases} \zeta & \text{при } \zeta \in (\tau, \tau + l); \\ \tau + l & \text{при } \zeta \geq \tau + l, \end{cases} \quad (1)$$

где ζ – наработка до критического отказа.

Применение известных показателей, таких как средняя наработка до отказа и гамма-процентный ресурс для количественной оценки наработки до критического отказа, не совсем корректно, так как найденные значения этих показателей могут выходить за пределы опасного интервала.

В связи с этим определим среднюю наработку до критического отказа по формуле

$$\rho_l(\tau) = \langle \zeta_l(\tau) \rangle, \quad (2)$$

где $\langle \rangle$ – символ математического ожидания величины (1).

Перечислим следующие оценки показателя $\rho_l(\tau)$, установленные нами:

1. Справедлива следующая двухсторонняя оценка показателя (2): $\tau < \rho_l(\tau) \leq \tau + l$, причем знак равенства в правой части достигается тогда и только тогда, когда $P(\tau) = P(\tau + l)$, здесь $P(\cdot)$ – вероятность безотказной работы объекта в течение времени, указанного внутри скобок.

2. Для любого момента времени $\tau > \tau_0$ имеет место следующая оценка: $\rho_l(\tau) > \rho_l(\tau_0)$.

3. Точечной оценкой показателя (2) служит следующая величина:

$$\hat{\rho}_l^{(n)}(\tau) = \frac{1}{n-k} \left(\sum_{i=1}^m z_i + (n-k-m)(\tau+l) \right), \quad (3)$$

где k – число отказавших объектов в течение времени τ из всех наблюдаемых (испытанных) однотипных объектов в количестве n ($k \neq n$), z_i – наработка до критического отказа i -го объекта из числа m всех отказавших на интервале $(\tau, \tau + l)$.

4. Справедлива следующая формула:

$$\langle \rho_l^{(n)}(\tau) \rangle = \tau + K_n(\tau) r_l(\tau), \quad (4)$$

где

$$r_l(\tau) = \frac{1}{P(\tau)} \int_{\tau}^{\tau+l} P(x) dx,$$

$$K_n(\tau) = 1 - (1 - P(\tau))^n.$$

Поскольку [1]

$$\rho_l(\tau) = \tau + r_l(\tau),$$

то из (4) следует, что точечная оценка (3) смещенная. Для ликвидации смещения вместо оценки (3) предлагается использовать оценку:

$$\tilde{\rho}_l^{(n)}(\tau) = \tau + \tilde{r}_l^{(n)}(\tau), \quad (5)$$

где

$$\tilde{r}_l^{(n)}(\tau) = \frac{1}{K_n(\tau)(n-k)} \left(\sum_{i=1}^m (z_i - \tau) + (n-k-m)l \right).$$

Поскольку $\langle \tilde{r}_l^{(n)}(\tau) \rangle = r_l(\tau)$, то справедливо соотношение $\langle \tilde{\rho}_l^{(n)}(\tau) \rangle = \rho_l(\tau)$. Следовательно, оценка (5) несмещенная.

При малых объемах выборки уровень доверия к точечной оценке (5) крайне низок [2–5]. Для повышения уровня доверия нами доказано следующее утверждение:

5. Нижней доверительной границей показателя $\rho_l(\tau)$ при доверительной вероятности p ($0 < p < 1$) служит следующая величина:

$$\underline{\rho}_l^{(n)}(\tau) = \tilde{\rho}_l^{(n)}(\tau) - \frac{l}{K_n(\tau)} \sqrt{\frac{-\ln(1-p)}{2(n-k)}}.$$

Пусть задано время t , в течение которого необходимо провести некоторый эксперимент с однотипными системами с двумя противоположными исходами, например, «хорошо» или «плохо» в социальных системах; «отказ» или «безотказность» в технических системах и т.д. Требуется определить n_0 – минимальное количество однотипных систем для объективного проведения выборочного эксперимента.

В целях определения искомой величины n_0 воспользуемся терминологией, сложившейся в теории надежности при проведении испытаний на долговечность.

Пусть τ – наработка до отказа некоторой системы. Введем следующую величину:

$$\eta(t) = \begin{cases} \tau, & \text{если } \tau < t; \\ t, & \text{если нет отказа внутри интервала } (0, t). \end{cases}$$

Следовательно, величина $\eta(t)$ – безотказная наработка системы в течение времени t .

Определим среднюю долю безотказной наработки (СДБН) по следующей формуле [1]:

$$J(t) = \left\langle \frac{\eta(t)}{t} \right\rangle, \quad (6)$$

где $\langle \rangle$ – символ математического ожидания.

Формула (1) позволяет записать точечную оценку показателя СДБН в виде

$$\hat{J}_n(t) = \frac{1}{nt} \left(\sum_{i=1}^k \tau_i + (n-k)t \right), \quad (7)$$

где n – количество однотипных систем, из которых k отказало в течение времени t ; τ_i – наработка до отказа i -й системы ($i = 1, 2, \dots, k$).

При малых объемах выборки степень доверия к точечной оценке показателя СДБН крайне низка. Поэтому нами установлена следующая нижняя доверительная граница показателя СДБН при заданной доверительной вероятности p :

$$\underline{J}_n(t) = \hat{J}_n(t) - \sqrt{\frac{-\ln(1-p)}{2n}}. \quad (8)$$

Формула (8) позволяет определить минимальное количество однотипных систем, необходимое для проведения выборочного эксперимента.

В самом деле из (8) находим

$$n = \frac{-\ln(1-p)}{2(\hat{J}_n(t) - \underline{J}_n(t))^2}.$$

Откуда с учетом оценки $\hat{J}_n(t) \leq 1$, которая следует из (7), имеем

$$n \geq \frac{-\ln(1-p)}{2(1 - \underline{J}_n(t))^2}. \quad (9)$$

Следовательно, искомое минимальное количество однотипных систем, необходимое для проведения выборочного эксперимента определится как целая правая часть (9), т.е.

$$n_0 = \left\lceil \frac{-\ln(1-p)}{2(1 - \underline{J}_n(t))^2} \right\rceil, \quad (10)$$

где $\lceil \]$ – символ целой части.

Из найденной формулы (10) видно, что:

1) если доверительная вероятность p стремится к 1, то объем выборки n_0 увеличивается, и, напротив, если p уменьшается ($p \rightarrow 0$), то число систем n_0 для проведения выборочного эксперимента также уменьшается;

2) если значение нижней доверительной границы $\underline{J}_n(t)$ стремится к 1, то объем выборки увеличивается и, напротив, если значение $\underline{J}_n(t)$ уменьшается, то объем выборки также становится меньше.

Очевидно, что оба вывода хорошо согласуются с логикой проведения выборочного эксперимента.

Полученная формула (10) для расчета минимального объема выборки для проведения выборочного эксперимента может быть использована и при планировании и проведении других видов выборочных экспериментов в различных областях науки.

Таким образом, определен показатель «средняя наработка до критического отказа» и установлены его оценки.

Список литературы

1. Садыхов, Г. С. Теоретические основы методов расчета надежности изделий, изложенных в государственном стандарте ГОСТ 27.505-86 / Г. С. Садыхов // Надежность и контроль качества. – 1996. – № 2. – С. 3–9.
2. Садыхов, Г. С. Показатель безопасной наработки на заданном периоде времени эксплуатации техногенно-опасных объектов, его расчет и оценки / Г. С. Садыхов, О. В. Некрасова, Алмохамед Ферас // Фундаментальные проблемы системной безопасности : сб. ст. – М. : Вузовская книга, 2009. – Вып. 2. – С. 53–56.
3. Баранов, Н. А. Управление состоянием готовности системы безопасности к отражению угрозы / Н. А. Баранов, Н. А. Северцев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 8–10.
4. Затылкин, А. В. Алгоритмическое и программное обеспечение расчета параметров статически неопределимых систем амортизации РЭС / А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, И. И. Кочегаров // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 33–40.
5. Дедков, В. К. Компьютерное моделирование характеристик надежности нестареющих восстанавливаемых объектов / В. К. Дедков, Н. А. Северцев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2010. – Т. 1. – С. 368–370.

Садыхов Гулам Садыхович

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
действительный член
Академии проблем качества РФ,
Московский государственный
технический университет им. Н. Э. Баумана
(105005, Россия, г. Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1)
E-mail: gsadykhov@gmail.com

Аннотация. Для техногенно-опасного объекта определен показатель «средняя наработка до критического отказа» и установлены его оценки. На основе сравнения характеристик надежности отказавших и не отказавших систем в течение заданного времени определяется минимальное количество систем, необходимое для проведения выборочного эксперимента.

Ключевые слова: отказ, вероятность, наработка до критического отказа, точечная оценка, нижняя доверительная граница, выборка, средний ресурс, точечная оценка.

УДК 519.718.2

Садыхов, Г. С.

Оценка средней наработки до критического отказа техногенно-опасного объекта / Г. С. Садыхов // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 2 (10). – С. 23–26.

Sadykhov Gulam Sadykhovich

doctor of technical science, professor,
senior researcher manager,
fellow of Russian Federation Quality Problems academy
Moscow State Technical University
named after N. E. Bauman
(105005, 2-ya Baumanskaya street, apartment 5, page 1,
Moscow, Russia)

Abstract. The index of mean life to critical failure for anthropogenic hazard item is determined and its estimates are established. The minimal number of sampling systems is being determined by comparing reliability characteristics of failed and unfailed systems within a specified time.

Key words: failure, probability, life to critical failure, point estimate, lower confidence limit, sample, mean life, point estimate.