УДК 629.12.565.3

Журавлев Ю.И.
ОНМА

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СОПРЯЖЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ «ВАЛ-ПОДШИПНИК СКОЛЬЖЕНИЯ»

Рассмотрена модель, предназначенная для оценки повышения показателей надежности сопряжений «вал-подшипник скольжения», наработки на отказ которых описываются пятью наиболее распространенными законами: нормальным, логарифмически нормальным, экспоненциальным, Эрланга и Вейбулла.

Одно из направлений заключается в выявлении влияния надежности деталей, входящих в состав изделия, на надежность всего узла, агрегата, машины. Это позволяет выявить те детали, которые необходимо совершенствовать в первую очередь, выбрать стратегию повышения надежности технического изделия, оценить количественно величину улучшения характеристик надежности сопряжений «вал-подшипник скольжения», и всей конструкции в целом.

Объектом этих исследований является сопряжение, представляющее собой функциональную систему, состоящую из M последовательно соединенных деталей. Отказ любой детали приводит к отказу всего узла в целом. Работоспособность узла восстанавливается путем замены вышедшей из строя i-ой (i = 1, 2, …, M) детали новой. Так как отказ происходит в случайный момент, время жизни детали можно описать с помощью процессов восстановления. При этом считается, что каждая i-я деталь изделия характеризуется наработкой $t_{cp\,ij}$ от (j-1) – го до j- го отказа (j = 1, 2,…Z), распределение которых не противоречит одному из следующих законов: нормальному, экспоненциальному, логарифмически-нормальному, Эрланга и двухпараметрическому закону Вейбулла.

Основными характеристиками процесса восстановления, является ведущая функция потока отказов $\Omega\ (t)$ и параметр потока отказов $\omega\ (t)$. Так как в ходе исследований разработаны методики расчета ведущей функции потока отказа $\Omega\ (t)$ по аналитическим зависимостям [1,2] и методом статистического моделирования [3], то это позволяет анализировать изделия, жизненный цикл которых описывается любым процессом восстановления, в частности, простым, общим и общим нестационарным. С помощью модели также можно рассматривать системы, у которых законы, описывающие наработку до очередной замены, различны.

Целевой функцией математической модели принят минимум суммарных средних удельных затрат $C_{уд}(t)$ на изготовление технического изделия и поддержания его в исправном состоянии:

$$C_{уд}\left(t\right)=\frac{\left(D+1\right)}{t}\sum_{i=1}^{M}C_{дi}\Omega_{i}\left(t\right)+\frac{C_{и}}{t} \tag{1}$$

где M - количество элементов, входящих в изделие; D - коэффициент, учитывающий трудозатраты, расход материалов и потери от простоев при замене деталей изделия; $C_{дi}$ – стоимость i-ой детали; $C_{и}$ – первоначальная стоимость изделия; $\Omega_i\ (t)$- ведущая функция потока отказов i-ой детали.

Кроме минимума суммарных средних удельных затрат $C_{уд\ min}$, в качестве оптимизируемых показателей надежности приняты уровень надежности n, оптимальный ресурс $t_{опт}$, а также наработка изделия на первый отказ $t_{от\ и}$.

Для моделирования повышения показателей надежности имитируется замена детали. Деталь, имеющая наихудшие по сравнению с другими деталями изделия надежностные характеристики, заменяется более надежной, имеющую более высокие значения показателей безотказности и долговечности, а, значит, имеющую другую стоимость.

Для учета повышения ресурса и снижения относительного рассеивания значений наработок деталей и соответственного изменения стоимостных показателей приняты коэффициенты, введенные в работе [1,2]:

- коэффициент увеличения ресурса - ρ, показывает, во сколько раз увеличивается ресурс усовершенствованной детали по отношению к исходной,

$$\rho = t'_{ср\ э}/t_{ср\ э}, \tag{2}$$

где $t'_{ср\ э}$ и $t_{ср\ э}$ – соответственно ресурсы деталей усовершенствованной и исходной;

- коэффициент изменения стоимости детали μ, отражает увеличение стоимости детали в результате ее улучшения,

$\mu = C'_э / C_э ,$ (3)

где $C'_э$ и $C_э$- стоимость детали улучшенной и исходной;

- коэффициент изменения рассеивания ресурса деталей η, показывающий снижение рассеивания ресурса детали изделия при ее усовершенствовании,

$\eta = \nu_э/\nu'_э,$ (4)

где $\nu_э$ и $\nu'_э$ – коэффициент вариации исходной детали и после ее усовершенствования;

- коэффициент пропорциональности k_ρ, отражающий соотношение увеличения стоимости к приращению ресурса детали при ее усовершенствовании;

- коэффициент пропорциональности k_η, отражающий соотношение увеличения стоимости к уменьшению рассеивания ресурса детали при ее усовершенствовании;

- коэффициент $k_и$, отражающий соотношение стоимости изделия к суммарной стоимости деталей

$$k_и = \frac{C_и}{\sum_{i=1}^{M} C_{дi}} \qquad (5)$$

где $C_и$- стоимость изделия; $C_{дi}$ – стоимость i-той детали.

Перечисленные выше коэффициенты являются управляющими параметрами модели. В ходе моделирования им присваиваются различные значения, а затем пересчитываются основные стоимостные и надежностные характеристики детали.

Стоимость усовершенствованного элемента определяется по формуле $C'_д = \mu \cdot C_д,$ (6)

где

$$\mu = 1 + \sqrt{k_\rho^2 (\rho - 1)^2 + k_\eta^2 (\eta - 1)^2} \qquad (7)$$

Стоимость усовершенствованного изделия рассчитывается по зависимости:

$$C_u^{'} = \frac{1}{k_u}\left[(\mu - 1) C_\partial + \sum_{i=1}^{M} C_{\partial i} \right] \tag{8}$$

Корректировка среднего ресурса и коэффициента вариации детали проводятся с помощью коэффициентов, в зависимости от вида теоретического закона распределения, с учетом изменения параметров закона.

В частности, для нормального закона:

$$t^{'} = t \cdot \rho, \tag{9}$$

$$\sigma = \sigma \cdot \rho / \eta. \tag{10}$$

Так как экспоненциальный закон является однопараметрическим и не зависит от коэффициента рассеивания ресурса, параметр $\lambda^{'}$ для новой детали рассчитывается по следующей формуле:

$$\lambda = \lambda / \rho. \tag{11}$$

Для закона Эрланга шаг коэффициента рассеивания ресурса изменяется дискретно так, чтобы порядок закона *m'* улучшенной детали изменялся на целое число. Порядок закона вычисляется по формуле:

$$m^{'} = m \cdot \eta^{2} \tag{12}$$

и округляется до целого значения; параметр закона $\lambda^{'}$ определятся как

$$\lambda = \lambda \cdot \eta^{2} / \rho. \tag{13}$$

Для двухпараметрического закона Вейбулла пересчет параметров проводят поэтапно. Параметр формы зависит только от коэффициента рассеивания ресурса, но связан с коэффициентом вариации с помощью гамма – функции. Поэтому вычисляется, через коэффициент рассеивания ресурса, коэффициент вариации усовершенствованной детали. Затем по полученному значению коэффициента вариации, с помощью таблицы, вычисляется параметр формы и значение гамма – функции для улучшенной детали. Параметр масштаба $\lambda^{'}$ вычисляется по следующей формуле:

$$\lambda' = \sqrt[\frac{1}{\alpha'}]{\frac{\lambda^{\frac{1}{\alpha}}\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)}{\rho\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)}} \qquad (14)$$

где *Г(x)* - гамма – функция Эйлера, α и λ- соответственно параметр формы и масштаба закона распределения ресурса исходной детали; α' и λ'- соответственно параметр формы и масштаба закона распределения ресурса усовершенствованной детали.

Для логарифмически нормального закона, также с начала определяется новое значение параметра σ', так как этот параметр зависит только от изменения коэффициента вариации. Формула для расчета параметра σ' имеет вид:

$$\sigma' = \sqrt{\ln\left[\frac{e^{\sigma^2}-1}{\eta^2}+1\right]} \qquad (15)$$

где σ - параметр рассеивания ресурс логарифмически-нормального закона для исходной детали.

Параметр t' логарифмически-нормальной величины пересчитывается для усовершенствованной детали по формуле:

$$t' = \frac{2\ln\rho + \sigma^2 + 2t - \sigma'^2}{2} \qquad (16)$$

где σ - параметр рассеивания ресурса и t логарифмически-нормального закона для исходной детали; σ' - параметр рассеивания ресурса логарифмически-нормального закона для усовершенствованной детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барлоу Р., Прошан Ф.Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. –М.: Наука, 1984.-328с.
2. Можаев А. С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. Уч. пос. Л.: ВМА, 1988. - 68с.
3. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007 г., 278 с.