

УДК 629.023

Н.Н. Арцыбашева, канд. техн. наук, доц.,
Д.С. Дерешов, магистр,
О.М. Белецкая, магистр,
 Одес. нац. политехн. ун-т

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА РАМЫ ПРИЦЕПА

Н.М. Арцыбашева, Д.С. Дерешов, О.М. Белецкая. **Прогнозування ресурсу рами причепу.** Приведено результати побудування моделі ресурсу рами причепу та вирішення цієї моделі за допомогою програм MATLAB.

N.N. Artsibashseva, D.S. Dereshov, O.M. Beletskaya. **Prognosis of trailer frame resource.** The results of construction of trailer frame resource model and the solution of this model by MATLAB programs are presented.

Прогнозирование ресурса деталей машин и повышение его при одновременном снижении материалоемкости является одной из основных задач при проектировании и изготовлении деталей машин и элементов конструкций. Поэтому при разработке и изготовлении деталей машин очень важно получить математическую модель, при помощи которой можно спрогнозировать ресурс той или иной детали или конструкции.

В теории и практике оценки ресурсов машин получили развитие соответствующие расчетные модели: расчет на допуск, в котором случайный процесс – поле допуска (расчет на допуск), и расчет на усталость, в котором используется гипотеза суммирования повреждений [1, 2].

Для подшипников качения и для широкого класса деталей была предложена так называемая линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений при нерегулярном нагружении [1].

Согласно этой гипотезе усталостное повреждение, выносимое амплитудами напряжений δ_{ai} , составляет долю n_i/N_i от полного, соответствующего появлению усталостной трещины. Здесь N_i — число циклов на кривой усталости детали при регулярном нагружении, соответствующее амплитуде δ_{ai} , n_i — число циклов в единицу времени. Из уравнения кривой усталости следует

$$\delta_a^m N = \delta_{-1}^m N_\delta,$$

где m — показатель степени, характеризующий наклон левой ветви к оси абсцисс и определяемый как

$$m = \frac{\lg(N_G/N)}{\lg(\delta_a/\delta_{-1})}$$

Начиная с середины XX в. во многих странах проводились исследования по проверке линейной гипотезы. Получение однозначного результата затруднено тем, что усталостные долговечности n_i и N_i — случайные величины, которым свойственно большое рассеяние вследствие статистической природы процесса усталостного разрушения.

Практические расчеты на усталостную долговечность элементов механических систем основываются на гипотезе суммирования (накопления) усталостных повреждений, которая позволяет по кривым усталости судить об их ресурсах в соответствующих условиях эксплуатации, представленных в расчетах схематизированными нагрузками [1]. Гипотеза основана на предположении, что повреждение, вызванное циклом напряжений, не зависит от состояния детали в данный момент и от предыдущего процесса нагружения, а просто суммируется с повреждениями, вызванными предыдущими циклами. При непрерывном изменении напряжений, соответствующих эксплуатационным нагрузкам, основная расчетная формула может быть представлена в виде

$$L_C = \frac{N_C}{n_{ц}} = a \left[n_{ц} \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \frac{f(\sigma)}{N(\sigma)} d\sigma \right]^{-1},$$

где L_C — ресурс;

N_C — общее число циклов;

$f(\sigma)$ — плотность распределения амплитуд напряжений;

$N(\sigma)$ — уравнение кривой усталости σ ;

$\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ — напряжения;

$n_{ц}$ — среднее число циклов в единицу времени;

a — величина, зависящая от материала детали и условий нагружения.

Наибольшее число повреждений исследуемой рамы приходится на соединения лонжеронов и поперечин рам прицепов в виде усталостных трещин, поэтому при оценке долговечности рамы использован метод расчета на усталость.

На основании гипотезы суммирования повреждений разработаны методики расчета усталостной долговечности, поэтому рассмотрен метод оценки долговечности рамы на стадии проектирования на основе расчета МКЭ, информации о статистических закономерностях нагружения рамы и свойствах распределения долговечности.

Удовлетворительное согласие с эмпирическими распределениями дает распределение Вейбулла, которое используется при испытаниях на многоцикловую усталость [1, 2],

$$f(\sigma) = ba^{-b}\sigma^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{a}\right)^b\right],$$

где a и b — параметры масштаба и формы, связанные со статистическими характеристиками распределения E и v ;

E — матрица ожидания;

v — коэффициент вариации.

Для аналитического описания кривой усталости наиболее часто используют зависимость

$$N(\sigma) = N_0 \left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma} \right)^m,$$

где N_0 — число циклов в точке перелома кривой выносливости (базовое число циклов);

m — параметр кривой (характеристика генеральной совокупности).

Одна из первых экспериментальных зависимостей для определения показателя степени имеет вид [1]

$$m = 12\delta_{-1k}/\delta_{-1} \approx 34\delta_{-1k}/\delta_b,$$

где δ_{-1k} — предел выносливости образца с концентратором K при симметричном цикле $R = 1$,

$$m = \frac{1}{c_1 + c_2 \lg(K_\delta)} \approx \frac{1}{c_1 + c_2 \lg(0,35\delta_b/\delta_{-1k})},$$

в которой для малоуглеродистых сталей следует принимать $c_1 = 0,143$, $c_2 = 0,233$, а для низколегированных — $c_1 = 0,163$, $c_2 = 0,289$.

На основании экспериментальных данных предложено определять значение m из условия прохождения всех усталостных кривых через общую точку $N_1 = 1000$ циклов, $\delta_1 = \delta_b$, что выражается зависимостью [1]

$$m = \frac{\lg 2 \cdot 10^6 - \lg 1000}{\lg \delta_b - \lg \delta_{RK}} = \frac{3,3}{\lg \delta_b - \lg \delta_{RK}},$$

где δ_{RK} — предел неограниченной выносливости (горизонтальный участок усталостной кривой).

Результаты базовых испытаний на усталость записывают в виде регрессионных зависимостей между характерным напряжением в цикле σ (амплитудой, размахом или максимальным напряжением цикла) и числом циклов N до видимого повреждения образца. Предельное напряжение σ при базе испытаний N_0 является случайной величиной, характеризующей разброс пределов выносливости и долговечности.

Получим расчетное значение для ресурса рамы

$$L_C = an_u \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{\max}} \frac{ba^{-b}\sigma^{b-1} \exp[-(\sigma/a)^b]}{N_0(\sigma_{-1}/\sigma)^m} d\sigma.$$

Для решения предложенного уравнения модели была использована среда программирования MATLAB, которая представляет собой пакет универсальных интегрированных программ.

Прежде всего были заданы исходные данные, а затем закодировано в MATLABе выражение (9). Из анализа полигонных испытаний рамы установлено значение $\sigma_{\max} = 180$ МПа. Так как рама прицепа изготовлена из стали 20, то значение N_0 взято с кривой усталости стали 20 и соответствует $2 \cdot 10^6$ циклов, а предел текучести $\sigma_{-1} = 220$ МПа. Согласно европейским нормам для всех сварных узлов $m = 3,0$ [4].

Значения b и a были приняты на основании статистических данных [3]

$$b = V^{-1,079},$$

$$a = \frac{E}{0,55V^2 - 0,57V + 1,02},$$

где E — математическое ожидание;

V — коэффициент вариации распределения амплитуд полных циклов.

В MATLABе выражение (9) приняло вид:

```
nu=0.3;E=140.0;b=nu^(-1.079);a=E/(0.55*nu^2-0.57*nu+1.02);m=3.0;
N=2e+0.06;cmin=0.001;cmax=180.0;T=220.0;nc=1.0;
x=cmin:0.0001:cmax;
y=nc.*b.*a.^(-b)*x.^(b-1).*exp(-(x./a).^b)./(N.*(T./x).^m);
D=trapz(x,y).
```

Получено, что прогнозируемое число ресурса прицепа $L_{C_M} = 0,333 \cdot 10^6$. Число соответствует экспериментальным данным НАТИ [3], которое равно $L_{C_3} = 0,3 \cdot 10^6$. Видно, что теоретическое и экспериментальное значения ресурса отличаются на 10 %, что говорит об адекватности предложенной модели.

Таким образом, на основании распределения Вейбулла и степенного уравнения кривой усталости предложена модель оценки долговечности рамы прицепа. Используя параметры кривой усталости стали 20 и результаты полигонных испытаний прицепа, с помощью пакета программ MATLAB решена модель, в результате чего получено значение прогнозируемого ресурса рамы.

Литература.

1. Лукинский В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / Лукинский В.С., Зайцев Е.И. — Л.: Политехника, 1991. — 240с.
2. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1984. — 312с.
3. Панкратов Н.М. Ускорение испытаний мобильных машин и их элементов / Панкратов Н.М., Боровский Н.Д. — Одесса.: Черноморье, 1998. — 198с.

4. Мотовилин Г.В. Автомобильные материалы: Справ. — М.: Транспорт, 1989.

Поступила в редакцию 3 июля 2007 г.
