

УДК 621.81.001.57

И.И. Иванкин

Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования лесного комплекса Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.



РАСЧЕТ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ С УЧЕТОМ РАССЕЯНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ GPSS

Установлено, что с помощью системы имитационного моделирования GPSS можно исследовать влияние рассеяния значений параметров деталей и узлов на их надежность, выбрать коэффициент запаса прочности исходя из требуемого уровня надежности и разработать мероприятия по ее повышению.

Ключевые слова: надежность, моделирование, прочность, вероятность безотказной работы.

Параметры внешнего воздействия (силы, температура и т.д.) и внутренние параметры (механические свойства, отступления в геометрических размерах и т.д.) механических систем не выдерживаются точно. Всегда имеется вероятность их отклонения от номинальных значений. Если рассматривать перечисленные отступления как случайные, меняющиеся в известных пределах, то можно предсказать вероятность выхода конструкции из строя. Если эта вероятность равна нулю или достаточно мала, то можно считать, что конструкция надежна [4].

Цель данной работы – показать возможность применения системы имитационного моделирования GPSS (General Purpose Simulation System) для расчета деталей и узлов с учетом рассеяния значений параметров.

Отметим, что для применения методов теории вероятностей необходимым условием является возможность многократного осуществления случайного события в практически однородных условиях. Только при массовых событиях имеет смысл применять вероятностные методы исследования [3].

Для вероятностных расчетов требуется определить рассеяние функции по рассеянию случайных аргументов, т. е. основного рассчитываемого параметра.

Для обеспечения прочности в технике широко используют то условие, что величина воздействия F меньше способности сопротивлению W . Оно характеризуется коэффициентом безопасности (коэффициентом запаса прочности):

$$n = W / F > 1. \quad (1)$$

При переходе на вероятностный аспект соответственно будем иметь $F < W$ с заданной вероятностью неразрушения P .

При 50 %-й вероятности неразрушения

$$\bar{W} - \bar{F} = 0, \quad (2)$$

где \bar{F} и \bar{W} – средние значения воздействия и способности сопротивления.

При заданной P способность сопротивления \bar{W} должна быть больше \bar{F} на величину, равную стандартному отклонению, умноженному на квантиль распределения u_p :

$$\bar{W} - \bar{F} + u_p S = 0, \quad (3)$$

где $S = \sqrt{S_W^2 + S_F^2}$;

S_W, S_F – стандартные отклонения способности сопротивления и воздействия.

При $P > 50\%$ имеем $u_p < 0$.

В процессе конструирования машин обычно проводят предварительный приближенный расчет или используют подобие, а потом – основной уточненный расчет в форме проверочного. Для этого определяют квантиль распределения

$$u_p = -\frac{\bar{W} - \bar{F}}{S} = -\frac{\bar{W} - \bar{F}}{\sqrt{S_W^2 + S_F^2}}. \quad (4)$$

Имея u_p , с помощью специальной таблицы нормального распределения находят вероятность безотказной работы.

Таким образом, квантиль можно рассматривать как аналог коэффициента запаса прочности, характеризующий не отношение способности сопротивления к воздействию, а их разность. Эту разность необходимо задавать в относительной форме, поэтому в расчетах ее используют в отношении к стандартному отклонению S .

Приведенная выше методика расчета деталей и узлов с учетом рассеяния значений параметров описана в литературе [1, 2]. С ее помощью можно выбирать коэффициент запаса прочности не по критерию подобия, а по требуемому уровню надежности с учетом вероятности отказа конструкции. Кроме того, она позволяет учесть влияние на надежность деталей и узлов рассеяния входящих в расчетные формулы параметров. Однако применение данной методики ограничено из-за сложности выполнения расчетов.

Систему GPSS широко используют для моделирования поведения дискретных систем, ее изучают в программе курса «Моделирование» многих российских вузов, в том числе и АГТУ. В настоящее время существует несколько вариантов системы GPSS, наиболее известные из них: GPSS/PC и GPSS World. Последняя разработана фирмой «Minuteman Software» для семейства операционных систем Microsoft Windows. Ее бесплатную версию

GPSS World Student Version можно скачать с сайта разработчика www.minutemansoftware.com.

Приведем пример расчета. Пусть требуется определить вероятность неразрушения стержня, работающего на растяжение. Материал сталь 45; термообработка – закалка плюс отпуск при температуре 500 °С; предел текучести $\sigma_T = (685 \pm 120)$ МПа. Растягивающая сила $F = (100 \pm 20)$ кН. Диаметр стержня должен быть выполнен с допуском $h14$.

Пример традиционного расчета с учетом рассеяния значений параметров

Определяем номинальный диаметр стержня d при коэффициенте запаса прочности $n = 1,2$:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi \frac{\sigma_{\delta}}{n}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100000}{3,1416 \cdot \frac{685}{1,2}}} = 15 \text{ мм.}$$

Рассчитываем стандартное отклонение предела текучести:

$$S_{\sigma_{\delta}} = \frac{\sigma_{\delta_{\max}} - \sigma_{\delta_{\min}}}{6} = \frac{805 - 565}{6} = 40 \text{ МПа.}$$

Находим стандартное отклонение растягивающей силы:

$$S_F = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{6} = \frac{120 - 80}{6} = 6,7 \text{ кН.}$$

Определяем стандартное отклонение площади поперечного сечения стержня (при допуске $h14$ диаметр стержня $d = 15_{-0,43}$):

$$S_A = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{6} = \frac{\pi(d_{\max}^2 - d_{\min}^2)}{4 \cdot 6} = \frac{3,1416(15,00^2 - 14,57^2)}{24} = 1,66 \text{ мм}^2.$$

Рассчитываем средние значения площади поперечного сечения стержня \bar{A} и растягивающих напряжений $\bar{\sigma}_p$:

$$\bar{A} = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2} = \frac{\pi(d_{\max}^2 + d_{\min}^2)}{4 \cdot 2} = \frac{3,1416(15,00^2 + 14,57^2)}{8} = 172 \text{ мм}^2;$$

$$\bar{\sigma}_p = \frac{F}{A} = \frac{100 \text{ 000}}{172} = 581 \text{ МПа.}$$

Находим стандартное отклонение напряжений растяжения:

$$S_{\sigma_p} = \bar{\sigma}_p \sqrt{\left(\frac{S_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{S_F}{F}\right)^2} = 581 \sqrt{\left(\frac{1,66}{172}\right)^2 + \left(\frac{6,70}{100}\right)^2} = 39 \text{ МПа.}$$

После подстановки S_{σ_p} в формулу (4) получаем

$$u_p = -\frac{\bar{\sigma}_d - \bar{\sigma}_p}{\sqrt{S_{\sigma_d}^2 + S_{\sigma_p}^2}} = -\frac{685 - 581}{\sqrt{40^2 + 39^2}} = -1,862,$$

что соответствует вероятности неразрушения $P = 0,9687$.

Пример с использованием системы GPSS World

SrSigmaT EQU 685; Среднее значение предела текучести, МПа
StandSigmaT EQU 40; Стандартное отклонение предела текучести, МПа
SigmaT VARIABLE Normal(1,SrSigmaT,StandSigmaT); Величина предела текучести, МПа

SrForce EQU 100000; Среднее значение растягивающей силы, Н
StandForce EQU 6700; Стандартное отклонение растягивающей силы, Н
Force VARIABLE Normal(2,SrForce,StandForce); Величина растягивающей силы, Н

SrDiam EQU 14.785; Среднее значение диаметра стержня, мм
StandDiam EQU 0.07; Стандартное отклонение диаметра стержня, мм
Diam VARIABLE Normal(3,SrDiam,StandDiam); Значение диаметра стержня, мм

Pi EQU 3.1416; Число Пи

Square VARIABLE Pi#V\$Diam^2/4; Площадь стержня, кв.мм
Sigma VARIABLE V\$Force/V\$Square; Действующее напряжение в стержне, МПа

GENERATE 1; Генерация стержня
Test L V\$Sigma,V\$SigmaT,Failure; Если действующие напряжения больше или

; равны пределу текучести, то поломка

SAVEVALUE 1+,1; Количество исправных стержней

TERMINATE 1; Удаление стержня из модели

Failure SAVEVALUE 2+,1; Количество сломанных стержней

TERMINATE 1; Удаление стержня из модели

Результаты расчета 100 000 стержней

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
1	0	96679.000
2	0	3321.000

Количество исправных стержней 96679 из 100 000, что соответствует вероятности неразрушения $P = 0,9668$.

Из приведенного примера видно, что результаты расчета с помощью системы GPSS World хорошо согласуются с данными, полученными по традиционной методике.

Следовательно, используя систему имитационного моделирования, можно исследовать влияние на надежность деталей и узлов величин рассеяния параметров; выбрать коэффициент запаса прочности исходя из требуемого уровня надежности; разработать мероприятия по повышению надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Решетов Д.Н.* Детали машин: Учебник для студентов машиностроит. и механ. специальностей вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
2. *Решетов Д.Н.* Работоспособность и надежность деталей машин: Учеб. пособие для машиностроит. специальностей вузов. – М.: Высш. шк., 1974. – 206 с.
3. *Светлицкий В.А.* Случайные колебания механических систем. – М.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
4. *Феодосьев В.И.* Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов. – М.: Наука, 1975. – 173 с.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 14.11.02

I.I. Ivankin

Calculation of Details and Blocks Taking into Account Dispersion of Parameters' Values Using GPSS Simulation Technique System

It was found out that with the help of GPSS simulation technique systems it is possible to study the influence of values dispersion of details and blocks parameters on their reliability, choose the load factor based on the required reliability level of and develop measures for its growth.
