ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

№ 1 ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ 1995

УДК 630*362.001.2

В. И. КУЧЕРЯВЫЙ

Кучерявый Василий Иванович родился в 1953 г., окончил в 1977 г. Ленинградскую лесотехническую академию, в 1991 г. Ленинградский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов Ухтинского индустриального института. Имеет 36 печатных работ в области разработки новых методов расчета прочности и прогнозирования надежности лесозаготовительных машин (ЛЗМ), вероятностного проектирования и статистической динамики конструкций ЛЗМ, моделирования на ПЭВМ ресурса деталей и прогнозирования их потребности.

ВЕРОЯТНОСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЛЕСНЫХ МАШИН ПРИ ИЗГИБЕ С КРУЧЕНИЕМ

Приведена методика подбора поперечных сечений деталей лесных машин при изгибе с кручением по заданному уровню надежности. Решение получено для случая, когда предел прочности детали, изгибающий и крутящий моменты нормально распределены.

Selection methods of forestry machines parts' cross sections at bending with torsion on a given reliability standard are presented. A solution is made for the case of normal distribution of the part's strength limit, bending and torsion moments.

В области расчетов деталей лесных машин (ЛМ) наименее исследованными являются вопросы вероятностного проектирования. Существующие детерминированные методы не являются удовлетворительными с точки зрения анализа надежности. Поэтому необходима методика, которая учитывала бы вероятностный характер эксплуатационных нагрузок, параметров прочности и размеров деталей. В качестве параметра надежности принята вероятность неразрушения детали R.

Цель статьи — проиллюстрировать подбор размеров поперечных сечений деталей ЛМ по заданной величине R.

Наиболее распространенным видом нагружения деталей ЛМ является изгиб с кручением. Рассмотрим элемент кругового поперечного сечения диаметром d, в опасном сечении которого возникает изгибающий M_1 и крутящий M_2 моменты. Эквивалентное напряжение σ в критической точке сечения определяется по известной детерминированной формуле (четвертая гипотеза прочности)

$$\sigma = 32\sqrt{M_1^2 + 0{,}75M_2^2}/(\pi d^3). \qquad (1)$$

Допускаем, что в (1) величины M_1, M_2, d случайные и нормально распределены. Известны их математические ожидания (МО) $\overline{M}_1$, $\overline{M}_2$, $\overline{d}$ и средние квадратичные отклонения (СКО) S_1, S_2, S_3 соответственно. Отсюда следует, что σ — функция трех случайных аргументов. Для нахождения математического ожидания и дисперсии применим к формуле (1) метод линеаризации [1], считая, что отсутствует корреляция между случайными аргументами

$$\bar{\sigma} = 32\sqrt{\bar{M}_1^2 + 0{,}75\bar{M}_2^2}/(\pi\bar{d}^3); \qquad (2)$$

$$S_\sigma^2 = (\partial\bar{\sigma}/\partial\bar{M}_1)^2 S_1^2 + (\partial\bar{\sigma}/\partial\bar{M}_2)^2 S_2^2 + (\partial\bar{\sigma}/\partial\bar{d})^2 S_3^2. \qquad (3)$$

В формуле (3) дисперсию диаметра представим в виде: $S_3^2 = (\alpha/3)^2\,\bar{d}^2$, где α — значение допуска на диаметр в относительных единицах.

Если случайные переменные — предел прочности и напряжение в опасной точке сечения детали — статистически независимы и нормально распределены, то вероятность неразрушения определяется по формуле [1]

$$R = \Phi[z]; \quad z = (\bar{\sigma}_0 - \bar{\sigma})/(S_0^2 + S_\sigma^2), \qquad (4)$$

где $\Phi[\ldots]$ — интеграл вероятностей;
z — аргумент интеграла вероятностей;
$\bar{\sigma}_0$ и S_0^2 — математическое ожидание и дисперсия предела прочности материала детали.

Формула (4) ранее использовалась в работах Стрелецкого, Болотина, Ржаницына.

Применим к (2) преобразование (3), и выражения для $\bar{\sigma}$ и S^σ подставим в (4). Разрешив полученное уравнение относительно $\bar{d}$, после преобразований получим

$$k_1\bar{d}^6 - k_2\bar{d}^3 + k_3 = 0. \qquad (5)$$

Коэффициенты k_1, k_2, k_3 определяются по формулам

$$k_1 = \pi^2\left[\bar{\sigma}_0^2 - (zS_0)^2\right]; \qquad (6)$$

$$k_2 = 64\pi\sqrt{\bar{M}_1^2 + 0{,}75\bar{M}_2^2}\,\bar{\sigma}_0; \qquad (7)$$

$$k_3 = 1024\left(\bar{M}_1^2 + 0{,}75\bar{M}_2^2 - z^2\beta\right), \qquad (8)$$

где

$$\beta = \left[(\bar{M}_1 S_1)^2 + 0{,}56(\bar{M}_2 S_2)^2 + \left(\bar{M}_1^2 + 0{,}75\bar{M}_2^2\right)\alpha^2\right]/\left(\bar{M}_1^2 + 0{,}75\bar{M}_2^2\right). \qquad (9)$$

Выполним численный пример. Требуется подобрать диаметр пильного вала по заданной вероятности неразрушения $R = 0{,}95$, который соответствует $z = 1{,}96$. Заданы МО и СКО предела прочности материала: $\bar{\sigma}_0 = 320$ МПа, $S_0 = 18$ МПа; МО и СКО изгибающего и крутящего моментов в опасном сечении вала: $\bar{M}_1 = 7\cdot 10^{-3}$ МН · м; $S_1 = 1{,}05\times\times 10^{-3}$ МН · м; $\bar{M}_2 = 3\cdot 10^{-3}$ МН · м; $S_2 = 0{,}45\cdot 10^{-3}$ МН · м; допуск $\alpha = 0{,}02$.

После вычисления коэффициентов по (6) — (9) уравнение (5) примет вид

$$1\,265\,532\bar{d}^6 - 540{,}2\bar{d}^3 + 0{,}0531 = 0.$$

Решая это уравнение, находим, что заданная вероятность неразрушения пильного вала, равная 0,95, обеспечивается при $\bar{d}_1 = 0{,}065$ м. Второй корень $\bar{d}_2 = 0{,}054$ м приводит к вероятности отказа, равной 0,05.

При полученном значении $\bar{d}_1$ можно исследовать чувствительность надежности пильного вала к изменчивости прочности, изгибающего и крутящего моментов, а также допуска на размеры. Рассмотренная методика вероятностного проектирования реализована на ПЭВМ и может быть использована для других видов нагружения деталей ЛМ и форм поперечных сечений.