ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

№ 2 ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ 1985

УДК 630*36-2 : 62-192

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПО КРИТЕРИЮ ПРОЧНОСТИ

В. И. КУЧЕРЯВЫЙ

Ухтинский индустриальный институт

Один из эффективных способов повышения технического уровня и надежности лесозаготовительных машин — разработка вероятностных методов расчета прочности их деталей.

Любая лесозаготовительная машина представляет собой сложную механическую систему, надежность элементов которой гарантируется расчетами на прочность.

Условие прочности элемента в напряжениях имеет вид [4]

$$\sigma < \sigma_{\text{н}}, \tag{1}$$

где σ — расчетное (действующее) напряжение;
$\sigma_{\text{н}}$ — предельное напряжение.

В существующих методах расчета элементов машин вопрос о степени уменьшения расчетного напряжения по отношению к предельному решается введением коэффициента запаса прочности n.

Опыт конструирования и эксплуатации машин показывает, что уменьшение предельного напряжения в n раз не дает стопроцентной гарантии неразрушимости детали. Даже при значительном коэффициенте запаса всегда остается определенная вероятность разрушения детали.

Для определения вероятности разрушения необходимо построить кривую распределения функции прочности

$$D \geqslant \sigma_{\text{н}} - \sigma. \tag{2}$$

При нормальном распределении $\sigma_{\text{н}}$ и σ кривая D будет также нормальной. Положительные значения функции прочности D соответствуют безопасным случаям нагружения, а отрицательные — случаям разрушения элемента или возникновению необратимых деформаций.

Для общего случая нагружения вероятность неразрушения элемента представим в виде композиции нормальных распределений $\sigma_{\text{н}}$ и σ, в соответствии с (2):

$$R = P(D > 0) = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi\left(S^2_{\sigma_{\text{н}}} + S^2_{\sigma}\right)}} \exp\left[-\frac{D - (m_{\sigma_{\text{н}}} - m_{\sigma})^2}{2\left(S^2_{\sigma_{\text{н}}} + S^2_{\sigma}\right)}\right]. \tag{3}$$

Интеграл (3) выражается через стандартную функцию Лапласа Φ [1, 3]

$$R = \Phi\left(\frac{m_{\sigma_{\text{н}}} - m_{\sigma}}{\sqrt{S^2_{\sigma_{\text{н}}} + S^2_{\sigma}}}\right), \tag{4}$$

где $m_{\sigma_{\text{н}}}$, m_{σ}, $S_{\sigma_{\text{н}}}$, S_{σ} — математические ожидания и средние квадратичные отклонения предела прочности и расчетного напряжения;
Φ — стандартная функция Лапласа.

Большинство элементов лесозаготовительных машин подвержены действию случайных сил и находятся в условиях различных видов нагружения: растяжения — сжатия, кручения, изгиба, изгиба с кручением. Определим вероятность безотказной работы для указанных видов нагружения.

Рассмотрим растяжение — сжатие элементов, имеющих поперечное сечение в виде круга. Расчетные напряжения в детерминированном виде в опасном сечении элемента определяются по формуле [4]

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{4N}{\pi d^2}, \tag{5}$$

где N — продольное усилие;

A — площадь поперечного сечения;
d — диаметр поперечного сечения.

Математическое ожидание расчетного напряжения m_σ и дисперсии S_σ^2 найдем по приближенным формулам теории вероятностей в предположении некоррелированности аргументов, от которых зависит напряжение в (5), в соответствии с [1, 2]:

$$m_\sigma = \frac{4}{\pi}\,\frac{m_N}{m_d^2};\quad S_\sigma^2 = \left[\frac{\partial\sigma}{\partial N}\right]^2 S_N^2 + \left[\frac{\partial\sigma}{\partial d}\right]^2 S_d^2. \tag{6}$$

Определив S_σ^2 по формуле (6) и подставив m_σ и S_σ^2 в (4), получим окончательное выражение для R при растяжении — сжатии:

$$R_{\text{р.с}} = \Phi\left(\frac{m_{\sigma_\text{н}} - \frac{4}{\pi}\frac{m_N}{m_d^2}k_\text{д}}{\sqrt{S_{\sigma_\text{н}}^2 + \frac{16}{\pi^2}\left[\frac{S_N^2}{m_d^4} + \frac{2(m_N S_d)^2}{m_d^6}\right]}}\right), \tag{7}$$

где m_N, m_d, S_N, S_d — математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение продольного усилия и диаметра;
$k_\text{д}$ — коэффициент динамичности.

Аналогичным образом получены выражения R и для других видов нагружения.

Для кручения

$$R_\text{кр} = \Phi\left(\frac{m_{\tau_\text{н}} - \frac{16\,m_\text{м.к}}{\pi m_d^3}k_\text{д}}{\sqrt{S_{\tau_\text{н}}^2 + \left(\frac{16}{\pi}\right)^2\left[\frac{S_\text{м.к}^2}{m_d^6} + \frac{9(m_\text{м.к}S_d)^2}{m_d^2}\right]}}\right), \tag{8}$$

где $m_{\tau_\text{н}}$, $m_\text{м.к}$, $S_{\tau_\text{н}}$, $S_\text{м.к}$ — математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение предела прочности при кручении и крутящего момента.

Для изгиба

$$R_\text{и} = \Phi\left(\frac{m_{\sigma_\text{н}} - \frac{32 m_N}{\pi m_d^3}k_\text{д}}{\sqrt{S_{\sigma_\text{н}}^2 + \left(\frac{32}{\pi}\right)^2\left[\frac{S_\text{м}^2}{m_d^6} + \frac{9(m_\text{м}S_d)^2}{m_d^8}\right]}}\right), \tag{9}$$

где $m_\text{м}$, $S_\text{м}$ — математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение изгибающего момента.

Для изгиба с кручением (комбинированное нагружение)

$$R_\text{к} = \Phi\left(\frac{m_{\sigma_\text{н}} - \frac{32}{\pi m_d^3}\sqrt{m_\text{м.и}^2 + m_\text{м.к}^2}\,k_\text{д}}{\sqrt{S_{\sigma_\text{н}}^2 + \left(\frac{32}{\pi}\right)^2 \frac{1}{m_d^6(m_\text{м.и} + m_\text{м.к})^2}\left[(m_\text{м.и}S_\text{м.и})^2 + (m_\text{м.к}S_\text{м.к})^2 + \frac{[(m_\text{м.к} + m_\text{м.и})\cdot 3S_d]^2}{m_d^8}\right]}}\right), \tag{10}$$

где $m_\text{м.и}$, $m_\text{м.к}$, $S_\text{м.и}$, $S_\text{м.к}$ — математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение изгибающего и крутящего моментов.

При форме поперечного сечения, отличного от круга, выражения (7)—(10) различаются рядом постоянных коэффициентов. В соответствии с алгоритмами (7)—(10) составлены программы на языке ФОРТРАН-IV, реализация которых выполнена на ЭВМ ЕС-1033. Так, для оси блока сучкорезной машины ЛП-30Б в результате расчета на ЭВМ получено значение вероятности неразрушения $R = 0{,}99894231$, при следующей информации о расчетных параметрах: математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение предела прочности $m_{\sigma_\text{н}} = 300$ МПа, $S_{\sigma_\text{н}} = 84$ МПа; для изгибающего и крутящего моментов $m_\text{м.и} = 125\cdot 10^{-6}$ МН·м; $m_\text{м.к} = 110\cdot 10^{-6}$ МН·м, $S_\text{м.и} = 35\cdot 10^{-6}$ МН·м, $S_\text{м.к} = 30{,}8\cdot 10^{-6}$ МН·м; для диаметра $m_d = 2\cdot 10^{-2}$ м, $S_d = 5{,}6\cdot 10^{-4}$ м. При этом коэффициент запаса прочности $n = 1{,}2$.

При увеличении средних квадратичных отклонений расчетных параметров на 20 % значение R уменьшилось до 0,98913472 при одном и том же коэффициенте запаса прочности.

Следует отметить, что при расчете R на ЭВМ серии ЕС по формулам (7)—(10) отпадает необходимость пользоваться таблицами для определения стандартного интеграла Лапласа Φ, что существенно повышает точность и объемы вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Вентцель Е. С. Теория вероятностей.— М.: Наука, 1969.— 257 с. [2]. Егоров В. И. Прогнозирование надежности и долговечности лесозаготовительного оборудования.— М.: Лесн. пром-сть, 1976.— 112 с. [3]. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем: Пер. с англ.— М.: Мир, 1980.— 604 с. [4]. Федосеев В. И. Сопротивление материалов.— М.: Наука, 1979.— 559 с.

УДК 630*848

О ПОЛНОДРЕВЕСНОСТИ ШТАБЕЛЯ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ, ОГРАНИЧЕННЫХ ЖЕСТКИМИ ОПОРАМИ

В. С. ХОЛЯВИН

Кировское областное правление НТО лесной промышленности
и лесного хозяйства

Для совершенствования геометрического метода определения объема лесоматериалов, погруженных в вагоны нормальной колеи, необходимо установить влияние различных факторов на коэффициент полнодревесности штабеля лесоматериалов [2, 3, 5]. Рассмотрим некоторые предпосылки определения коэффициента полнодревесности аналитическим путем, приняв следующие допущения: в штабеле находятся лесоматериалы одного диаметра и длины, уложенные параллельно друг другу с послойным чередованием комлей и вершин; все бревна штабеля представляют собой усеченные конусы; толщина коры неизменна по длине бревна.

Для определения коэффициента полнодревесности рассмотрим структуру штабеля лесоматериалов, ограниченных жесткими опорами. На рис. 1 приведены возможные схемы с максимальной и минимальной плотностью укладки лесоматериалов.

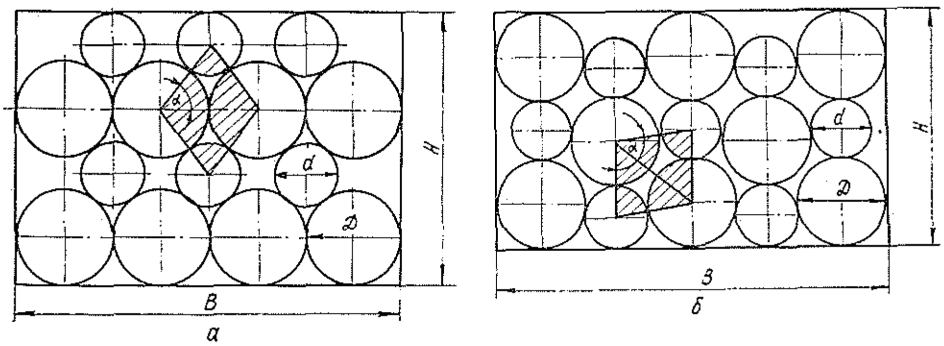

Рис. 1. Возможные схемы укладки бревен штабеля лесоматериалов.

а — с максимальной плотностью; *б* — с минимальной плотностью.

Объем частей сечений бревен, лежащих внутри ромба, равен объему одного бревна [6]:

$$V = AdDl; \tag{1}$$

где d — диаметр бревна в верхнем отрезе, м;

A — коэффициент приведения, зависящий от диаметра и длины бревна;

D — диаметр бревна в нижнем отрезе, м;

l — номинальная длина бревна, м.