

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630\*375.12 : 62-192

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ  
КАНАТОВ ПОДВЕСНЫХ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК

Н. М. БЕЛАЯ, Н. Г. АДАМОВСКИЙ, Э. Н. МАТВЕЕВ

Львовский лесотехнический институт

Совершенствование методов расчета и проектирования конструкций и сооружений в целях снижения их материалоемкости и стоимости при одновременном обеспечении надежности и долговечности — один из важных составных элементов научно-технического прогресса отрасли.

Оценка надежности канатной оснастки подвесных лесотранспортных установок (ПКУ) определяется условием обеспечения требуемого запаса прочности, обуславливающего соответствующую долговечность подвесной системы [2]:

$$n_k = \frac{T_p}{T_{mp}}, \quad (1)$$

где  $T_p$  — разрывное усилие целого каната;

$T_{mp}$  — наибольшее (расчетное) натяжение каната.

Запас по несущей способности канатов назначается с учетом фактического перераспределения напряжений, возникающих между отдельными проволоками при нагрузках, близких к разрушающим; прочность канатов при растяжении обеспечивается условием (1). Недостатком такого метода расчета канатов является его детерминированный характер, так как такой подход к решению задачи не отражает должным образом явления неизбежного рассеивания максимальных напряжений в процессе нагружения каната. Этот недостаток можно частично устранить определением статистических запасов прочности или построением статистических моделей надежности, т. е. определением вероятности разрушения канатов [3, 4].

Для расширения существующих представлений о степени надежности авторами предпринята попытка разработать вероятностный метод оценки надежности канатов подвесных установок.

Для определения вероятности разрушения канатов необходимо построить кривую распределения функции их прочности [4]

$$\zeta \geq \sigma_u - \sigma, \quad (2)$$

где  $\sigma_u$  — предельное напряжение материала проволок;

$\sigma$  — действующее напряжение.

Канаты подвесных лесотранспортных установок выбраковывают по причинам естественного износа по числу оборванных проволок на пряди или на шаге свивки и в результате их механического повреждения.

В теории надежности для описания отказов, вызванных износом деталей, применяется закон нормального распределения [4]. На основании этого закона, а также выводов, полученных в работе [1], можно допустить, что величины  $\sigma_u$  и  $\sigma$  имеют нормальное распределение, следовательно, и кривая  $\zeta$  будет также нормальной. Тогда вероятность разрушения канатов равна вероятности условия  $\zeta < 0$ . Вероятность же проч-

ности каната можно представить в виде композиции нормальных распределений  $\sigma_u$  и  $\sigma$  [7], в соответствии с (2),

$$R = P(\zeta > 0) = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi(S_{\sigma_u}^2 + S_{\sigma}^2)}} \exp\left[-\frac{\zeta - (m_{\sigma_u} + m_{\sigma})^2}{2(S_{\sigma_u}^2 + S_{\sigma}^2)}\right] d\zeta. \quad (3)$$

Интеграл (3) выражается через функцию Лапласа [4]:

$$R = \Phi\left(\frac{m_{\sigma_u} + m_{\sigma}}{\sqrt{S_{\sigma_u}^2 + S_{\sigma}^2}}\right), \quad (4)$$

где  $S_{\sigma_u}$ ,  $S_{\sigma}$ ,  $m_{\sigma_u}$ ,  $m_{\sigma}$  — соответственно средние квадратичные отклонения и математические ожидания предельного и действующего напряжений;

$\Phi$  — стандартная функция Лапласа.

Нарушение работоспособности подвесных установок может быть вызвано повреждением элементов канатной оснастки, в которой под действием внешних сил возникают в основном напряжения растяжения и изгиба.

Рассмотрим процесс растяжения каната с поперечным сечением в виде круга.

Растягивающее напряжение в опасном сечении каната

$$\sigma = \frac{4N}{\pi d_k^2}, \quad (5)$$

где  $N$  — продольное усилие, возникающее в канате;

$d_k$  — диаметр поперечного сечения каната.

Математическое ожидание действующего напряжения  $m_{\sigma}$  и дисперсии  $S_{\sigma}^2$  по приближенным формулам теории вероятностей в предположении некоррелированности аргументов, от которых зависит напряжение при растяжении, определяется в соответствии с [5]:

$$\left. \begin{aligned} m_{\sigma} &= \frac{4}{\pi} \frac{m_N}{m_d^2}; \\ S_{\sigma}^2 &= \left[\frac{\partial \sigma}{\partial N}\right]^2 S_N^2 + \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d}\right]^2 S_d^2. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Подставив  $m_{\sigma_u}$  и  $S_{\sigma}^2$  в (4), получим выражение для определения вероятности прочности каната при растяжении:

$$R_N = \Phi\left(\frac{m_{\sigma_u} - \frac{4}{\pi} \frac{m_N}{m_d^2} k_d}{\sqrt{S_{\sigma_u}^2 + \frac{16}{\pi^2} \left[\frac{S_N^2}{m_d^4} + \frac{2(m_N S_d)^2}{m_d^6}\right]}}\right), \quad (7)$$

где  $m_N$ ,  $m_d$ ,  $S_N$ ,  $S_d$  — математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение осевого усилия и диаметра каната;

$k_d$  — коэффициент динамичности.

Для несущих канатов подвесных установок динамические нагрузки при прицепке грузов к каретке и при максимальной скорости их спуска составляют 8...10% от максимального усилия, т. е. практически не превышают обычных колебаний усилий в канатах в процессе транспортирования грузов одной массы. Следовательно, для несущих канатов можно принять  $k_d = 1,08 \dots 1,1$  [2].

Для тяговых канатов (незамкнутого контура) коэффициент динамичности при подъеме груза

$$k_d = 1 + \frac{v}{g} \sqrt{\frac{A_{np}}{ml_0}}, \quad (8)$$

где  $v$  — линейная скорость навивки каната на барабан лебедки;

$g$  — ускорение свободного падения;

$m$  — масса груза;

$l_0$  — длина каната в момент отрыва груза от земли.

По методике В. К. Качурина [6] величину  $l_0$  можно определить как

$$l_0 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{a_i}{\cos \gamma_i} + \frac{q_k^2 a_i^3}{24F_k^2 \cos \gamma_i} \right) + \xi h, \quad (9)$$

где  $a_i$ ,  $\gamma_i$  — соответственно горизонтальная проекция и угол наклона хорды  $i$ -того участка грузоподъемного каната;

$n$  — число участков грузоподъемного каната, равное числу направляющих блоков;

$q_k$  — погонный вес грузоподъемного каната;

$h$  — высота подъема груза;

$F_k$  — натяжение каната в момент отрыва груза от опоры:

$$F_k = \frac{mg}{\xi \eta_n};$$

$\xi$ ,  $\eta_n$  — соответственно кратность и коэффициент полезного действия полиспаста каретки.

Условную приведенную продольную жесткость канатной системы при подъеме груза вычисляют по формуле

$$A_{np} = \frac{E_k A}{1 + \frac{\lambda E_k A}{l_0}}, \quad (10)$$

где  $E_k A$  — продольная жесткость грузоподъемного каната как агрегата.

Для установок с замкнутым канатом

$$\lambda = \frac{\lambda_1}{\xi} (\xi + \sin \gamma_1 + \sin \gamma_2) + \frac{q_k \xi^3 \eta_n^3}{12m^3 g^3} \sum_{i=1}^n \frac{a_i^3}{\cos \gamma_i} + \lambda_n + \sum_{i=1}^n \lambda_{\delta_i},$$

где  $\lambda$  — приведенная податливость канатной системы;

$\lambda_1$  — податливость несущего каната в поперечном направлении;

$\lambda_n$  — податливость лебедки;

$\lambda_{\delta_i}$  — податливость  $i$ -того направляющего блока.

$\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  — углы наклона хорд ветвей грузоподъемного каната к горизонту соответственно в первом и втором участках каната (в направлении от нижней опоры до приводной лебедки).

Для установок с незамкнутым канатом

$$\lambda = \lambda_1 (1 - \sin \gamma_1) + \lambda_2 \cos \gamma_1 + \frac{q_k^2}{12m^3 g^3} \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{\cos \gamma_i} + \lambda_n + \sum_{i=1}^n \lambda_{\delta_i},$$

где  $\lambda_2$  — податливость несущего каната в продольном направлении.

Испытания силовых режимов работы тяговых канатов в реальных производственных условиях показали, что коэффициент динамики таких канатов изменяется от 1,5 до 2,5 [2].

Аналогичным образом получено выражение для определения вероятности прочности при изгибе каната

$$R_M = \Phi \left( \frac{m_{\sigma_u} - \frac{32m_M}{\pi m_d^3} k_d}{\sqrt{S_{\sigma_u}^2 + \left(\frac{32}{\pi}\right)^2 \left[ \frac{S_M^2}{m_d^6} + \frac{9(m_M S_d)^2}{m_d^3} \right]}} \right), \quad (11)$$

где  $m_M$ ,  $S_M$  — математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение изгибающего момента.

Известно, что расчет канатов, работающих на блоках по разрушающей нагрузке, представляет собой сложную математическую задачу. С достаточной для инженерных расчетов точностью можно записать [8].

$$\sigma_t + \sigma_c = \sigma_u / n_k, \quad (12)$$

где  $\sigma_t$  и  $\sigma_c$  — напряжения в ветвях канатов, набегающих на блок, до места расположения переходного участка и дополнительное, возникающее на переходном участке в наиболее нагруженном элементе каната.

Рассматривая  $R_k$  как вероятность совмещения двух событий  $R\{E_N \cap E_M\}$  [1], для нагружения каната растяжением с изгибом получим:

$$R_k = \Phi \left( \frac{m_{\sigma_u} - \frac{4}{\pi m_d^2} \sqrt{m_N^2 + m_M^2} k_d}{\sqrt{S_{\sigma_u}^2 + \frac{16}{\pi^2} \frac{1}{m_d^4 (m_N + m_M)^2} \left[ (m_N S_N)^2 + (m_M S_M)^2 + \frac{[(m_N + m_M) S_d]^2}{m_d^2} \right]}} \right). \quad (13)$$

При расчете вероятности прочности канатов ПКУ предполагается, что статистические характеристики пределов выносливости  $\sigma_u$  и действующих напряжений  $\sigma$  относятся к генеральной совокупности (выборке бесконечно больших размеров). В действительности указанные величины можно определить по выборке (объему испытаний), содержащей конечное число образцов. Следовательно, значения вероятности прочности  $R$ , вычисленные по средним значениям и с учетом рассеяния экспериментальных данных, расходятся между собой. Предложенная методика определения вероятности прочности канатов  $R$  ПКУ как характеристики надежности правильно отражает качественные особенности задачи и может использоваться при прогнозировании безотказной работы подвесных систем временного действия, работающих с запасами прочности  $1,8 < n < 2$ , поскольку вероятность прочности канатов  $R$  возрастает при уменьшении их запасов прочности, увеличении рассеяния нагрузок и механических свойств материала проволок каната.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Адамовский Н. Г., Матвеев Э. Н. Статистическое описание сроков службы канатов лесотранспортных установок // Лесн. хоз-во, лесн., бум. и деревообаб. пром-сть.— Киев, 1978.— Вып. 9.— С. 57—60. [2]. Белая Н. М. Исследование работы подвесных канатных лесотранспортных установок и перспективы их развития и совершенствования // Проблемы комплексных лесных предприятий в Карпатах.— Ужгород, 1969.— С. 158—184. [3]. Биргер И. Л., Шорр Б. Ф., Шнейдерович Р. М. Расчет на прочность деталей машин.— М.: Машиностроение, 1973.— 702 с. [4]. Болотин В. В. Статистические методы в строительной механике.— М.: Стройиздат, 1965.— 279 с. [5]. Вентцель Е. С. Теория вероятностей.— М.: Наука, 1969.— 257 с. [6]. Качурин В. К. Теория висящих систем.— М.; Л.: Госстройиздат, 1962.— 224 с. [7]. Кучерявый В. И. Расчетная оценка надежности элементов лесозаготовительных

машин по критерию прочности// Лесн. журн.— 1985.— № 2.— С. 125—127.— (Изв. высш. учеб. заведений). [8]. Сергеев С. Т. Надежность и долговечность подъемных канатов.— Киев: Техника, 1968.— 238 с.

Поступила 26 мая 1986 г.

УДК 634\*372

## РАСЧЕТ КАНАТА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ОПОРЫ МНОГОПРОЛЕТНОЙ ПОДВЕСНОЙ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ

И. И. СЛЕПКО

Хмельницкий технологический институт

Несущие канаты многопролетных временных подвесных лесотранспортных установок монтируют на опорных башмаках, которые подвешивают на поперечных канатах промежуточных опор.

Н. М. Белой [1] разработана методика расчета канатов промежуточных опор и проведены экспериментальные исследования работы канатов на установках типа ВТУ-3. Экспериментальные исследования [1] показали, что отношение монтажного натяжения  $T'_0$  каната промежуточной опоры к его конечному натяжению  $T_1$  зависит от монтажного  $T_0$  натяжения несущего каната установки. Однако в предложенной методике расчета [1] не учитываются конструктивные параметры установки: длина ее пролетов, монтажное и конечное натяжения несущего каната.

Нами исследованы усилия в канате промежуточной опоры с учетом схемы навески несущего каната установки и ее грузоподъемности. Расчетная схема навески поперечного каната, как указывает Н. М. Белая [1], представляет собой трехпролетную нить с закрепленными концами и равными по величине крайними пролетами.

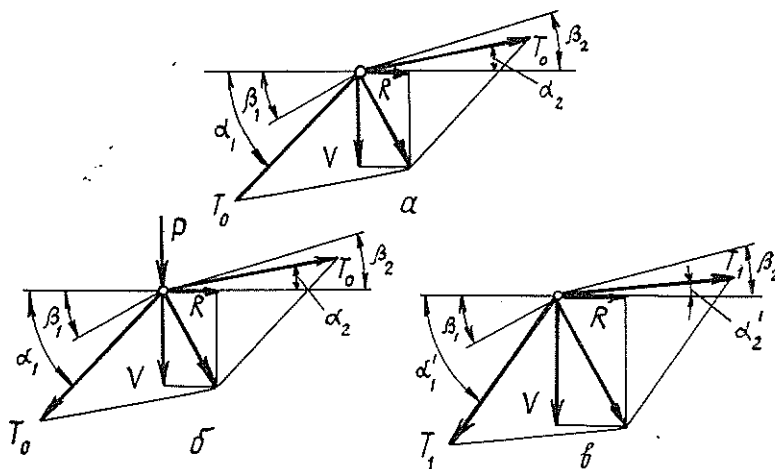


Рис. 1. Схема сил, действующих на канат промежуточной опоры.

На рис. 1 приведены схемы сил, передающихся на канат промежуточной опоры через башмак при различных состояниях несущего каната.

В состоянии, соответствующем монтажному натяжению несущего каната, канат промежуточной опоры находится под действием собственного веса и сил натяжения несущего каната, передающихся через