

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.

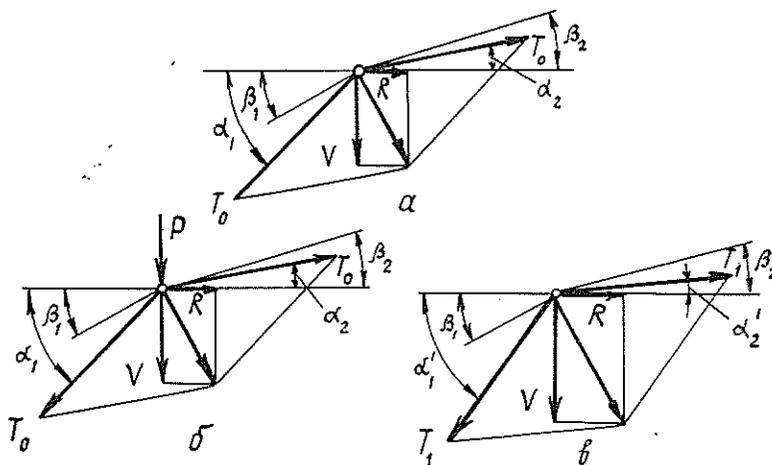


Рис. 1. Схема сил, действующих на канат промежуточной опоры.

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

башмак на канат промежуточной опоры (рис. 1, а). При этом монтажное натяжение каната промежуточной опоры равно  $T'_0$ .

В процессе загрузки несущего каната изменяется натяжение как несущего каната, так и каната промежуточной опоры. Рассмотрим два случая предельного нагружения каната промежуточной опоры:

а) груз  $P$  находится на промежуточной опоре и натяжение несущего каната равно  $T_0$  (рис. 1, б);

б) груз  $P$  находится посередине расчетного (наибольшего) пролета, натяжение несущего каната максимально и равно  $T_1$  (рис. 1, в).

Разложив силу натяжения несущего каната на две составляющие, получим горизонтальную и вертикальную составляющие силы давления башмака на канат промежуточной опоры, лежащей в плоскости, перпендикулярной плоскости первоначального провеса каната промежуточной опоры.

В состоянии 0 (рис. 1, а)

$$\begin{aligned} R &= T_0 (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1); \\ V &= T_0 (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2). \end{aligned} \quad (1)$$

В состоянии 1а (рис. 1, б)

$$\begin{aligned} R &= T_0 (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1); \\ V &= P + T_0 (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2). \end{aligned} \quad (2)$$

В состоянии 1б (рис. 1, в)

$$\begin{aligned} R &= T_1 (\cos \alpha'_2 - \cos \alpha'_1); \\ V &= T_1 (\sin \alpha'_1 - \sin \alpha'_2), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$ , и  $\alpha'_1, \alpha'_2$  — углы наклона к горизонту касательных к ветвям несущего каната на опорном башмаке при монтажном  $T_0$  и конечном  $T_1$  его натяжениях.

Согласно [2],

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta - \frac{Q}{H}, \quad (4)$$

где  $\beta$  — угол наклона хорды пролета несущего каната к горизонту;  
 $Q$  — перерезывающая сила в балке на двух опорах пролетом, равным пролету несущего каната, и нагруженной аналогично несущему канату;

$H$  — горизонтальная составляющая натяжения несущего каната; с некоторым приближением можно принять, что  $H = T \cos \beta$  — натяжение несущего каната.

Используя равенство (4), получим выражение для определения значений углов наклона усилий, действующих на канат промежуточной опоры в различных состояниях. Состояние 0 и 1а (полезный груз отсутствует или находится на опоре):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \operatorname{tg} \beta_1 + \frac{q l_n}{2T_0 \cos^2 \beta_1}; \\ \operatorname{tg} \alpha_2 &= \operatorname{tg} \beta_2 - \frac{q l_n}{2T_0 \cos^2 \beta_2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $l_n, l_n$  — длина смежных пролетов несущего каната;  
 $\beta_1, \beta_2$  — углы наклона хорд смежных пролетов несущего каната к горизонту;  
 $q$  — вес 1 пог. м несущего каната.

Состояние 1б (полезный груз расположен посередине расчетного пролета):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha'_1 &= \operatorname{tg} \beta_1 + \frac{q l_n}{2T_1 \cos^2 \beta_1}; \\ \operatorname{tg} \alpha'_2 &= \operatorname{tg} \beta_2 - \frac{q l_n + P}{2T_1 \cos^2 \beta_2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, расчетная схема каната промежуточной опоры соответствует расчетной схеме гибкой нити с жестко закрепленными концами, нагруженной в плоскости первоначального провеса от собственного веса силой  $V$  и в плоскости, перпендикулярной плоскости первоначального провеса, силой  $R$  (рис. 2).

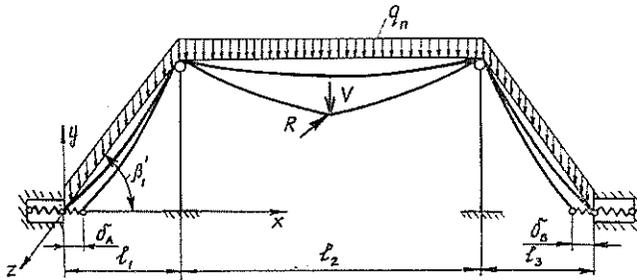


Рис. 2. Расчетная схема каната промежуточной опоры.

Поскольку концы каната промежуточной опоры жестко закреплены, то для определения усилий в канате необходимо рассматривать три стороны задачи — статическую, геометрическую и физическую [1].

С геометрической стороны задачи абсолютное удлинение каната

$$\Delta L = L_1 - L_0, \quad (7)$$

где  $L_0$  — монтажная длина каната;

$L_1$  — длина каната после дополнительного его нагружения.

Согласно [3], длина каната в  $i$ -том пролете

$$L_i = \frac{l_i}{\cos \beta_i} + \frac{1}{2H_i^2} \left( \int_{l_i} Q_{zi}^2 dx + \cos^3 \beta_i \int_{l_i} Q_{yi}^2 dx \right), \quad (8)$$

где  $Q_z$  и  $Q_y$  — перерезывающие силы в балке на двух опорах пролетом, равным  $i$ -тому пролету каната, и нагруженной соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях аналогично канату.

Исходя из расчетной схемы (рис. 2), на основании формулы (8) длина каната промежуточной опоры как симметричной трехпролетной нити равна:

а) монтажная

$$L_0 = l_2 + \frac{A_0}{2(T_0')^2}; \quad (9)$$

б) после дополнительного нагружения

$$L_1 = l_2 - \frac{\delta_A + \delta_B}{\cos \beta_1} + \frac{A_1}{2(T_1')^2}, \quad (10)$$

где  $A_0$  и  $A_1$  — величины грузовых факторов, равные [3]:

$$A_i = 2 \cos \beta' \int_0^{l_1} Q_{iy_1}^2 dx + \int_0^{l_2} (Q_{iz_2}^2 + Q_{iy_2}^2) dx; \quad (10a)$$

$\delta_A, \delta_B$  — смещение концевых опор каната промежуточной опоры;  
 $\beta'_1$  — угол наклона хорды крайнего пролета каната промежуточной опоры к горизонту;  
 $l_2$  — суммарная длина каната промежуточной опоры, равная:

$$l_2 = 2 \frac{l_1}{\cos \beta'_1} + l_2,$$

где  $l_1, l_2$  — длина пролетов каната промежуточной опоры.

На основании выражений (9), (10) и (7) геометрическая сторона задачи примет вид

$$\Delta L = \frac{A_1}{2(T'_1)^2} - \frac{A_0}{2(T'_0)^2} - \frac{\delta_A + \delta_B}{\cos \beta'_1}. \quad (11)$$

Рассматривая физическую сторону задачи, согласно [4] получим:

$$\Delta L = \left( \frac{T'_1 - T'_0}{EF} + \alpha_t \Delta t \right) l_2, \quad (12)$$

где  $E, F$  — продольная жесткость каната промежуточной опоры;  
 $\alpha_t$  — коэффициент линейного расширения материала проволоки каната;  
 $\Delta t$  — приращение температуры [5].

Предполагая, что опоры упругоподатливые, т. е. что  $\delta_i = (H_i - H_0) k_i$ , где  $k_i$  — коэффициент податливости  $i$ -той опоры (м/кг), имеем:

$$\frac{\delta_A + \delta_B}{\cos \beta'_1} = (T'_1 - T'_0)(k_A + k_B) = (T'_1 - T'_0) k_{np}, \quad (13)$$

где  $k_{np}$  — приведенный коэффициент податливости концевых опор.

На основании синтеза геометрической и физической сторон задачи получим уравнение состояния каната промежуточной опоры в общем виде

$$\frac{A_1}{2(T'_1)^2} - \frac{A_0}{2(T'_0)^2} = \left( \frac{T'_1 - T'_0}{A_{np}} + \alpha_t \Delta t \right) l_2, \quad (14)$$

где  $A_{np}$  — условная приведенная продольная жесткость системы канат — опоры, равная:

$$A_{np} = \frac{EF}{1 + \frac{k_{np} EF}{l_2}}.$$

Решая уравнение (14) относительно конечного и монтажного натяжения, найдем:

$$(T'_1)^3 - (T'_1)^2 \left[ T'_0 - \left( \frac{A_0}{2(T'_0)^2 l_2} + \alpha_t \Delta t \right) A_{np} \right] - \frac{A_1}{2l_2} A_{np} = 0; \quad (15)$$

$$(T'_0)^3 - (T'_0)^2 \left[ T'_1 - \left( \frac{A_1}{2(T'_1)^2 l_2} - \alpha_t \Delta t \right) A_{np} \right] - \frac{A_0}{2l_2} A_{np} = 0. \quad (16)$$

В общем случае рассматривая, что башмак расположен посередине пролета  $l_2$  каната, и используя [4, 5], получим выражение для грузовых факторов:

$$A_i = \frac{q_n^2 l_1^3}{6 \cos \beta'_1} + \frac{q_n^2 l_2^3}{12} + \frac{V_i l_2}{4} (V_i + q_n l_2) + \frac{R_i^2 l_2}{4}. \quad (17)$$

Выражение (17) грузовых факторов  $A_0$  и  $A_1$  в зависимости от состояния каната с учетом выражений (1) — (3)

$$A_0 = \{ [T_0 (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) + q_n l_2] (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) + T_0 (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)^2 \} \times \\ \times T_0 \frac{l_2}{4} + \frac{q_n^2 l_1^3}{6 \cos \beta'_1} + \frac{q_n^2 l_2^3}{12}; \quad (18)$$

а) груз  $P$  находится на башмаке

$$A_0 = [P + T_0 (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2)] [P + T_0 (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) + q_n l_2] \frac{l_2}{4} + \\ + T_0^2 \frac{l_2}{4} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)^2 + \frac{q_n^2 l_1^3}{6 \cos \beta'_1} + \frac{q_n^2 l_2^3}{12}; \quad (19)$$

б) груз  $P$  находится посередине расчетного пролета

$$A_1 = \{ [T_1 (\sin \alpha'_1 - \sin \alpha'_2) + q_n l_2] (\sin \alpha'_1 - \sin \alpha'_2) + T_1 (\cos \alpha'_1 - \\ - \cos \alpha'_2)^2 \} \frac{T_1 l_2}{4} + \frac{q_n^2 l_1^3}{6 \cos \beta'_1} + \frac{q_n^2 l_2^3}{12}. \quad (20)$$

В уравнениях (20) и (16) величины осевых усилий в несущем канате  $T_1$  и в канате промежуточной опоры  $T'_1$  определяются исходя из условия прочности каната на разрыв

$$T_1 \leq \frac{T_p}{[n]}, \quad (21)$$

где  $T_p$  — разрывное усилие каната;

$[n]$  — допускаемый коэффициент запаса прочности.

Если в уравнении (15) с учетом выражений (18) и (19) пренебречь усилиями от натяжения несущего каната, а также податливостью концевых опор и приращением температуры, то оно примет вид уравнения общего состояния каната промежуточной опоры, которое получено Н. М. Белой [1].

Если в уравнении (16) принять  $A_0 = \frac{q_n^2}{6} \left( \frac{l_1^3}{\cos \beta'_1} + \frac{l_2^3}{2} \right)$ , то получим монтажное натяжение каната промежуточной опоры, соответствующее нагружению его только собственным весом.

Полученные уравнения общего состояния каната промежуточной опоры позволяют определить необходимое монтажное и конечное его натяжение с учетом конструкционных и эксплуатационных параметров установки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Белая Н. М., Прохоренко А. Г. Канатные лесотранспортные установки. — М.: Лесн. пром-сть, 1964. — 299 с. [2]. Дукельский А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. — М.; Л.: Машиностроение, 1966. — 484 с. [3]. Качурин В. К. Теория висячих систем. — М.; Л.: Госстройиздат, 1962. — 224 с. [4]. Сленко И. И., Пустовойтов А. А. Метод расчета несущего каната многопролетной подвесной установки с произвольным числом грузов // Лесн. журн. — 1974. — № 5.

С. 40—47.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Слепко И. И., Адамовский Н. Г. Исследование усилий в несущем канате однопролетной установки при подтягивании груза со стороны // Лесн. журн.— 1978.— № 6.— С. 49—54.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 8 апреля 1985 г.

УДК 630\*377.44.001.2

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МАТЕРИАЛОЕМКОСТЬ ЛЕСНЫХ МАШИН

В. С. КРАЛИН

Уральский лесотехнический институт

Материалоемкость и надежность — важные показатели эффективности любой машины. Например, уменьшение материалоемкости валочно-трелевочных машин (ВТМ) ЛП-17 и ЛП-49 на 5% позволит повысить их производительность в среднем на 20%, а низкая надежность ВТМ снижает производительность до 30% [4].

Один из наиболее эффективных путей увеличения надежности и снижения массы машин — использование материалов с повышенными механическими характеристиками. Однако возрастание прочности имеет разумный предел, ограничиваемый экономическими соображениями. Поэтому важно знать точное количественное влияние этой характеристики на массу и надежность машины, так как интуитивная оценка принимаемых решений зачастую ошибочна.

Цель данной статьи — количественный и качественный анализ влияния механических характеристик применяемых материалов на материалоемкость лесных машин при заданном уровне их надежности. Была использована математическая модель оптимального проектирования (ОП) навесных гидроманипуляторов (ГМ) лесотранспортных машин. В качестве примера рассмотрен ГМ валочно-трелевочной машины ВП-80.

Кратко остановимся на формулировке задачи ОП и особенности задания целевой функции и уравнений ограничений. Для этого рассмотрим стрелу ГМ ВП-80, общий вид которой представлен на рис. 1.

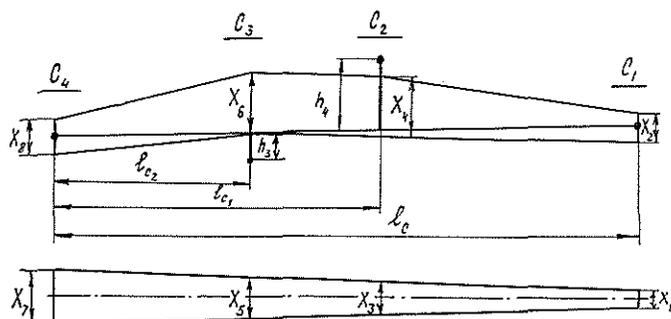


Рис. 1. Общий вид стрелы гидроманипулятора валочно-трелевочной машины ВП-80.

Первым и важнейшим этапом задачи ОП является выбор и обоснование показателей эффективности. В нашем случае принимаем единственный показатель эффективности — массу металлоконструкции стрелы при заданном ограничении на вероятность безотказной работы