

ности, они выполняют на данной территории. В заповедной хозяйственной части и на особо защитных участках других лесов I группы, исключаемых из главного пользования, формы хозяйства по товарности вообще не устанавливаются. Уникальность заповедных экосистем и лучшее проявление защитно-стабилизирующих, природоохранных, эстетических и других полезных свойств лесов в растущем состоянии наиболее полно обеспечиваются высокоствольными древостоями семенного происхождения.

В рекреационной зоне природного национального парка (как и в местах курортов, зон отдыха, туристических маршрутов и в других лесах I группы) при проведении ландшафтных рубок ухода и санитарных рубок необходимо стремиться к усилению устойчивости насаждений против нежелательных стихийных и антропогенных воздействий, улучшению их эстетической привлекательности и санитарно-гигиенической ценности. Формирование живописных пейзажей и ландшафтов должно включать выращивание в лесах этой зоны древесно-кустарниковых пород, биологически устойчивых против пыли, дыма, газов, уплотнения и ухудшения аэрации почв. Они должны иметь улучшенные декоративно-эстетические свойства, максимально проявляющиеся в течение года. Эти мероприятия имеют особенное значение в формировании красивых пейзажей, хорошо просматриваемых в перспективе из так называемых «видовых точек».

На открытых лужайках целесообразно высаживать цветущие кустарники с продолжительным периодом цветения, а в насаждениях оставлять и охранять ценные в эстетическом отношении деревья и их группы. Формирование таких чередующихся групп деревьев в сочетании с живописными полянами, создающими игру цвета, света и тени, является одной из задач ландшафтных рубок ухода за лесом и декоративного озеленения, определяет своеобразную технику их выполнения.

В лесах рекреационной зоны большое внимание должно уделяться благоустройству территории: созданию дорожной и тропиной сети, установке в «видовых точках» павильонов, беседок и скамеек для отдыха, проведению других лесохозяйственных и организационных мероприятий. Все мероприятия по организации территории лесов рекреационной зоны и их благоустройству должно разрабатывать лесоустройство.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Лес и охрана природы / Под ред. С. Г. Синицына.— М.: Лесн. пром-сть, 1980.— 288 с. [2]. Одум Ю. Основы экологии.— М.: Мир, 1975.— 740 с. [3]. Опыт и методы экологического мониторинга: Матер. Всесоюз. совещания.— Пушкино: Науч. центр биологических исследований АН СССР, 1978.— 265 с. [4]. Федосимов А. Н., Анисочкин В. Г. Выборочная таксация леса.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 172 с. [5]. Флора і рослинність Карпатського заповідника / Під ред. С. М. Стойко.— Київ: Наукова думка, 1982.— 220 с. [6]. Цурик Е. И. Дигрессивно-демутационные изменения в почвах ельников и вторичных полонин у верхней границы леса в Карпатах // Почвоведение.— 1986.— № 9.— С. 112—121.

Поступила 14 сентября 1987 г.

УДК 630\*564

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРОПИЧЕСКИХ СОСНЯКОВ (*Pinus kesiya*)

НГУЕН НГОК ЛУНГ

Ленинградская лесотехническая академия

В настоящее время моделирование древостоев, необходимое для прогнозирования общей производительности и выхода сортиментов, проводится по двум направлениям:

относительно реально существующей производительности, кроме того, уменьшаются усилия перемещения.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Аржаков А. А. Процесс останова хлыста силовым упором на раскрывочных установках с продольной подачей: Автореф. дис. канд. техн. наук.— Химки, 1985.— 20 с. [2]. Васильев Г. М., Кроманский Б. М. Возможности раскрывочных линий ЛО-15С // Лесн. пром-сть.— 1982.— № 7.— С. 18—19. [3]. Дергунов Н. П. Пути повышения производительности раскрывочных установок // Лесн. журн.— 1982.— № 4.— С. 61—65.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Сёрхаген У. Автоматизация производства и дистанционное управление механизмами в лесной промышленности.— Осло: Гос. НИИ лесного хозяйства Норвегии, 1983.— 85 с. [5]. Теслюк А. К. Производительность оборудования первичной обработки древесины // Лесоэксплуатация и лесосплав: Обзор. информ.— М.: ВНИПИЭИлеспром, 1981.— Вып. 10.— С. 21—45. [6]. Теслюк А. К., Горохов Н. Г. К вопросу выбора системы подачи и отмера длин сортиментов раскрывочных установок с продольной обработкой хлыстов // Комплексная механизация работ на нижних лесных складах: Тр. / ЦНИИМЭ.— 1978.— С. 35—45.

Поступила 3 августа 1987 г.

УДК 630\*372

### К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА НЕСУЩЕГО КАНАТА

*И. И. СЛЕПКО*

Хмельницкий технологический институт

Несущие канаты временных подвесных лесотранспортных установок закрепляют по концам к анкерным опорам, причем в качестве концевых опор используют растущие деревья, либо их пни, характеризующиеся большой податливостью.

Теория расчета несущих канатов подвесных лесотранспортных установок с учетом влияния податливости опор разработана Н. М. Белой [4], причем влияние податливости опор на жесткость системы было учтено введением понятия о приведенном модуле упругости  $E_p$  системы канат—опоры, в которой канат является главным деформируемым элементом. Пределы колебаний значений приведенного модуля упругости системы в зависимости от схемы навески каната и его монтажного натяжения были определены экспериментально [3, 5]. Натяжение несущих канатов лесотранспортных подвесных установок при движении груза в пролете изменяется в широких пределах, и отношение максимального натяжения каната к монтажному колеблется в пределах 1,3... 2,6 [4].

Исследования [2, 7] показали, что продольная жесткость каната зависит от его натяжения, что учтено методикой, изложенной в работе [6]. Однако она не учитывает податливости концевых опор.

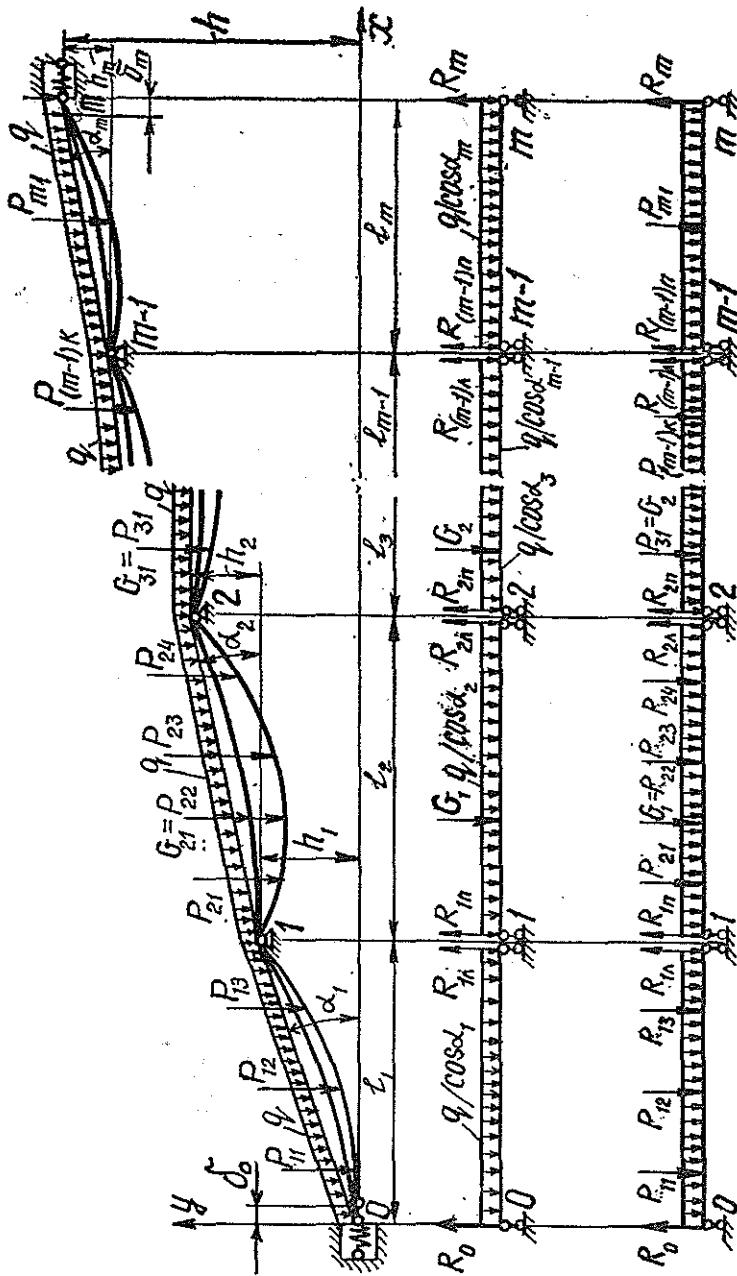
В данной работе рассмотрен расчет несущего каната многопролетной установки с произвольным числом грузов с учетом упругих несовершенств каната и податливости концевых опор (см. рисунок).

При определении натяжения каната с закрепленными концами рассматривают три задачи: статическую, геометрическую и физическую [4, 6]. Для статической задачи получено уравнение связи между натяжением каната и его провесом [4]. Для геометрической задачи на основании уравнения совместности деформаций абсолютное удлинение каната имеет вид

$$\Delta L = L_1 - L_0^* \quad (1)$$

где  $\Delta L$  — абсолютное удлинение каната;

\* Здесь и далее индекс «0» соответствует канату, загруженному монтажными грузами, индекс «1» — монтажными и полезными грузами.



$L_0$  — длина каната, загруженного собственным весом и монтажной нагрузкой  $G_i$ ;

$L_1$  — длина каната после дополнительного нагружения полезным грузом  $P_i$ .

Длина несущего каната  $m$ -пролетной установки

$$L = \sum_{i=1}^m L_i, \quad (2)$$

где  $L_i$  — длина каната в  $i$  м пролете.

Длина каната в  $i$ -м пролете при расположении опор на разных уровнях [9]

$$L_i = \frac{l_i}{\cos \alpha_i} + \frac{\cos^3 \alpha_i}{H_i^2} \int_0^{l_i} Q_i^2 dx, \quad (3)$$

где  $l_i$  — длина  $i$ -го пролета;  
 $\alpha_i$  — угол наклона хорды  $i$ -го пролета к горизонту;  
 $H_i$  — горизонтальная составляющая натяжения каната в  $i$ -м пролете;  
 $Q_i$  — перерезывающая сила в балке на двух опорах с пролетом, равным  $l_i$ , и нагруженной так же, как канат в  $i$ -м пролете (см. рисунок).

Учитывая, что  $H_i = T_i \cos \alpha_i$  (где  $T_i$  — натяжение каната в  $i$ -м пролете), и предполагая, что натяжение по длине каната при фиксированном положении груза постоянно (так как трение каната на промежуточных опорах отсутствует), на основании выражений (2) и (3) получаем общую длину каната:

а) при действии монтажных нагрузок

$$L_0 = \sum_{i=1}^m \frac{l_i}{\cos \alpha_i} + \frac{1}{2T_0^2} \sum_{i=1}^m \cos \alpha_i \int_0^{l_i} Q_{0i}^2 dx; \quad (4)$$

б) при действии монтажных и полезных грузов с учетом податливости концевых опор

$$L_1 = \sum_{i=1}^m \frac{l_i - \delta_{i-1} - \delta_i}{\cos \alpha_i} + \frac{1}{2T_1^2} \sum_{i=1}^m \cos \alpha_i \int_0^{l_i} Q_{1i}^2 dx, \quad (5)$$

где  $\delta_{i-1}$  и  $\delta_i$  — смещение  $i-1$ -й и  $i$ -й опор.

Принимая смещение  $i$ -й опоры для  $i$ -го пролета положительным, а для  $i+1$ -го пролета — отрицательным и считая, что углы наклона хорд смежных пролетов отличаются незначительно, можно принять, что  $\frac{\delta_i}{\cos \alpha_i} \approx \frac{\delta_i}{\cos \alpha_{i+1}}$ . На основании этого получим

$$\sum_{i=1}^m \frac{\delta_{i-1} + \delta_i}{\cos \alpha_i} \approx \frac{\delta_0}{\cos \alpha_1} + \frac{\delta_m}{\cos \alpha_m}, \quad (6)$$

где  $\delta_0$  и  $\delta_m$  — смещение крайних опор (см. рисунок).

Подставляя выражения (4) — (6) в уравнение (1), для  $m$ -пролетной нити получим:

$$\Delta L = \frac{A_1}{2T_1^2} - \frac{A_0}{2T_0^2} - \frac{\delta_0}{\cos \alpha_1} - \frac{\delta_m}{\cos \alpha_m}, \quad (7)$$

где

$$A_0 = \sum_{i=1}^m \cos \alpha_i \int_0^{l_i} Q_{0i}^2 dx; \quad A_1 = \sum_{i=1}^m \cos \alpha_i \int_0^{l_i} Q_{1i}^2 dx.$$

Рассмотрим физическую задачу. Абсолютное удлинение каната вызывается изменением температуры и натяжения каната

$$\Delta L = (\varepsilon_T + \varepsilon_l), \quad (8)$$

где  $\varepsilon_l$  — температурная относительная деформация каната,

$$\varepsilon_l = \alpha_l \Delta t; \quad (9)$$

$\alpha_i$  — коэффициент линейного расширения материала проволок каната ( $\alpha_i = 125 \cdot 10^{-7}$ );  
 $\Delta t$  — приращение температуры;  
 $\varepsilon_T$  — относительная деформация за счет приращения натяжения каната.

Общая длина несущего каната  $l_{\Sigma}$ , измеряемая по хордам пролетов:

$$l_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \frac{l_i}{\cos \alpha_i}.$$

Экспериментальные исследования [2] и других авторов показали, что между модулем упругости каната и его натяжением существует линейная зависимость

$$E_k = \left(1,63 + \frac{0,48}{n}\right) \frac{q}{F} \cdot 10^5 \text{ МПа}, \quad (10)$$

где  $q$  — масса единицы длины каната;  
 $F$  — площадь металлического сечения каната;  
 $n$  — запас прочности на растяжение.

Для канатов ГОСТ 3077—80 и 2688—80, которые применяются на подвесных лесотранспортных установках, отношение  $q/F$ , как показал анализ, постоянно и приблизительно равно 0,933.

Учитывая, что  $n = \frac{T_p}{T} \approx \frac{\sigma_b}{\sigma_p}$ , где  $T_p$  — разрывное усилие каната,  $T$  — действительное усилие в канате,  $\sigma_b$  — временное сопротивление материала проволоки,  $\sigma_p$  — напряжения растяжения, возникающие в канате, и принимая  $\sigma_b = 1660$  МПа, выражение (10) для определения модуля упругости обтянутого каната можно записать в виде:

$$E_k = (1,52 + 0,27 \cdot 10^{-3} \sigma_p) \cdot 10^5 \text{ МПа}. \quad (11)$$

В общем виде выражение (11) [6]

$$E_k = E_n + k' \sigma_p, \quad (12)$$

где  $E_n$  — модуль упругости каната, нагруженного монтажным натяжением;  
 $k'$  — безразмерный коэффициент, зависящий от степени предварительного натяжения каната, его конструкции и степени обтяжки.

Из линейной зависимости между модулем упругости каната и напряжением растяжения, в работе [6] получено:

$$\varepsilon = \frac{1}{k'} \ln \frac{1 + kT_1}{1 + kT_0}, \quad (13)$$

где  $k = \frac{k'}{A_n}$ ,

$A_n$  — коэффициент продольной жесткости ненапрянутого каната [7].

На основании выражений (9) и (13) равенство (8) примет вид

$$\Delta L = \left( \frac{1}{k'} \ln \frac{1 + kT_1}{1 + kT_0} + \alpha_i \Delta t \right) l_{\Sigma}. \quad (14)$$

Исходя из экспериментальных исследований [1] и формулы (13), предполагаем логарифмическую зависимость между податливостью концевых опор и натяжением каната:

$$\delta_i = \delta'_i \frac{\cos \alpha_i}{kT_0} \ln \frac{1 + kT_1}{1 + kT_0}, \quad (15)$$

где  $\delta'_i$  — смещение  $i$ -й опоры при монтажном натяжении каната.

Подставляя выражение (15) в равенство (6), найдем:

$$\frac{\delta_0}{\cos \alpha_1} + \frac{\delta_m}{\cos \alpha_m} = \frac{\delta'}{kT_0} \ln \frac{1+kT_1}{1+kT_0}, \quad (16)$$

где  $\delta' = \delta'_0 + \delta'_m$ .

На основании решения геометрической и физической задач получим уравнение общего состояния несущего каната многопролетной установки с учетом его упругих несовершенств и податливости конечных опор

$$\frac{A_1}{2T_1^2} - \frac{A_0}{2T_0^2} - \alpha_i \Delta t l_{\Sigma} = \left(1 + \frac{\delta' A_H}{l_{\Sigma} T_0}\right) \frac{l_{\Sigma}}{k'} \ln \frac{1+kT_1}{1+kT_0}. \quad (17)$$

Вводя понятие приведенной длины каната в нелинейной упругой системе канат — опоры

$$l'_{\text{пр}} = \left(1 + \frac{\delta' A_H}{l_{\Sigma} T_0}\right) l_{\Sigma},$$

уравнение (17) запишем в виде:

$$\left(\frac{A_1}{2T_1^2 l'_{\text{пр}}} - \frac{A_0}{2T_0^2 l'_{\text{пр}}} - \alpha_i \Delta t \frac{l_{\Sigma}}{l'_{\text{пр}}}\right) k' = \ln \frac{1+kT_1}{1+kT_0}. \quad (18)$$

Если принять, что податливость конечных опор  $\delta = 0$ , т. е. рассматривать несущий канат с жестко закрепленными концами, то уравнение (18) примет вид уравнения общего состояния несущего каната с жестко закрепленными концами многопролетной установки с учетом его упругих несовершенств [6].

Если канат как агрегат следует закону Гука, т. е.  $k' = 0$ , то уравнение (18) примет вид уравнения общего состояния несущего каната многопролетной установки под действием произвольного числа грузов, полученного в работе [10], учитывая, что  $\delta'/T_0 = k_{\text{оп}}$ , где  $k_{\text{оп}}$  — коэффициент податливости опор.

Уравнение (18) можно решить относительно конечного  $T_1$  и монтажного  $T_0$  натяжения каната методом последовательных приближений или графоаналитическим методом.

Поскольку уравнение (18) аналогично уравнению общего состояния несущего каната с жестко закрепленными концами, полученному в работе [6], то для его решения можно использовать графоаналитический метод, предложенный в этой работе.

Грузовые факторы  $A_0$  и  $A_1$  зависят от схемы нагружения несущего каната. Выражения для определения их величины аналитическим и графоаналитическим методом для  $m$ -пролетной установки с произвольным числом полезных и монтажных грузов в пролете приведено в работе [10].

Для многопролетной нити [8] имеем

$$A_0 = \frac{q^2}{12} \sum_{i=1}^m \frac{l_i^3}{\cos \alpha_i};$$

$$A_1 = \frac{q^2}{12} \sum_{i=1}^m \frac{l_i^3}{\cos \alpha_i} + P(P \cos \alpha_k + qL_k) \left(1 - \frac{a_k}{l_k}\right) \alpha_k, \quad (19)$$

где  $P$  — масса сосредоточенного груза;  
 $\alpha_k$  — угол наклона хорды  $k$ -го пролета, в котором расположен груз;  
 $l_k$  — длина  $k$ -го пролета, в котором находится груз;  
 $a_k$  — расстояние груза  $P$  от левой опоры  $k$ -го пролета по горизонтали.

На основании исследований можно сделать вывод, что полученное уравнение позволяет исследовать зависимость натяжения несущих канатов с закрепленными концами от различных факторов с учетом упругих несовершенств каната как агрегата и податливости концевых опор.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Адамовский Н. Г. Оптимальные режимы нагружения несущих канатов подвесных лесотранспортных установок с учетом приведенной жесткости системы: Автореф. дис... канд. техн. наук.— Львов, 1984.— 24 с. [2]. Адамовский Н. Г., Матвеев Э. Н. Исследование модуля упругости канатов подвесных лесотранспортных установок // Лесное хозяйство, лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность.— Киев: Будівельник, 1981.— Вып. 12.— С. 30—33. [3]. Белая Н. М. Влияние податливости упругих опор на работу несущих канатов подвесных установок // Стальные канаты.— Киев: Техніка, 1966.— Вып. 3.— С. 146—149. [4]. Белая Н. М. Исследование работы подвесных канатных лесотранспортных установок и перспективы их развития и совершенствования // Проблемы комплексных лесных предприятий в Карпатах.— Ужгород: Карпаты, 1969.— С. 158—184. [5]. Белая Н. М., Адамовский Н. Г. Исследование приведенной жесткости системы несущий канат— опоры // Лесное хозяйство, лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность.— Киев: Будівельник, 1975.— Вып. 5.— С. 81—85. [6]. Белая Н. М., Слепко И. И. Метод расчета несущего каната с жестко закрепленными концами с учетом его упругих несовершенств / Лесн. журн.— 1975.— № 1.— С. 43—48.— (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты.— Киев: Техніка, 1966.— 327 с. [8]. Дукельский А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны.— М.; Л.: Машиностроение, 1966.— 481 с. [9]. Качурин В. К. Теория висячих систем.— Л.; М.: Госстройиздат, 1962.— 224 с. [10]. Слепко 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).

Поступила 16 февраля 1987 г.

УДК 539.3

### РАСЧЕТНАЯ СХЕМА УПРУГОГО МАНИПУЛЯТОРА

М. В. КОНДАКОВ

Московский лесотехнический институт

Манипуляторы для лесной, деревообрабатывающей и мебельной промышленности должны обладать относительно большой грузоподъемностью, что, в сочетании с высокими скоростями манипулирования, обусловленными требованиями производительности труда, не позволяет использовать большинство серийно выпускаемых робототехнических систем в технологических процессах отрасли. Создание высокоскоростных манипуляторов большой грузоподъемности сопряжено с решением ряда принципиально новых задач, в первую очередь, в области динамики конструкции и привода. При проектировании и отработке манипуляторов особое значение приобретают вопросы обеспечения динамической прочности.

Одним из ключевых моментов при расчете конструкции, как отмечалось в [3], является выбор расчетной схемы. Расчетная схема манипулятора должна, с одной стороны, по возможности полнее отражать особенности поведения конструкции, с другой, допускать математическую формулировку задачи в замкнутом виде. При расчете динамического нагружения высокоскоростных манипуляторов большой грузоподъемности расчетная схема должна учитывать упругие свойства конструкции, поскольку вклад упругих составляющих во внутренние силовые факторы во многих случаях оказывается весьма существенным.

В современной практике расчета упругих конструкций используются три основных типа расчетных схем: дискретные, дискретно-кон-