

634.982

С-44

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. С. М. КИРОВА

На правах рукописи
Аспирант СКОБЕЙ В. В.

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
КАНАТНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ УСТАНОВОК
ДЛЯ ГОРНЫХ ЛЕСОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ
И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

Автореферат
диссертационной работы,
представленной на соискание
ученой степени кандидата
технических наук

г. Минск
1964

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. С. М. КИРОВА

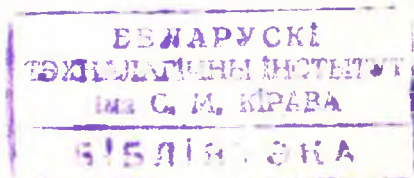
На правах рукописи
Аспирант СКОБЕЙ В. В.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
КАНАТНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ
УСТАНОВОК ДЛЯ ГОРНЫХ ЛЕСОВ
ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И
ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Автореферат
диссертационной работы,
представленной на соискание
ученой степени кандидата
технических наук

Руководитель
кандидат технических наук
АЛЯБЬЕВ В. И.

г. Минск
1964



1310-11

Настоящая работа выполнена в лаборатории механизации лесосечных работ Иркутского филиала Центрального научно-исследовательского и проектного института механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ) Государственного комитета по лесной целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей промышленности и лесному хозяйству при Госплане СССР.

Экспериментальные работы проведены в Тымском лес-промхозе комбината «Сахалинлес» и на опытном полигоне Иркутского филиала ЦНИИМЭ (пос. Выгузово Иркутской области).

10 февраля 1965 г.
Защита состоится на заседании Ученого Совета Белорусского технологического института им. Д. М. Кирова.

Ваши замечания и отзывы просим присылать по адресу: г. Минск, ул. Свердлова 13, БТИ.

Л. М. К.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с решениями XXII съезда КПСС, претворяющими в жизнь ленинские принципы размещения производства, растут темпы освоения лесных богатств Восточной Сибири и Дальнего Востока, где находится почти 80% лесных запасов страны, а лесопокрытая площадь занимает 45% всей территории. При общем среднем росте лесозаготовок по стране за семилетие на 18% объем лесозаготовок в этих районах будет увеличен на 28—30%. В дальнейшем удельный вес Восточной Сибири и Дальнего Востока в общесоюзном производстве древесины повысится еще более.

Свыше 70% лесов Сибири и Дальнего Востока произрастает в горной местности. Горная тайга этой части Союза занимает территорию, площадь которой составляет около 350 млн. га, что превышает площадь горных лесов Кавказа и Карпат более чем в 50 раз.

До настоящего времени в Восточных районах страны осваивались главным образом лесные массивы, доступные для трелевочных тракторов. С каждым годом таких массивов становится все меньше. Увеличивается число лесозаготовительных предприятий, неосвоенная сырьевая база которых расположена на труднодоступных горных склонах. Единственным средством механизации трелевки в этих местах могут быть канатные трелевочные установки.

Канатные установки, призванные механизировать лесозаготовки в горных районах, до последнего времени создавались преимущественно для лесов Европейской части Союза, весьма отличной по рельефу и характеристике древостоев от Азиатской части. Поэтому известные и выпускаемые промышленностью установки на востоке страны оказались неэффективными. В связи с этим совершенствование лебедочной трелевки леса в Сибири и на Дальнем Востоке приобрело особую важность и актуальность. Острота и необходимость решения проблемы освоения лесосек, расположенных на крутых горных склонах Дальнего Востока и Восточной Сибири, с каждым годом будет возрастать.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КАНАТНО-ТРЕЛЕВОЧНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ГОРНЫХ ЛЕСОСЕК ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Для развития лесной промышленности Восточной Сибири и Дальнего Востока наибольшее значение имеет освоение лесных районов Алтайско-Саянской, Дальневосточной, Сахалинской и Забайкальской горной тайги.

В результате изучения и натурного обследования лесосырьевых баз предприятий, расположенных в различных областях горной тайги, было установлено:

1. Для эффективного освоения горных массивов Восточной Сибири и Дальнего Востока необходимы установки с дальностью действия 350—700 м, способные трелевать деревья или хлысты в полуподвешенном и подвешенном состоянии.

2. Малые удельные запасы древесины (m^3/ga) при среднем объеме хлыста 0,4—0,8 m^3 и значительной крутизне склопов (25—30°) вызывают необходимость применения установок, способных собирать древесину по всей площади осваиваемой лесосеки и транспортировать ее к лесовозной дороге.

3. В связи с тем, что лесосеки, расположенные на склонах, имеют малую площадь (10—15 га) и сравнительно небольшие запасы древесины (1000—1500 m^3), установки должны быть мобильными с минимумом монтажно-демонтажных работ.

С учетом сформулированных требований были рассмотрены ранее известные конструкции и проведен анализ возможных областей их применения. После испытаний некоторых установок выяснилось, что несмотря на отдельные конструктивные и технологические достоинства ни одна из них полностью не отвечает предъявленным требованиям. Поэтому первая задача настоящей работы заключалась в создании новой установки для трелевки древесины, удовлетворяющей условиям горной тайги Восточной Сибири и Дальнего Востока.

В результате теоретических и экспериментальных работ была найдена конструкция и разработана технология применения установки, получившей условное наименование КПУ-2.

Установка КПУ-2 отличается от известных трелевочных установок наличием несущего каната переменной длины, который по мере освоения лесосеки при помощи холостого или вспомогательного канатов передвигается в поперечном направлении. Конструктивная особенность каретки—наличие сборного каната—позволяет собирать пачку и трелевать дре-

весну от пня в полуподвешенном или подвешенном состоянии со склонов любой крутизны.

Производственные испытания и доводка конструкции КПУ-2 при полуподвесной трелевке проводилась в Тулунском и Нижне-Удинском леспромпхозах (Алтайско-Саянская горная тайга), Тымском леспромпхозе (Сахалинская горная тайга), Верхне-Сучанском и Нижне-Даубихинском леспромпхозах (Дальневосточная горная тайга).

Сменная производительность КПУ-2 в зависимости от условий работы — запаса на один гектар, объема хлыста — при испытании колеблется в пределах 40—65 м³, что составляет 8—15 м³ на чел.-день по валке и трелевке деревьев с кроной. Условно-годовая экономия от внедрения одной установки КПУ-2 по сравнению с наземной установкой, работающей на базе лебедки ТЛ-7, составила 9500 руб.

На основании результатов испытаний КПУ-2 в различных условиях были сделаны следующие выводы.

1. Новая установка обеспечивает сбор древесины по всей площади осваиваемой лесосеки, что особенно важно при небольших запасах древесины на гектаре.

2. При работе КПУ-2 ширина полосы лесосеки, доступной для освоения с одного положения несущего каната, составляет 50—60 м. С одного положения трелевочной лебедки и нескольких положений несущего каната осваивается лесосека общей площадью 10—15 га.

3. Трудозатраты на монтаж и демонтаж установки составляют 15—20 чел.-дней.

По результатам испытаний КПУ-2 рекомендована для применения и в настоящее время внедряется в Восточно-Сибирской и Дальневосточном совнархозах. В 1963—1964 гг. модель КПУ-2 экспонировалась на ВДНХ.

Одним из основных элементов установки КПУ-2 является несущий канат, который работает в условиях, отличающихся от условий работы несущих канатов кабельных кранов и других ранее применявшихся трелевочных установок. Это отличие заключается в том, что обычно несущие канаты установок и кабельных кранов служат только для продольного перемещения по шим кареток, а несущий канат КПУ-2 служит также для опускания трелеваемой древесины в процессе движения вниз по склону, что достигается изменением его длины. В связи с этим стрела провеса несущего каната КПУ-2 колеблется в широких пределах (от 6 до 25% длины пролета). У других типов установок, имеющих неподвижное закрепление концов несущего каната, эти пределы составляют 3—5% ($\frac{l}{L} = 0,3—0,05$), причем величина стрелы провеса в процессе работы зависит только от положения груза в пролете.

Изменение длины несущего каната при движении древесины вызывает дополнительное колебание системы канат-каретка-груз. Физическая картина, предшествующая колебаниям несущего каната переменной длины, заключается в том, что нагруженный сосредоточенной нагрузкой канат, освобождаясь в одной из точек закрепления, под действием собственного веса и веса груза падает до некоторого положения, после чего мгновенно снова закрепляется. Система канат-каретка-груз, обладая инерцией движения, вызывает резкое увеличение натяжения каната, в результате чего и возникают колебания.

Специфика работы исследуемых установок создает особые условия для работы несущего каната, так как он имеет большой провес. Работы А. И. Дукельского, И. Е. Барата, Р. М. Мацелинского, С. А. Цаплина, В. Г. Рекача и других исследователей в области расчета несущих канатов основаны на предположении малых провесов и результаты их нельзя распространять на расчет канатов с большими стрелами провеса. Поэтому автором проведены исследования таких канатов с целью разработки методов их расчета, имея в виду, что от точности расчета каната зависит правильность их выбора, а следовательно, металлоемкость, стоимость и надежность конструкции установок. В работе принят следующий план исследований.

1. Анализ точности существующих методов расчета канатов применительно к установкам с несущими канатами переменной длины, имеющих большие провесы (более 0,1 длины пролета).

2. Разработка точного и приближенного методов статического расчета несущих канатов с большими провесами, нагруженных равномерно-распределенной и сосредоточенной нагрузками.

3. Исследование динамических явлений и разработка метода определения максимальных натяжений, возникающих в несущем канате переменной длины.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ГИБКОЙ НИТИ, ЗАГРУЖЕННОЙ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ, И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ НЕСУЩИХ КАНАТОВ С БОЛЬШИМИ ПРОВЕСАМИ

В работе рассмотрены способы расчета при определении стрелы провеса, длины и натяжения несущего каната. В результате теоретических исследований установлены факторы, влияющие на погрешность расчета гибкой нити, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой. При этом получены следующие зависимости:

$$\delta_s = \frac{S_u - S_n}{S_u} = \frac{120 \left(\frac{f}{l}\right)^2 (\cos^2 \beta - 1) \cos^2 \beta + 32 \left(\frac{f}{l}\right)^2 (8 - 5 \cos^2 \beta) \cos^6 \beta}{45 + 120 \left(\frac{f}{l}\right)^2 \cos^4 \beta + 32 \left(\frac{f}{l}\right)^4 (8 - 5 \cos^2 \beta) \cos^6 \beta}; \quad (1)$$

$$\delta_T = \frac{T_u - T_n}{T_u} = \frac{\left[\frac{\varphi^2}{2!} \left(\frac{f}{l}\right)^2 (8 \cos \beta)^2 + \frac{\varphi^4}{4!} \left(\frac{f}{l}\right)^4 (8 \cos \beta)^4 + \frac{\varphi^6}{6!} (8 \cos \beta)^6 \right] - \left[\frac{1}{2} \left(4 \frac{f}{l} - \operatorname{tg} \beta\right)^2 - \frac{1}{8} \left(4 \frac{f}{l} - \operatorname{tg} \beta\right)^4 + \frac{1}{16} \left(4 \frac{f}{l} - \operatorname{tg} \beta\right)^6 \right]}{1 + \frac{\varphi^2}{2!} \left(\frac{f}{l}\right)^2 (8 \cos \beta)^2 + \frac{\varphi^4}{4!} \left(\frac{f}{l}\right)^4 (8 \cos \beta)^4 + \frac{\varphi^6}{6!} \left(\frac{f}{l}\right)^6 (8 \cos \beta)^6}; \quad (2)$$

$$\delta_f = \frac{f_u - f_n}{f_u} = \frac{\left[\frac{(1 - \kappa) \varphi^2 + \kappa (1 + \varphi)^2 - (\kappa + \varphi)^2}{2} - \frac{k(1 - k)}{2 \cos \beta} \right] + \left[\frac{(1 - \kappa) \varphi^2 + \kappa (1 + \varphi)^2 + (k + \varphi)^2}{2} \right] + \left(\frac{f}{l}\right)^2 (8 \cos \beta)^2 \left[\frac{(1 - \kappa) \varphi^4 + \kappa (1 + \varphi)^4 + (1 + \varphi)^4}{24} \right] + \left(\frac{f}{l}\right)^2 (8 \cos \beta)^2 \left[\frac{(1 - k) \varphi^4 + k (1 + \varphi)^4 - (\kappa + \varphi)^4}{24} \right] + \left(\frac{f}{l}\right)^4 (8 \cos \beta)^4 \left[\frac{(1 - \kappa) \varphi^6 + \kappa (1 + \varphi)^6 - (\kappa + \varphi)^6}{720} \right] + \left(\frac{f}{l}\right)^4 (8 \cos \beta)^4 \left[\frac{(1 - \kappa) \varphi^6 + \kappa (1 + \varphi)^6 - (\kappa + \varphi)^6}{720} \right]}; \quad (3)$$

где
 S_u, T_u, f_u — длина, натяжение и провес каната, рассчитанные точным методом;

S_n, T_n, f_n — длина, натяжение и провес каната, рассчитанные приближенным методом.

δ_s — относительная погрешность при определении длины несущего каната;

δ_T — относительная погрешность при определении натяжения;

δ_f — относительная погрешность при определении стрелы провеса;

$\frac{f}{l}$ — относительный провес;

β — угол наклона хорды пролета к горизонту;

φ — величина, зависящая от кратности отношения $\frac{X_A}{l}$,

где

X_A — абсцисса начала цепной линии;

k — величина, характеризующая положение точки (относительно которой производится вычисление) в пролете.

Нетрудно убедиться, что относительная погрешность по уравнению (1) при определении длины нити приближенным методом зависит только от уровня закрепления концов нити и отношения стрелы провеса к пролету $\frac{f}{l} = n$.

Относительная погрешность по равенству (2) при определении натяжения зависит от тех же параметров. Кроме того, в выражение (2) входит величина $\varphi = \frac{X_A}{l}$.

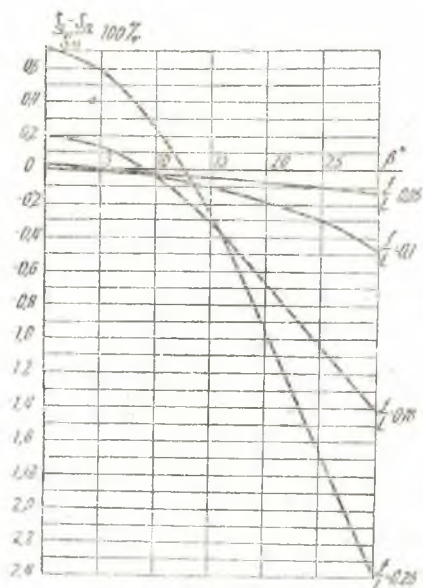


Рис. 1. Характер изменения относительной погрешности вычислений длины каната.

Однако известно, что все цепные линии подобны одна другой, т. е. имеется только одна форма цепной линии, изображаемая в разных масштабах. В соответствии с этим

можно утверждать, что для всех цепных линий отношение $\frac{X_A}{T}$ есть величина постоянная, зависящая только от кратности отношения $\frac{f}{l}$. Следовательно, на погрешность при определении натяжения приближенным методом оказывают влияние те же факторы, что и на зависимость (1).

Анализируя равенство (3) видим, что в отличие от выражений (1) и (2) в него входит величина K , характеризующая положение точки в пролете, относительно которой производится вычисление. Следовательно, установившееся положение о том, что расхождение в определении провесов каната по точному и приближенному методам возрастает с увеличением длины пролета, является необходимым, но недостаточным для характеристики величины относительной погрешности. Определяя точным и приближенным методами величину стрелы провеса для двух пролетов, например, $l_1 = 350 \text{ м}$, $l_2 = 1000 \text{ м}$, при прочих равных условиях ($\beta_1 = \beta_2 = 30^\circ$, $q = 1,9 \text{ кг/м}$, $\frac{f_1}{l_1} = \frac{f_2}{l_2} = 0,253$), убеждаемся, что величина относительной погрешности в обоих случаях составляет 3,2%. Таким образом, критерием, определившим

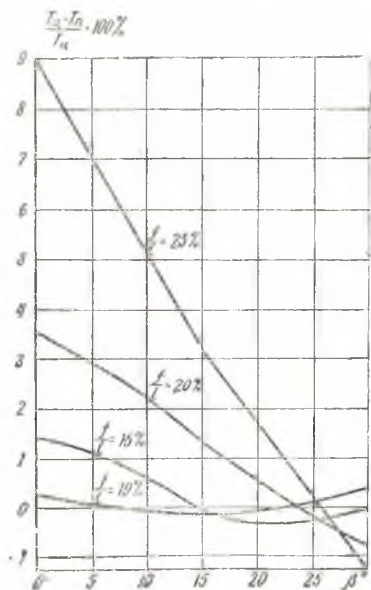


Рис. 2. Характер изменения относительной погрешности вычислений натяжения каната.

погрешность, явилась величина относительного провеса $\frac{f}{l}$.

Определяя для приведенных условий значения величин натяжения, убеждаемся также, что этот вывод справедлив и для относительной погрешности натяжения, которая для приведенного выше примера составляет 1,4%.

В работе проведены дальнейшие исследования зависимостей (1), (2), (3). При различных углах наклона хорды пролета к горизонту для области работы установок КПУ-2 ($\frac{f}{l} = 0,05-0,25$) характер изменения относительной погрешности вычисления длины каната, натяжения и стрелы провеса имеет вид, изображенный на рис. 1, 2, 3. По рис. 1 нетрудно установить, что при расположении опор на одном уровне длина каната при расчете по цепной линии несколько больше длины, рассчитанной по методу параболы. При расположении опор на разных уровнях погрешность меняет свой знак. Таким образом, установлено, что длина каната, определенная по способу цепной линии, несколько больше значения,

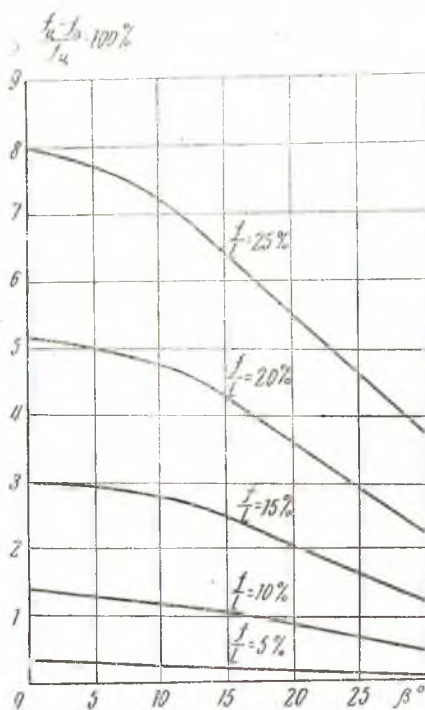


Рис. 3. Характер изменения относительной погрешности вычисления стрелы провеса.

которое получается при расчете по способу параболы, только для тех пролетов, у которых наклон хорды составляет не более 3—4°.

Установлено также (рис. 2, 3), что относительная погрешность при расчете стрелы провеса и величины натяжения по методу параболы увеличивается с уменьшением угла наклона хорды пролета к горизонту и увеличением отношения стрелы провеса к длине пролета. Приведенными на рис. 1, 2 и 3 графиками можно руководствоваться при выборе для заданной степени точности метода расчета гибкой стальной нити (стального каната), нагруженной равномерно распределенной нагрузкой.

СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НЕСУЩИХ КАНАТОВ С БОЛЬШИМИ ПРОВЕСАМИ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ И СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗОК

В практике наиболее часто приходится рассчитывать канаты, находящиеся под действием собственного веса и сосредоточенной нагрузки. Канаты при такой схеме загрузки принято рассчитывать по методу параболы. Указанный способ расчета сравнивается с разработанным нами точным методом расчета. Сущность точного метода заключается в том, что форма каната при расчете принята за две пересекающиеся в точке приложения сосредоточенной нагрузки цепные линии, для решения которых составлена система уравнений. В результате сравнения установлено, что при стреле провеса $j = 0,2 l$ погрешность расчета по методу параболы выходит за пределы допустимой.

Теоретическое исследование вопроса позволило получить уравнения для определения следующих величин.

1. Натяжения в несущем канате в точке приложения сосредоточенной нагрузки (рис. 4).

$$T = \frac{2 Q \sqrt{(1+A)^2(1+B)^2} + \frac{qx}{2} \sqrt{1+A^2} + \frac{q(l-x)}{2} \sqrt{1+B^2}}{2(A\sqrt{1+B^2} + B\sqrt{1+A^2})},$$

где

$$A = \frac{j + (l-x) \operatorname{tg} \beta}{l-x}; \quad B = \frac{j - x \operatorname{tg} \beta}{x}. \quad (4)$$

2. Величины горизонтального распора слева и справа от точки приложения сосредоточенной нагрузки:

$$H_1 = \frac{q(f - x \operatorname{tg} \beta) + 2T}{2\sqrt{1 + \left(\frac{f - x \operatorname{tg} \beta}{x}\right)^2}}; \quad (5)$$

$$H_2 = \frac{q [f + (l - x) \operatorname{tg} \beta] + 2 T}{2 \sqrt{1 + \left[\frac{f + (l - x) \operatorname{tg} \beta}{l - x} \right]^2}} \quad (5)$$

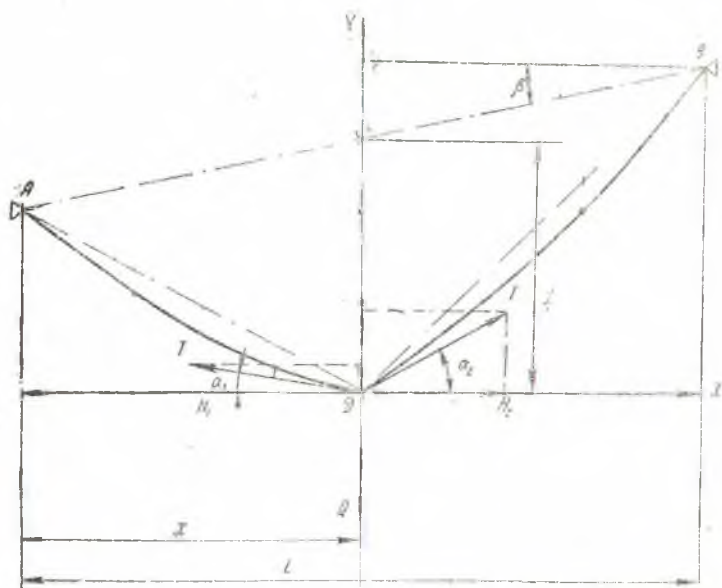


Рис. 4. Схема для расчета натяжения каната.

3. Угла подъема грузовой каретки при больших стрелах провеса несущего каната (рис. 5):

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{H_1 - H_2}{Q} \quad (6)$$

В этих уравнениях:

- Q — вес сосредоточенной нагрузки на несущий канат;
- q — вес погонного метра несущего каната;
- f — стрела провеса в точке приложения сосредоточенной нагрузки;
- l — длина пролета несущего каната по горизонтали;
- x — расстояние от опоры до точки приложения сосредоточенной нагрузки.

Приведенные уравнения были получены при рассмотрении кривой провисания каната, загруженного равномерно распределенной и сосредоточенной нагрузками, в виде двух пересекающихся парабол. В работе проведено сравнение равенства (4) с известной приближенной формулой расчета по

методу параболы, а также с точным методом расчета по двум пересекающимся цепным линиям. Результаты сравнения позволили установить, что применение метода расчета по двум пересекающимся параболом для случая, когда канат загружен равномерно распределенной и сосредоточенной нагрузками, позволяет определить натяжение в канате с высокой точностью.

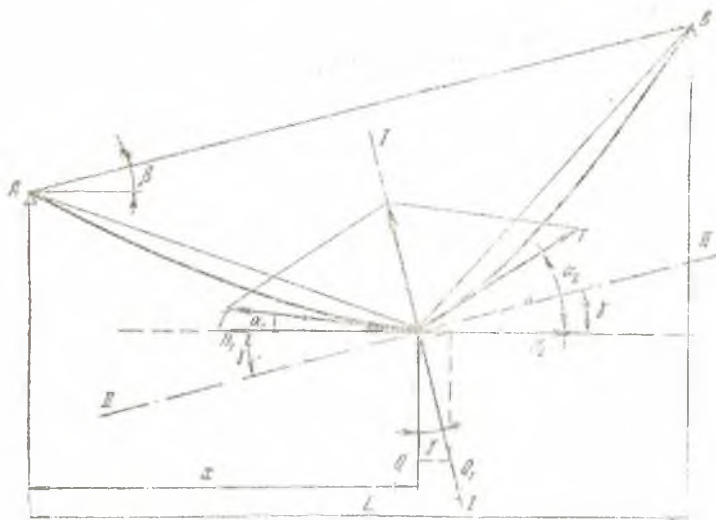


Рис. 5. Схема для расчета угла подъема каретки.

Этот вывод подтвержден экспериментальным путем в Иркутском леспромхозе (Восточно-Сибирский совнархоз) на опытной установке, имеющей следующие параметры:

длина пролета несущего каната по горизонтали 355,50 м;

угол наклона хорды пролета к горизонту — $15^{\circ}37'$;

разность высот закрепления несущего каната на верхней опоре и прохождения его через блок на нижней опоре — 99,4 м. В качестве несущего каната применялся канат крестовой свивки с органическим сердечником по ГОСТ 3070—55, диаметром 23,5 мм.

Опыты проводились при провесах 33,5 м; 34,5 м; 35,5 м и 36,5 м, что соответствовало примерно 0,1 длины пролета. Относительная погрешность измерений составила 4%. Сравнение полученных опытных данных производилось с данными аналитического расчета по методу параболы и по методу двух пересекающихся парабол. Установлено, что натяжение несущего каната при $\frac{f}{l} = 0,1$, подсчитанное по методу двух

пересекающихся парабол, определяется с высокой точностью до 2%, в то время как погрешность при расчете по методу параболы достигает 10%.

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НЕСУЩЕГО КАНАТА ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ

Методика динамического расчета несущего каната при колебаниях разработана В. Г. Рекачем*. Однако при расчете по этой методике несущего каната переменной длины в связи со спецификой его работы допускаются большие погрешности (до 60%). Поэтому появилась необходимость более детального исследования динамических явлений и разработки новой методики.

В результате теоретического и экспериментального исследования вопроса такая методика разработана. Порядок расчета по этой методике сводится к определению следующих величин:

- 1) приведенного веса

$$Q = Q_0 + \left[\frac{1}{3} + \frac{1}{6} \frac{f_0^2}{x(l-x)} + \frac{1}{6} \operatorname{tg}^2 \beta \right] ql, \quad (7)$$

где

- Q_0 — вес груза с кареткой;
- x — расстояние точки приложения груза от головной опоры;
- q — погонный вес несущего каната;
- f_0 — стрела провеса до начала колебаний;
- β — угол наклона хорды пролета к горизонту;
- l — длина пролета установки;

- 2) приведенной массы

$$M = \frac{Q}{g}, \quad (8)$$

где

g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек²;

- 3) натяжения несущего каната в точке приложения груза

$$T_0 = \frac{Qx(l-x)}{f_0 l} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{f_0}{l-x} + \operatorname{tg} \beta \right)^2 \right]; \quad (9)$$

- 4) вспомогательных величин

$$R = \frac{E_x F f_0^2 \cos \beta}{2 x^2 (l-x)^2} + \frac{Q}{f_0} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \left(\frac{f_0}{l-x} + \operatorname{tg} \beta \right)^2 \right], \quad (10)$$

$$\Phi = \frac{Q}{2} \left(\frac{f_0}{l-x} + \operatorname{tg} \beta \right)^2;$$

- 5) частоты колебаний

* В. Г. Рекач «Применение теории колебаний к расчету несущих канатов» Московский инженерно-строительный институт, труды 2, 1939

$$\omega = \sqrt{\frac{2R}{M}}; \quad (11)$$

6) периода колебаний

$$T_k = \frac{2\pi}{\omega}; \quad (12)$$

7) наибольшей динамической силы

$$Q_{дин} = M \left(K + \frac{\Phi}{2R} \right) \omega^2; \quad (13)$$

8) натяжения с учетом динамической силы в точке приложения сосредоточенной нагрузки

$$T_{max} = \frac{(Q + Q_{дин}) \cdot (l - x)}{(f_0 + k)l} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{f_0 + k}{l - x} + \operatorname{tg} \beta \right)^2 \right], \quad (14)$$

где

$K = U_{max}$ — наибольшая амплитуда колебаний;

E_k — модуль упругости каната;

F — площадь сечения каната.

Произведено сравнение разработанного метода динамического расчета с методом В. Г. Рекача. В результате сравнения установлено, что расчет по новому методу, условно названному методом «двух прямых» (кривая провисания каната при колебаниях принята за две пересекающиеся прямые), дает результаты, близкие к результатам В. Г. Рекача для канатов с малыми стрелами провеса (до $f = 0,05 l$) и амплитудой колебания до $0,2 m$. С увеличением амплитуды колебаний и относительного провеса расхождение результатов увеличивается и достигает 62% (при $f = 0,2 l$ и амплитуде колебаний $U_{max} = 1,3 m$).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА НОВОГО МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НЕСУЩЕГО КАНАТА ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ

Экспериментальное определение натяжения несущего каната при его колебаниях проводилось:

1) на переоборудованной КПУ-2 в Тымском леспромхозе комбината «Сахалинлес» (первый цикл).

2) на опытно-экспериментальной установке в Иркутском леспромхозе комбината «Иркутсклес» (второй цикл).

Характеристика опытных установок представлена в таблице 1. Целью работ первого цикла явилось установление параметров привода, обеспечивающего работу КПУ-2 без значительных динамических приращений натяжения в несущем канате переменной длины. Цель работ второго цикла заключалась в проверке и уточнении динамического расчета несущего каната переменной длины при работе с существующим приводом (лебедка ТЛ-5, ТЛ-7).

Характеристика опытных установок

Таблица 1

Наименование параметров	Значение параметров	
	Первый цикл измерений (Тымский леспромхоз)	Второй цикл измерений (Иркутский леспромхоз)
Длина пролета, м	295	355,46
Угол наклона хорды пролета к горизонту	24°17'	15°37'
Разность высот закрепления несущего каната, м	118,22	99,4
Характеристика несущего каната	ГОСТ 3070-55 диаметр 22 мм вес 1 п/м — 1,66 кг/м	ГОСТ 3070-55 диаметр 23,5 мм вес 1 п/м — 1,9 кг/м
Максимальная стрела провеса несущего каната (в % от длины пролета)	18	21

Существо проводимых опытов в первом цикле заключалось в следующем. Загруженный сосредоточенной нагрузкой несущий канат опускался на некоторую величину, при этом скорость его опускания была различной. Каждой скорости опускания соответствовала серия опытов.

Опытами второго цикла определялись критические напряжения в нагруженном несущем канате при мгновенном его освобождении от закрепления в нижней точке и последующем резком торможении. Такой характер эксплуатации несущего каната КПУ-2 возможен при работе установок с существующим приводом. Поэтому динамический расчет несущего каната до конструирования специального или модернизации существующего привода должен производиться для критического режима, когда груз опускается с максимальной скоростью, а его торможение совершается почти мгновенно. Для включения динамометра в несущий канат были изготовлены специальные накидные стяжки с замками. Накидные стяжки позволяли быстро освобождать динамометр, включенный у верхней опоры, и после каждой серии опытов контролировать положение нуля. Усилие, действующее на несущий канат от груза, определялось вторым динамометром. В качестве регистрирующего прибора использовался осциллограф Н-700 с двумя шлейфами чувствительности 1600—1800 мм/ма м. Питание на измерительные мосты динамометров передавалось от двух двенадцативольтовых аккумуляторов. Вся измерительная аппаратура для удобства работ находилась у подножия склона в специальной будке.

Осциллографирование процесса колебаний системы канат-каретка-груз позволило установить, что натяжение несущего

Таблица 2
Сопоставление данных опыта и расчета при определении величины динамического натяжения несущего каната

Наименование сравнительных данных	№№ опытов											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Величина максимальной амплитуды колебаний — $K, см$	0,39	0,54	0,60	0,82	0,87	0,89	0,90	0,93	1,06	1,23	1,31	1,38
Максимальное натяжение несущего каната при колебаниях, кг	4640	5000	5060	5240	5380	5480	5500	5550	5800	5830	6100	6200
Величина натяжения несущего каната, подсчитанная новым методом «двух прямых», кг	4710	5100	5340	5750	5820	6000	6050	6140	6370	6720	6890	6990
Величина натяжения несущего каната по методу В. Г. Рекача — $T_{max}, кг$	5340	6020	6500	7230	7460	7500	7520	7650	8200	8900	9560	9910
Погрешность в определении величины натяжения новым методом, %	1	2	5,5	9,8	8,1	9,5	10	10	10	15	12	12,7
Погрешность в определении величины натяжения методом В. Г. Рекача, %	15	20	28	38	39	37	37	38	41	52	57	60

Опытные данные

Аналитический расчет

каната при увеличении его длины со скоростью $0,1-0,4$ м/сек почти равно статическому. При увеличении скорости изменения длины несущего каната приращение натяжения в несущем канате при колебаниях для пролета длиной 262 м и стрелы провеса $f = 0,1 l$ колеблется от 20 до 60% .

При определении величины натяжения нагруженного несущего каната в период колебаний было проведено 12 серий опытов. Каждая серия опытов проводилась для одинаковых условий: величины амплитуды колебаний, стрелы провеса несущего каната и величины его удлинения.

После расшифровки осциллограмм из каждой серии опытов для сравнения с расчетными данными были взяты те, которые имели совпадающие результаты в смежном опыте. Этот метод отбора основан на теореме теории вероятности о совместном проявлении двух событий в двух независимых явлениях, дающей основание полагать, что два совпадающих, следующих друг за другом измерения какой-либо величины наиболее близки к достоверному значению. Показания приборов были устойчивыми. Кривые перемещений и натяжений, полученные в одинаковых условиях опыта, имели совершенно одинаковую конфигурацию.

Для сравнения расчетных данных с экспериментальными, полученными при колебаниях нагруженного несущего каната вследствие увеличения его длины, произведен расчет натяжений несущего каната по формулам (7), (14), а также по формулам В. Г. Рекача.

Результаты опытов и расчетов приведены в табл. 2. Исходными данными для аналитического расчета были приняты данные опыта. Из таблицы видно, что при определении величины натяжения несущего каната методом В. Г. Рекача расчетные величины имеют погрешность до 60% . Величины натяжений несущего каната, подсчитанные новым методом, более близки к действительным. Несовпадение результатов опыта и расчета не превышает 15% .

ВЫВОДЫ

1. Значительная часть лесосек горных лесных массивов Восточной Сибири и Дальнего Востока, исключенная в настоящее время из эксплуатации из-за отсутствия надлежащих трелевочных средств, может быть освоена однопролетными канатными установками типа КПУ-2 (с несущим канатом переменной длины), параметры, технологические и конструктивные особенности которой найдены при проведении настоящей работы.

2. Производственно-экономические показатели новых установок (сменная производительность $40-65$ м³, производительность труда $8-15$ м³ на чел.-день, экономия от внедре-

ния 9500 руб. в год от одной установки) позволяют рекомендовать их к более широкому применению для механизации трелевки древесины с горных склонов Восточной Сибири и Дальнего Востока.

3. Особенности конструкции новых установок и условий работы их несущих канатов (большие стрелы провеса, изменение длины в процессе работы) в большинстве случаев не позволяют применять для их статического и динамического расчета существующие приближенные методы.

4. Для сравнения точного и приближенного методов расчета стальных канатов с большими провесами разработана новая методика. Исследования и расчеты, проведенные по этой методике, позволили установить границы применения приближенного метода (кривая провеса принята за параболу) к расчету стальных канатов с большими провесами при различных схемах загрузки.

5. Установлено, что основными факторами, влияющими на величину погрешности приближенных расчетов канатов, загруженных равномерно распределенной нагрузкой, являются величина угла наклона хорды пролета к горизонту и величина относительного провеса. Это положение уточняет утверждение о том, что расхождение в расчетах величины провеса по приближенному и точному (кривая провеса принята за цепную линию) методам возрастает с увеличением длины пролета. В работе доказано, что критерием, определяющим величину относительной погрешности, является не длина пролета, как это считалось ранее, а относительный провес.

6. Относительная погрешность при расчете стрелы провеса и величины натяжения несущего каната по приближенному методу увеличивается с уменьшением угла наклона хорды пролета к горизонту. Этот вывод меняет сложившееся мнение о том, что расхождение в расчетах провеса по приближенному и точному методам увеличивается с увеличением угла наклона хорды.

7. В результате анализа величин погрешности приближенных расчетов несущих канатов, загруженных равномерно распределенной нагрузкой, установлено, что стальные канаты в исследованной области их работы ($\beta = 10-30^\circ$, $\frac{l}{L} = 0,05-0,25$) допустимо рассчитывать по приближенному методу при провесах до $0,25 l$. Погрешность расчетов натяжения и провеса при этом не превышает 8—9%. Таким образом, положение о том, что стальные канаты, загруженные равномерно распределенной нагрузкой, с провесами $f \geq 0,1 l$ предпочтительнее рассчитывать по методу цепной линии, не следует распространять на несущие канаты установок КПУ-2 или имеющих аналогичные с ними параметры.

8. В работе предложен новый точный метод расчета несущего каната, нагруженного равномерно распределенной и сосредоточенной нагрузками (кривая провеса каната принята за две пересекающиеся цепные линии). Исследования и расчеты, проведенные с использованием нового метода, позволили установить, что при наличии сосредоточенной нагрузки погрешность расчета несущих канатов установок КПУ-2 (и аналогичных им) по применяемому до сих пор приближенному методу выходит за пределы допустимой.

9. В связи со сложностью нового точного метода разработан более простой, приближенный метод статического расчета несущих канатов с большими стрелами провеса.

10. В несущих канатах установок КПУ-2 возникают значительные динамические нагрузки. При определении их по распространенному (для кабель-кранов) методу В. Г. Рекача, в связи с наличием больших провесов, допускаются значительные погрешности (до 60%).

11. Для динамического расчета несущего каната КПУ-2 рекомендуется новый метод, в котором за форму провисания несущего каната при колебаниях приняты две прямые, пересекающиеся в точке приложения сосредоточенной нагрузки. Результаты расчета при этом достаточно близки к действительным.

12. Результаты проведенной работы использованы при изготовлении оснастки трелевочных установок КПУ-2 при внедрении и эксплуатации их на лесозаготовительных предприятиях Восточно-Сибирского и Дальневосточного совнархозов, а также при проектировании в ЦНИИМЭ унифицированной оснастки лесных канатных установок. Разработанные новые методы расчета действительно не только для установки КПУ-2, но и для других канатных однопролетных установок.

Перечень печатных работ, в которых отражено основное содержание диссертации.

1. Скобей В. В. Трелевочная установка с несущим канатом переменной длины. Журнал «Лесная промышленность» № 8, 1960.

2. Скобей В. В. Горная трелевка леса при помощи однопролетной подвесной установки с несущим канатом переменной длины. Журнал «Лесозэксплуатация и лесное хозяйство» № 5, 1962.

3. Скобей В. В., Михайлов А. А., Макаревич Н. Н. Полуавтоматическая трелевочная каретка. Авторское свидетельство № 151373, «Бюллетень изобретений», № 21, 1962.

4. Скобей В. В. Канатно-подвесные установки с несущим канатом переменной длины. Материалы научно-технической конференции по вопросам создания техники горных лесозаготовок и повышения производительности труда. Краснодар, 1963.

5. Скобей В. В. Статический расчет несущих канатов с большими провесами при равномерно распределенной нагрузке. Труды ЦНИИМЭ, сборник 53, 1964.

6. Скобей В. В. Статический расчет несущих канатов с большими провесами при одновременном воздействии распределенной и сосредоточенной нагрузок. Труды ЦНИИМЭ, сборник 53, 1964.

7. Скобей В. В., Занегин Л. А. и др. Автоматическая трелевочная каретка. Авторское свидетельство №1 59565, «Бюллетень изобретений» № 1, 1964.

8. Скобей В. В., Макаревич Н. Н. и др. Канатно-подвесная установка с поперечным перемещением несущего каната. Авторское свидетельство № 164626, «Бюллетень изобретений» № 16, 1964.

9. Скобей В. В., Михайлов А. А. Динамический расчет несущего каната переменной длины. Труды ЦНИИМЭ, сборник 58, 1964.

Бумага 60×92
Тир. 250

Подписано к печати 22/ХІІ-64 г.
печ. л. 1,3

Л-131593
Зак. 205

Типография ЦНИИМЭ