

В. Д. Мартынихин

НОВЫЙ МЕТОД СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КАНАТОВ ОТ ДЕЙСТВИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ НАГРУЗКИ

В связи с тем, что в практике канатного транспорта в основном применяются различные установки и подвесные дороги с несущим канатом, в настоящее время весьма подробно разработаны методы расчета гибких нитей от действия вертикальной нагрузки. При этом нахождение усилий, возникающих в канатах с закрепленными концами, обычно сводится к решению кубического уравнения. На тягово-несущие канаты действуют как вертикальные, так и горизонтальные силы. Известный способ расчета таких канатов с закрепленными концами более сложен и сводится к составлению и решению уже системы уравнений, в которые помимо линейных, входят два кубических уравнения. Как в первом, так и во втором случае расчет ведется методом попыток, так как в формулы для определения натяжений входит вес канатов, сечение которых в свою очередь зависит от натяжения. Расчет тягово-несущего каната усложняется еще и тем, что натяжения у опор разные.

При существующих способах расчета натяжение в канате определяется через горизонтальную составляющую этого натяжения. Для пролетов с опорами, расположенными на разных уровнях, эти способы расчета дают меньшую точность по сравнению с расчетом при расположении опор на одном уровне.

В связи с этим в основу предлагаемого метода входит: 1) упрощение расчета за счет получения формул для непосредственного нахождения определяемых величин; 2) графоаналитический способ решения кубических уравнений; 3) повышение точности расчета.

Расчет несущих и тягово-несущих канатов несколько различен. В первом случае по несложной формуле определяется рабочее натяжение каната и его сечение и затем по кубическому уравнению графоаналитическим путем находится монтажное натяжение. Во втором случае основное внимание уделяется непосредственному расчету натяжений и сечений канатов. Определение же предварительных натяжений этих канатов имеет скорее теоретический, чем практический интерес.

Как известно, зависимость между горизонтальной составляющей натяжения каната H и его провесом f от действия вертикальной нагрузки выражается формулой

$$H = \frac{M_0}{f}, \quad (1)$$

где M_0 — изгибающий момент в соответствующем провесу сечения простой балки.

При действии на канат равномерно распределенной нагрузки от веса каната и сосредоточенной от груза, расположенного в середине пролета,

когда натяжение будет наибольшим, эта зависимость представляется в виде известной формулы

$$H = \frac{l^2}{8f_{\max}} \left(\frac{q}{\cos \alpha} + \frac{2P}{l} \right), \quad (2)$$

где l — длина пролета;
 f_{\max} — максимальный провес каната;
 P — вес груза;
 α — угол наклона хорды пролета.

Формула (2) дает действительную зависимость между H и f без учета первоначальной длины каната в пролете. Однако, если концы каната закрепить, она не может дать ответа на вопрос о том, какие величины H и f будут при снятии сосредоточенного груза. Ответ на этот вопрос может быть получен лишь после решения кубического уравнения, учиты-

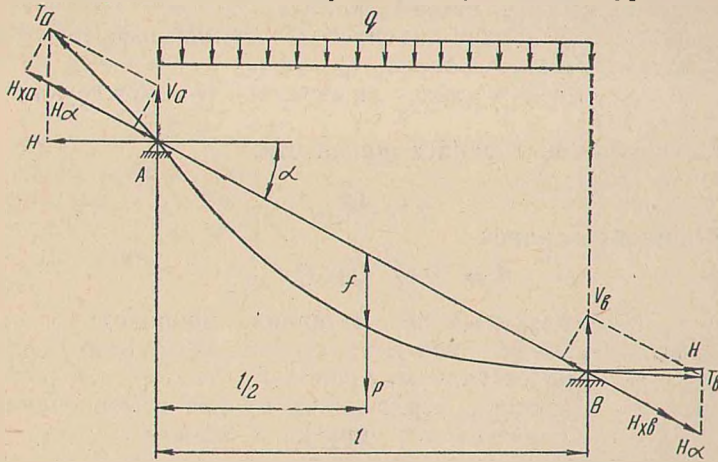


Рис. 1. Схема для определения натяжений в несущем канате.

вающего изменение геометрической формы каната, его упругие и в ряде случаев температурные деформации.

В практике расчетов натяжение каната, как гибкой нити с малыми стрелками, принимается равным

$$T \cong \frac{H}{\cos \alpha} = H_a. \quad (3)$$

При расположении опор на одном уровне T является гипотенузой прямоугольного треугольника, катетами которого будут горизонтальная составляющая натяжения H и вертикальная опорная реакция от нагрузки в пролете V . При расположении опор на разных уровнях соотношение между T и H_a меняется. Для того чтобы прийти к прежнему соотношению, между ними необходимо учесть проекцию вертикальной опорной реакции на направление прямой, соединяющей опоры (рис. 1). Это натяжение в дальнейшем будем называть хордовым натяжением, а прямую, соединяющую опоры, хордой пролета.

Естественно, что хордовые натяжения у опор A и B различны и будут отличаться на величину $(V_a + V_b) \sin \alpha$. Эти натяжения будут равны

$$H_x = H_a + V \sin \alpha = \frac{ql}{2} \left(\frac{l}{4f \cos^2 \alpha} \pm \operatorname{tg} \alpha \right) + \frac{P}{2} \left(\frac{l}{2f \cos \alpha} \pm \sin \alpha \right) \quad (4)$$

или после преобразований

$$H_x = \frac{ql(l \pm 2f \sin 2\alpha) + 2P(l \pm f \sin 2\alpha) \cos \alpha}{8f \cos^2 \alpha} \quad (4a)$$

В формулах знаки (+) соответствуют натяжению у верхней, а (—) — у нижней опоры.

Однако расчет по вышеприведенным формулам представляет известное неудобство, так как в них помимо неизвестных H_x и f входит q — вес 1 пог.м каната, диаметр которого выбирается в зависимости от натяжения. Поэтому в формуле (5) заменим

$$H_x \approx T = \frac{F_m \sigma_{pa}}{n}, \quad (5)$$

где F_m — металлическое сечение каната;
 σ_{pa} — расчетный предел прочности проволок, отнесенный к агрегатной прочности каната; $\sigma_{pa} = k \sigma_p$;
 k — коэффициент свивки, зависящий от конструкции каната;
 $k \approx 0,85$;

n — коэффициент запаса прочности,

а также

$$q = AF_m. \quad (6)$$

Коэффициент A равен

$$A = 100 \gamma_m C_1 C_2 C_3 C_4, \quad (7)$$

где γ_m — удельный вес материала проволок;
 C_1, C_2, C_3, C_4 — коэффициенты увеличения веса каната соответственно от укрутки проволок, за счет центрального сердечника, сердечников прядей и сердечников стренг с учетом их укрутки в канате.

Значения коэффициента A постоянны для канатов различных диаметров одной конструкции. По типам их A изменяется от 0,0084 для спиральных канатов до 0,01—0,011 для трехгранно-прядных и овало-прядных. Для шестипрядных канатов тросовой конструкции с одним органическим сердечником $A = 0,0093—0,0095$.

Имея в виду принимаемое при расчете допущение, что $H_x = T$ и допуски в отклонении диаметров каната одного типоразмера, можно принять

$$A = 0,01 F_m.$$

Подставляя в формулу (4a) значения H_x , q и V и преобразуя ее, получим расчетное металлическое сечение каната

$$F_m = \frac{2Pn \cos \alpha (l \pm f \sin 2\alpha)}{8\sigma_{pa} f \cos^2 \alpha - 0,01 ln (l \pm 2f \sin 2\alpha)}. \quad (8)$$

Перед членами с двойными знаками знаки (+) соответствуют натяжению каната у верхней опоры, а знаки (—) — натяжению у нижней опоры. При расчете несущих канатов их сечение выбирается по натяжению у верхней опоры.

По металлическому сечению каната можно выбрать диаметр каната по ГОСТ. Можно также определить d_k по формуле

$$d_k = \sqrt{\frac{1,27 F_m}{K_n}}, \quad (9)$$

где K_n — показатель конструктивной плотности каната, для большинства канатов примерно равный 0,5.

Рассмотрим теперь расчет тягово-несущего каната, который образует замкнутый контур с нагрузкой, действующей на одну ветвь каната, т. е. нагрузкой полуконтура.

Ниже рассматривается случай статического расчета полуконтура от действия распределенной нагрузки и наклонной сосредоточенной силы.

Предлагаемый метод расчета основан на раздельном определении хордового натяжения от вертикальной нагрузки и от наклонной сосредоточенной силы (рис. 2). Как и ранее, найдем основные зависимости при расположении груза в середине пролета. Хордовое натяжение от распределенной нагрузки (см. рис. 2, б) с учетом проекций опорных реакций V_q на опорах A и B будут равны

$$H_x^q = \frac{ql}{2} \left(\frac{l}{4f_0 \cos \alpha} \pm \operatorname{tg} \alpha \right).$$

Имея в виду, что $f_0 = f_1 \cos \alpha$, получим

$$H_x^q = \frac{ql}{2} \left(\frac{l}{4f_1 \cos^2 \alpha} \pm \operatorname{tg} \alpha \right). \quad (10)$$

При определении хордового натяжения от сосредоточенной силы (см. рис. 2, в) принимаем в расчет длину пролета l_1 по направлению, перпендикулярному действию силы R , которая равна

$$l_1 = \frac{l \cos(\gamma - \alpha)}{\cos \alpha}, \quad (11)$$

где γ — угол между направлением действия силы и вертикалью.

Принимаем также в расчет величину провеса f_2 по направлению действия силы R , которую выражаем через f_1

$$f_2 = \frac{f_1 \cos \alpha}{\cos(\gamma - \alpha)}. \quad (12)$$

Тогда хордовое натяжение от действия сосредоточенной силы с учетом составляющих V_R будут равны

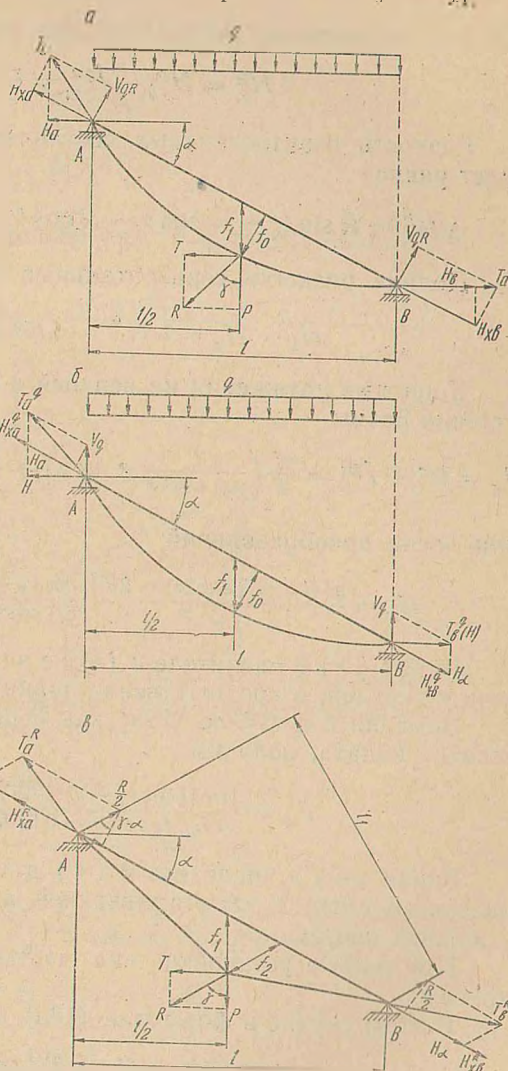


Рис. 2. Схема для определения натяжений в тягово-несущем канате постоянного сечения.

$$H_x^R = \frac{Rl \cos(\gamma - \alpha)}{4f_1 \cos^2 \alpha} \mp \frac{R}{2} \sin(\gamma - \alpha). \quad (13)$$

Из приведенных выше формул, в частности, вытекает

$$\Delta H_x^q = H_{xa}^q - H_{xb}^q = qh, \quad (14)$$

где h — превышение верхней опоры над нижней;

$$\Delta H_x^R = H_{xb}^R - H_{xa}^R = R \sin(\gamma - \alpha). \quad (15)$$

Разность горизонтальных составляющих натяжения от силы R будет равна

$$\Delta H^R = R \sin(\gamma - \alpha) \cos \alpha + R \cos(\gamma - \alpha) \sin \alpha = R \sin \gamma = T. \quad (16)$$

Полная разность горизонтальных составляющих натяжения равна

$$H_b - H_a = \Delta H^R - \Delta H^q = T - qh \cos \alpha. \quad (17)$$

Хордовые натяжения на верхней и нижней опорах будут соответственно равны

$$H_x = H_x^q + H_x^R = \frac{ql}{2} \left(\frac{l}{4f_1 \cos^2 \alpha} \pm \operatorname{tg} \alpha \right) + \frac{R}{2} \left[\frac{l \cos(\gamma - \alpha)}{2f_1 \cos^2 \alpha} \mp \sin(\gamma - \alpha) \right] \quad (18)$$

или после преобразований

$$H_x = \frac{ql(l \pm 2f_1 \sin 2\alpha) + 2R[l \cos(\gamma - \alpha) \mp 2f_1 \cos^2 \alpha \sin(\gamma - \alpha)]}{8f_1 \cos^2 \alpha}. \quad (18a)$$

Знаки (+) в числителе и (—) в знаменателе соответствуют натяжению у верхней, а соответственно знаки (—) и (+) у нижней опоры.

Заменив в формуле (18a) как и ранее H_x и q через металлическое сечение каната, получим

$$F_m = \frac{2nR[l \cos(\gamma - \alpha) \mp 2f_1 \cos^2 \alpha \sin(\gamma - \alpha)]}{8\sigma_{pa} f_1 \cos^2 \alpha - 0,01 \ln(l \pm 2f_1 \sin 2\alpha)}. \quad (19)$$

Знаки (—) в числителе и (+) в знаменателе соответствуют металлическому сечению каната у верхней, а соответственно знаки (+) и (—) у нижней опоры.

При работе установки «на подъем» направление силы R будет другим.

В этом случае в формулах (18a) и (19) меняются только знаки:

$$H_b - H_a = T + qh \cos \alpha; \quad (20)$$

$$H_x = \frac{ql(l \pm 2f_1 \sin 2\alpha) + 2R[l \cos(\gamma + \alpha) \pm 2f_1 \cos^2 \alpha \sin(\gamma + \alpha)]}{8f_1 \cos^2 \alpha}, \quad (21)$$

$$F_m = \frac{2Rn[e \cos(\gamma + \alpha) \pm 2f_1 \cos^2 \alpha \sin(\gamma + \alpha)]}{8\sigma_{pa} f_1 \cos^2 \alpha - 0,01 \ln(l \pm 2f_1 \sin 2\alpha)}. \quad (22)$$

Знак (+) соответствует натяжению у верхней, а (—) — у нижней опоры.

Диаметр подбирается по наибольшему сечению по формуле (9).

При работе трелевочных установок с реверсивным движением каретки тягово-несущий и возвратно-несущий канаты применяются обычно разных диаметров и правильнее расчет вести по схеме, показанной на рис. 3.

Для рассматриваемого случая будем иметь (рис. 3, а):

$$V_a^q = \frac{l}{8 \cos \alpha} (q_1 + 3q_2); \quad (23)$$

$$V_b^q = \frac{l}{8 \cos \alpha} (3q_1 + q_2); \quad (24)$$

$$H_a = \frac{l^2 (q_1 + q_2)}{16f_1 \cos^2 \alpha}, \quad (25)$$

где q_2, q_1 — вес 1 пог. м соответственно левого и правого каната.

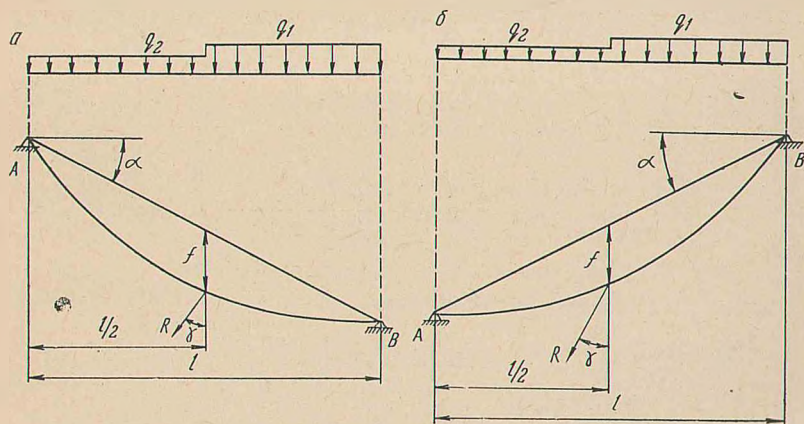


Рис. 3. Схема для определения натяжений в тягово-несущем канате переменного сечения.

Вспользуемся также зависимостью

$$H_{xb} - H_{xa} = R \sin (\gamma - \alpha) - \frac{h}{2} (q_1 + q_2), \quad (26)$$

из которой после замены $H_{xb} = T_b$; $H_{xa} = T_a$; $q_1; q_2$ через металлическое сечение канатов для правого F'_m и левого F''_m получим:

$$F'_m = \frac{F'_m \left(\frac{\sigma_{pa}}{n} - 0,005 h \right) + R \sin (\gamma - \alpha)}{\frac{\sigma_{pa}}{n} + 0,005 h}; \quad (27)$$

$$F''_m = \frac{F'_m \left(\frac{\sigma_{pa}}{n} + 0,005 h \right) - R \sin (\gamma - \alpha)}{\frac{\sigma_{pa}}{n} - 0,005 h}. \quad (28)$$

Уравнения для хордовых натяжений имеют в этом случае вид:

$$H_{xb} = \frac{(q_1 + q_2) l^2}{16f_1 \cos^2 \alpha} - \frac{h (3q_1 + q_2)}{8} + \frac{R}{2} \left[\frac{l \cos (\gamma - \alpha)}{2f_1 \cos^2 \alpha} + \sin (\gamma - \alpha) \right]; \quad (29)$$

$$H_{xa} = \frac{(q_1 + q_2) l^2}{16 f_1 \cos^2 \alpha} + \frac{h (q_1 + 3q_2)}{8} + \frac{R}{2} \left[\frac{l \cos (\gamma - \alpha)}{2 f_1 \cos^2 \alpha} - \sin (\gamma - \alpha) \right]. \quad (30)$$

Металлическое сечение канатов будет равно

$$F_M = \frac{2nR [l \cos (\gamma - \alpha) \pm 2f_1 \cos^2 \alpha \sin (\gamma - \alpha) \mp 0,0025 l (l \mp f \sin 2\alpha) \frac{n \sin (\gamma - \alpha)}{\sigma_{0a} \mp 0,005hn}]}{8 \sigma_{pa} f_1 \cos^2 \alpha - 0,01 \ln (l \mp 2f_1 \sin 2\alpha)}. \quad (31)$$

В этой формуле перед членами с двойными знаками верхние знаки соответствуют F'_M , а нижние F''_M .

При работе канатной системы установки «на подъем» (рис. 3, б) имеем:

$$H_{xb} - H_{xa} = R \sin (\gamma + \alpha) + \frac{h}{2} (q_1 + q_2); \quad (32)$$

$$F'_M = \frac{F'_M \left(\frac{\sigma_{pa}}{n} + 0,005h \right) + R \sin (\gamma + \alpha)}{\frac{\sigma_{pa}}{n} - 0,005h}; \quad (33)$$

$$F''_M = \frac{F'_M \left(\frac{\sigma_{pa}}{n} - 0,005h \right) - R \sin (\gamma + \alpha)}{\frac{\sigma_{pa}}{n} + 0,005h}. \quad (34)$$

Хордовые натяжения будут равны:

$$H_{xb} = \frac{(q_1 + q_2) l^2}{16 f_1 \cos^2 \alpha} + \frac{h (3q_1 + q_2)}{8} + \frac{R}{2} \left[\frac{l \cos (\gamma + \alpha)}{2 f_1 \cos^2 \alpha} + \sin (\gamma + \alpha) \right]; \quad (35)$$

$$H_{xa} = \frac{(q_1 + q_2) l^2}{16 f_1 \cos^2 \alpha} + \frac{h (q_1 + 3q_2)}{8} + \frac{R}{2} \left[\frac{l \cos (\gamma + \alpha)}{2 f_1 \cos^2 \alpha} - \sin (\gamma + \alpha) \right]. \quad (36)$$

Из уравнений для хордовых натяжений, как и ранее, получим

$$F_M = \frac{2Rn [l \cos (\gamma + \alpha) \pm 2f_1 \cos^2 \alpha \sin (\gamma + \alpha) \mp 0,0025 l (l \pm f_1 \sin 2\alpha) \frac{n \sin (\gamma + \alpha)}{\sigma_{pa} \pm 0,005hn}]}{8 \sigma_{pa} f_1 \cos^2 \alpha - 0,01 \ln (l \pm 2f_1 \sin 2\alpha)}. \quad (37)$$

В этой формуле перед членами с двойными знаками, верхние знаки соответствуют F'_M , а нижние F''_M .

Сравнение формул для определения металлического сечения канатов показывает, что они близки по своей структуре. Это позволяет ввести в них обозначения и тем самым их упростить.

В частности, можно обозначить:

$$\begin{aligned} a &= f_1 \sin 2\alpha; & d &= 0,01 \ln; \\ b &= 8 \sigma_{pa} f_1 \cos^2 \alpha; & i &= 0,005 hn; \\ c &= 2 f_1 \cos^2 \alpha; & h &= 0,0025 l. \end{aligned}$$

Тогда формулы для определения расчетных сечений канатов запишутся в следующем виде (табл. 1).

Как указывалось выше, для канатов с закрепленными концами

Таблица 1

Расчетная схема	Формулы для определения расчетного F_M (индексы указывают на точку, для которой определяется сечение каната)
	$F_a = \frac{2Pn \cos \alpha (l + a)}{b - d (l + 2a)}$
	$F_b = \frac{2Rn [l \cos (\gamma - \alpha) + c \sin (\gamma - \alpha)]}{b - d (l - 2a)}$
	$F_b = \frac{2Rn [l \cos (\gamma + \alpha) + c \sin (\gamma + \alpha)]}{b - d (l + 2a)}$
	$F_b = \frac{2Rn \left[l \cos (\gamma - \alpha) + c \sin (\gamma - \alpha) - k (l - a) \frac{n \sin (\gamma - \alpha)}{\sigma_{pa} - i} \right]}{b - d (l - 2a)}$
	$F_a = \frac{2Rn \left[l \cos (\gamma - \alpha) - c \sin (\gamma - \alpha) + k (l + a) \frac{n \sin (\gamma - \alpha)}{\sigma_{pa} + i} \right]}{b - d (l + 2a)}$
	$F_b = \frac{2Rn \left[l \cos (\gamma + \alpha) + c \sin (\gamma + \alpha) - k (l + a) \frac{n \sin (\gamma + \alpha)}{\sigma_{pa} + i} \right]}{b - d (l + 2a)}$
	$F_a = \frac{2Rn \left[l \cos (\gamma + \alpha) - c \sin (\gamma + \alpha) + k (l - a) \frac{n \sin (\gamma + \alpha)}{\sigma_{pa} - i} \right]}{b - d (l - 2a)}$

после определения рабочего натяжения и сечения каната необходимо определять монтажное натяжение по кубическому уравнению.

Эту задачу целесообразно решать графоаналитическим способом с построением предлагаемой номограммы для определения натяжений.

Как известно, кубическое уравнение для определения рабочего натяжения T_1 для однопролетных систем (для многопролетных систем структура уравнения не меняется) имеет следующий вид:

$$T_1^3 + T_1^2 \left(\frac{EF_M \cos^2 \alpha}{2lT_0^2} \int_0^l Q_0^2 dx - T_0 \right) - \frac{EF_M \cos^2 \alpha}{2l} \int_0^l Q_1^2 dx = 0, \quad (38)$$

где T_0 — предварительное натяжение;

E — модуль упругости каната;

$\int_0^l Q_0^2 dx$ — интеграл поперечных сил от собственного веса каната для простой балки;

$\int_0^l Q_1^2 dx$ — интеграл поперечных сил от всей нагрузки для простой балки.

Интегралы поперечных сил удобно вычислять способом Верещагина. Например, для нагрузки от собственного веса каната и нагрузки от соб-

ственного веса и вертикальной силы, расположенной в середине пролета, они будут соответственно равны:

$$\int_0^l Q_0^2 dx = \frac{q^2 l^3}{12 \cos^2 \alpha}; \quad (39)$$

$$\int_0^l Q_1^2 dx = \frac{q^2 l^3}{12 \cos^2 \alpha} + \frac{qPl^2}{4 \cos \alpha} + \frac{P^2 l}{4}. \quad (40)$$

Уравнение (38) и формулы (39) и (40) записаны для каната постоянного сечения и для вертикальной нагрузки, т. е. для несущего каната. При расчете тягово-несущего каната в уравнении (38) будет фигурировать среднее натяжение каната, а интегралы поперечных сил будут иметь другие значения.

Используя то обстоятельство, что в уравнении (38) перед последним членом стоит всегда знак минус и решение его даст только один действительный корень (два других — комплексно-сопряженные), расчет натяжений удобно вести по номограмме. Она отличается простотой построения и пользования, что дает основания считать о доступности ее широкому кругу инженерно-технических работников.

Рассмотрим ее построение. Уравнение (38) после введения обозначений

$$A_1 = \frac{EF_M \cos^2 \alpha}{2lT_0} \int_0^l Q_0^2 dx - T_0 \quad (41)$$

и

$$B_1 = \frac{EF_M \cos^2 \alpha}{2l} \int_0^l Q_1^2 dx \quad (42)$$

можно написать в виде

$$T_1^3 + A_1 T_1^2 - B_1 = 0. \quad (43)$$

Уравнение (41) после введения обозначения

$$B_0 = \frac{EF_M \cos^2 \alpha}{2l} \int_0^l Q_0^2 dx \quad (44)$$

можно также записать в виде

$$T_0^3 + A_1 T_0^2 - B_0 = 0. \quad (45)$$

Сравнивая уравнения (43) и (45), видно, что они имеют одинаковые коэффициенты во вторых членах. Это дает основание для связи уравнений для рабочего и первоначального натяжений при их графическом изображении. Коэффициенты же B_1 и B_0 одинаковы по структуре и отличаются только величиной. Поэтому в дальнейшем будем их обозначать B .

Таким образом, для обоих уравнений может быть построена одна номограмма. При ее построении по оси абсцисс откладываются значения B , а по оси ординат значения A_1 . После выбора диапазона изменений B и A и модуля шкал

$$m = \frac{\bar{A}_1}{A_1} \text{ и } n = \frac{\bar{B}}{B}$$

любое из уравнений (43) и (45) можно записать в форме

$$\frac{\overline{A}_1^3}{mT} - \frac{\overline{B}}{nT^3} + 1 = 0. \quad (46)$$

Это уравнение представляет семейство прямых с параметрами T , отсекающих на оси абсцисс и ординат соответственно отрезки mT и nT^3 . Задаваясь значением T , можно провести соответствующие прямые, при этом отрезки \overline{A}_1 откладываются с учетом знака.

Верхняя часть номограммы соответствует уравнениям вида

$$T^3 + A_1 T^2 - B = 0, \quad (47)$$

а нижняя — уравнениям

$$T^3 - A_1 T^2 - B = 0. \quad (48)$$

Ввиду большого диапазона изменений величины B номограмму целесообразно строить в логарифмическом масштабе или составной (из нескольких однотипных номограмм с разными диапазонами изменения величины B). Последний вид номограммы, состоящей из четырех номограмм, показан на рис. 4.

Для определения по номограмме искомой величины (рабочего или предварительного натяжения) необходимо знать коэффициенты B_1 и B_0 и одно из натяжений T_1 или T_0 . Тогда из точек на абсциссе восстанавливаются перпендикуляры, один из которых проводится до пересечения с известной величиной натяжения. Ответ берется в точке пересечения второго перпендикуляра с горизонталью через полученную точку на прямой известного натяжения.

В качестве примера определим натяжение в несущем канате ВТУ для следующих данных: грузоподъемность установки $P = 2000$ кг, длина и угол наклона пролета $l = 250$ м, $\alpha = 0$; канат диаметром 2,5 см, его вес 1 пог. м, $q = 2$ кг/м; площадь поперечного сечения $F_m = 2,3$ см²; модуль упругости $E = 10^6$ кг/см².

Рабочее натяжение найдем при двух значениях монтажного натяжения, равных $T'_0 = 1500$ кг и $T''_0 = 6000$ кг.

1. Провес каната в середине пролета от собственного веса будет равен:

$$f'_0 = \frac{ql^2}{8T'_0 \cos \alpha} = 10,4 \text{ м}; \quad f''_0 = \frac{ql^2}{8T''_0 \cos \alpha} = 2,6 \text{ м}.$$

2. Коэффициенты B_0 и B_1 , независящие от монтажного натяжения, определяются по формулам (44) и (42) с подстановкой значений интегралов:

$$B_0 = 2,4 \cdot 10^{10} \text{ кг}^3; \quad B_1 = 14,6 \cdot 10^{11} \text{ кг}^3.$$

Для этих значений B_0 и B_1 целесообразно использовать II и III части номограммы.

3. Из точки на оси абсцисс на номограмме III, соответствующей значению $B_0 = 2,4 \cdot 10^{10}$ кг³ восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с прямой, соответствующей натяжению $T'_0 = 1500$ кг. Далее, восстанавливаем перпендикуляр из точки, взятой на оси абсцисс на II номограмме, соответствующей значению $B_1 = 14,6 \cdot 10^{11}$ кг³, до пересечения

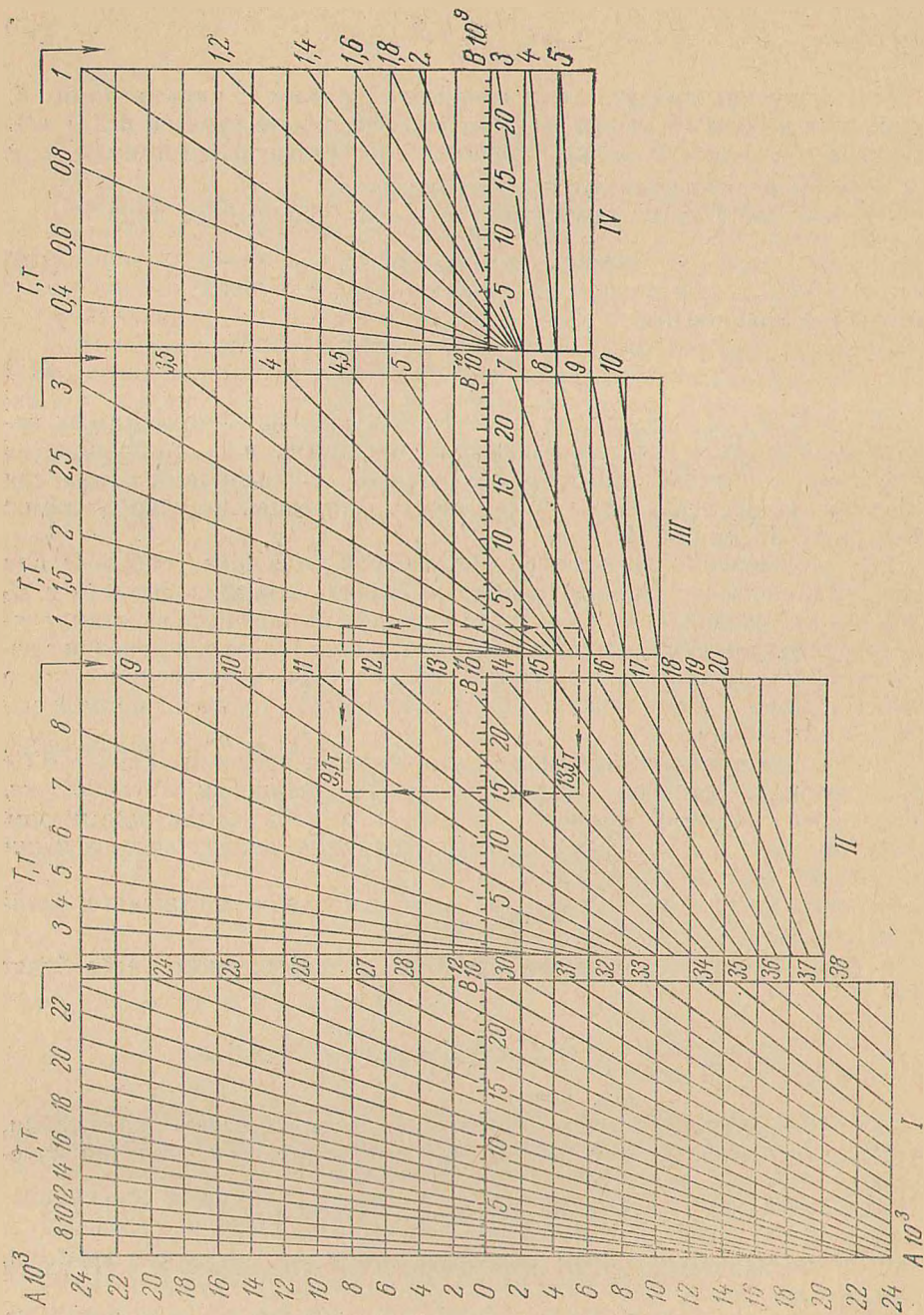


Рис. 4. Номограмма кубических уравнений для определения натяжений.

с горизонталью, проведенной через точку, полученную на прямой монтажного натяжения. Полученная точка пересечения укажет на величину рабочего натяжения, равного 9,1 т.

4. Провес каната под грузом, находящимся в середине пролета, определяется по известной зависимости

$$f_1' = \frac{M_6}{T_1 \cos \alpha} = 15,4 \text{ м},$$

где M_6 — балочный нагибающий момент в середине пролета от действия всей поперечной нагрузки.

Полученная величина провеса является довольно большой.

5. Для определения рабочего натяжения при монтажном, равном $T_0'' = 6 \text{ т}$, перпендикуляры опускаются из тех же точек B_0 и B_1 вниз до прямой, соответствующей монтажному натяжению, равному $T_0'' = 6 \text{ т}$, и в нижней части номограммы получим ответ: $T_1'' = 13,5 \text{ т}$.

Величина провеса каната в этом случае будет равна

$$f_1'' = \frac{M_6}{T_1'' \cos \alpha} = 10,4 \text{ м}.$$

Эта величина провеса с учетом высоты применяющихся обычно опор является более благоприятной.

В правильности проделанного расчета рабочих натяжений можно убедиться, если подставить полученные значения провесов в известную формулу

$$T_1 = \frac{l^2}{8f_1 \cos \alpha} \left(\frac{q}{\cos \alpha} + \frac{2P}{l} \right).$$

Следует указать, что непосредственное определение T_1 по принятым произвольно значениям f_1 будет неправильным, так как последние зависят от первоначальной длины каната при монтажном натяжении и его деформации под нагрузкой, т. е. относятся к числу неизвестных. На примере показано нахождение рабочего натяжения по предварительному. Аналогично решается и обратная задача.