УДК 675.055. 5.(088.8)

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛЕНТОЧНОГО НОЖА С БОЛЬШИМ МЕЖОСЕВЫМ РАССТОЯНИЕМ ДВОИЛЬНО-ЛЕНТОЧНОЙ МАШИНЫ

ЧУКБАЕВА А.М.
КГТУ им. И.Раззакова

Рассмотрена работа ленточного ножа как горизонтальной плоскоременной передачи при большом пролете, натяжение которого от собственного веса влияет на поддержание тяговой способности ленточного ножа при повышении его скорости

Рассмотрим расположение ленточного ножа двоильно-ленточной машины и отождествляем работу указанной машины с работой обычной плоскоременной передачи. Схема такой передачи представлена на рис.1.

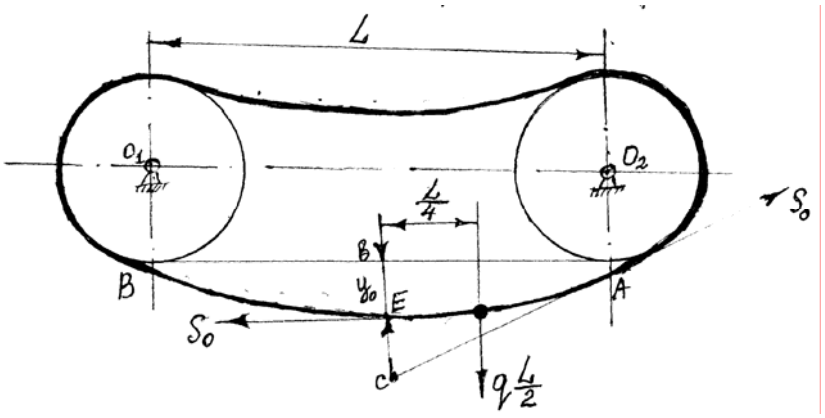

Рис.1. Схема ленточного ножа двоильно-ленточной машины

Сначала рассмотрим состояние покоя. При большом пролете в горизонтальных передачах ветви ленточного ножа заметно провисают и о первоначальном натяжении ленточного ножа S_o можно судить по стрелке провеса y_o, когда передача не работает. Установим связь между y_o и пролетом L, в предположении, что гибкая связь провисает по параболе [1].

Вырежем участок ремня величиной в половину пролета от точки А до точки Е, которая соответствует самой низкой точке параболы (рис.1). в точках А и Е действие оброшенной части ленточного ножа заменяем натяжением S_o, направленными по касательной к параболе. Направление линии действия натяжения в точке А по свойству параболы проходит у вершины параболы Е через точку С, находящуюся от точки *в*, от которой измеряется провес y_o, на величину $2y_o$. выделенный участок ленточного ножа имеет примерно вес $\frac{qL}{2}$, где q—погонный вес стального ленточного ножа (в данном случае в виду незначительности провеса y_o по сравнению с пролетом длина дуги $\overline{EA}$ приравнивается к ее проекции $\overline{вA}$). Составим уравнение равновесия выделенной части стального ленточного ножа в форме уравнения моментов относительно точки С

$$S_o y_o = \frac{qL}{2} \cdot \frac{L}{4},$$

откуда

$$y_o = \frac{qL^2}{8S_o} \qquad (1)$$

или

$$S_o = \frac{qL^2}{8y_o}, \qquad (2)$$

т.е. первоначальное натяжение ленточного ножа пропорционально погонному весу q стального ленточного ножа, квадрату пролета L и обратно пропорционально начальному провесу y_o.

Рассмотрим холостой ход рис.2. При холостом ходе передачи благодаря действию погонных центробежных сил С, вызывающих в ножевой ленте напряжение растяжения

$$\sigma_{ö} = \frac{q\upsilon^2}{qb\delta}, \qquad (3)$$

ленточный нож получает добавочное удлинение сравнительно с удлинением, обусловленным собственным весом при первоначальном провесе y_o. Поэтому провес y_x при холостом ходе будет больше y_o и определяющееся через него свободное натяжение S_x^1 ленточного ножа при холостом ходе будет меньше S_o

$$S_x^1 = \frac{qL^2}{8y_x} < S_o. \qquad (4)$$

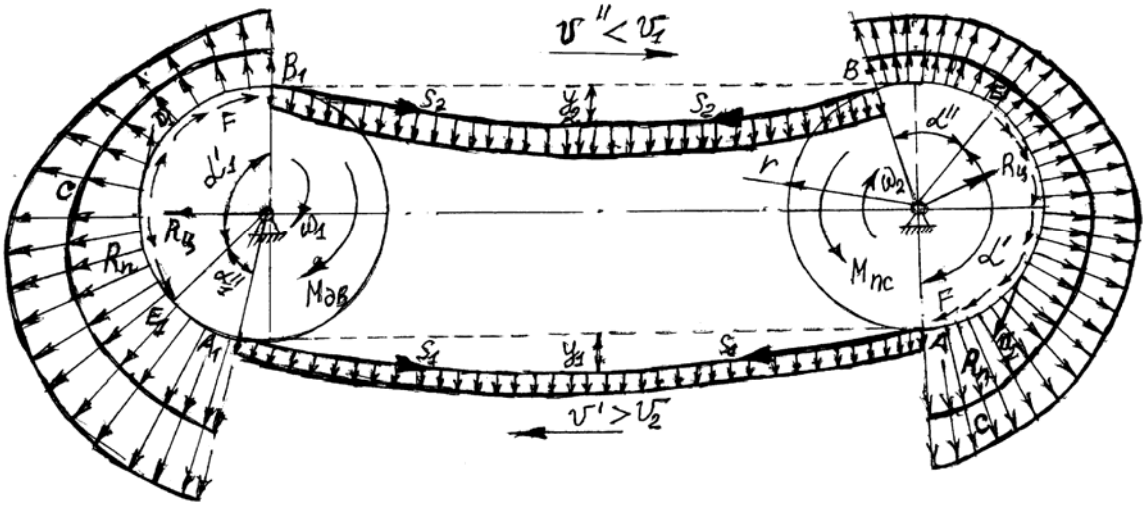

Рис. 2. Схема холостого хода ленточного ножа.

Полное натяжение при холостом ходе будет

$$S_x = \frac{qL^2}{8y_x} + \frac{q\upsilon^2}{g}. \qquad (5)$$

Если бы не было добавочного удлинения ленточного ножа от центральных сил, то имели бы

$$S_x^* = \frac{qL^2}{8y_o} + \frac{q\upsilon^2}{g}.$$

или

$$S_x^{11} = S_o + \frac{q\upsilon^2}{g}.$$

Так как $y_x > y_o$, то $S_x^* < S_x$, поэтому выражению (5) для S_x мы можем придать такую форму

$$S_x = S_o + \frac{q\upsilon^2}{g} - \Delta S_x^1, \qquad (6)$$

или

$$S_x^1 = S_o - \Delta S_x^1, \qquad (6а)$$

где ΔS_x^1 - уменьшение свободного натяжения ленточного ножа от добавочного его растяжения, обусловленного действием центробежных сил.

Займемся определением ΔS_x^1.

Относительное удлинение ε ленточного ножа, вызванное напряжением $\sigma_ц$ (3), будет

$$\varepsilon = \frac{\sigma_v}{\mathrm{E}} = \frac{q\upsilon^2}{gb\delta\mathrm{E}}, \qquad (7)$$

где E – модуль нормальной упругости стального ленточного ножа.

Абсолютное же удлинение половины общей длины ленточного ножа найдется из условия

$$\Delta\ell = \varepsilon\left[\ell + \frac{\pi(Д_1 + Д_2)}{4}\right], \qquad (8)$$

где ℓ - длина ветвей ленточного ножа, изогнутая по дуге, находящейся между точками набегания и сбегания их со шкивов.

Полагая провисание ленточного ножа по параболе (рис.1), длину дуги ***AB=ℓ*** можно выразить формулой

$$\ell = L\left(1 + \frac{8}{3}\cdot\frac{y_x^2}{L^2}\right). \qquad (9)$$

Дифференцируя это выражение по y_x, полагая $L=const$, получим

$$\Delta\ell = \frac{16}{3}\cdot\frac{y_x\Delta y_x}{L}. \qquad (10)$$

или

$$\Delta y_x = \frac{3L\Delta\ell}{16y_x}. \qquad (11)$$

Выше для свободного натяжения S_x^1 имели выражение (4)

$$S_x^1 = \frac{qL^2}{8y_x}.$$

Дифференцируя S_x^1 по y_x, получим

$$\Delta S_x^1 = -\frac{qL^2}{8y_x^2}\cdot\Delta y_x. \qquad (12)$$

Подставляя сюда значение Δy_x их (11) и $\Delta\ell$ из (8), с учетом выражений (7) и (9) найдем

$$\Delta S_x^1 = -\frac{3}{128}\cdot\frac{L^2}{y_x^3}\left[L+\frac{8}{3}\cdot\frac{y_x^2}{L}+\frac{\pi\left(\ddot{A}_1+\ddot{A}_2\right)}{4}\right]\frac{q^2\upsilon^2}{gb\delta E}. \qquad (13)$$

Полагая в первом приближении, что $y_x \approx y_o = const$ можно считать, что

$$\Delta S_x^1 = -\kappa\upsilon^2, \qquad (14)$$

где κ – некоторый коэффициент, объединяющий все постоянные величины в формуле (13).

Формула (14) показывает, что с ростом скорости, приращение натяжения ленточного ножа не положительна, а отрицательна, т.е. натяжение уменьшается, причем это уменьшение натяжения пропорционально квадрату скорости.

Поскольку в формуле (6) S_x^1 есть не приращение, а уменьшение натяжения, то ее с учетом (14) следует переписать так:

$$S_x = S_o + \frac{q\upsilon^2}{g} - \kappa\upsilon^2 \qquad (15)$$

или

$$S_x^1 = S_o - \kappa\upsilon^2. \qquad (16)$$

Так как реакция $R_ц$ в цапфах шкива, если пренебречь наклоном ветвей ленточного ножа, как и в случае вертикальных передач удовлетворяет условию [1]

$$R_ц = 2\,S_x^1,$$

то на основании (16) получим

$$R\ddot{o} = 2\left(S_o - \kappa\upsilon^2\right), \qquad (17)$$

т.е. с ростом скорости реакция в цапфах уменьшается.

Рассмотрим рабочий ход (рис.2). здесь, как и в предыдущих условиях, $S_1 > S_2$. Связь этих натяжений S_1 и S_2 с натяжением холостого хода S_x в данном случае получается из следующих соображений. На основании формулы (4) свободное натяжение ветвей ленточного ножа при холостом ходе будет обратно пропорционально его провесу. График этой зависимости представлен на рис.3. Как видно из графика, здесь

$$S_x^1 < \frac{S_1^{'} + S_2^{'}}{2}.$$

Представим эту зависимость в виде равенства

$$HS_x^{'} = \frac{S_1^{'} + S_2^{'}}{2}, \qquad (18)$$

где H – некоторый коэффициент >1, учитывающий гиперболическую зависимость между свободным натяжением S_x^1 и провесом y_x. переходя от свободных натяжений к полным получим

$$H\left(S_x - \frac{q\upsilon^2}{g}\right) = \frac{S_1 + S_2}{2} - \frac{q\upsilon_2}{g}$$

или

$$\frac{S_1 + S_2}{2} = HS_x - \frac{q\upsilon^2}{g}\left(H-1\right). \qquad (19)$$

Например, для стального ленточного ножа, работающего при первоначальном напряжении $\sigma_o = 30$ *Мн /м*^{2}[2], с пролетом $L = 2M$ и с рабочим напряжением $\sigma_p = 23$ *Мн /м*^{2}, коэффициент $H = 1{,}9$. При меньшем рабочем напряжении он будет соответственно ниже. Ввиду незначительности величины этого коэффициента для дальнейших расчетов примем $H=1$, и вместо зависимости (19) получим более простую формулу

$$\frac{S_1 + S_2}{2} + S_x, \qquad (20)$$

на которую мы уже ориентировались и в передачах, рассмотренных в работе [1]. Однако раньше к зависимости (19) мы приходили, пренебрегая изменением модуля упругости E гибкой связи, а в данном случае мы к ней приходим заменой на некотором участке гиперболической зависимости напряжения от провисания зависимостью прямолинейной, что, как видим, приводит к одним и тем же результатам.

На основании соотношений ([1], стр.644, выражение (7)), даваемых формулой Эйлера ([1], стр.643, выражение (5)), и условия (20), также как и раньше придем к выражению для передаваемого ленточным ножом тяговое усилие Q в виде

$$Q = Rц\cdot\frac{\ell^{f\alpha^{'}} - 1}{\ell^{f\alpha^{'}} + 1}. \qquad (21)$$

С учетом уравнения (17), выражение (21) дает

$$Q = 2 \cdot \frac{\ell^{f\alpha'} - 1}{\ell^{f\alpha'} + 1}\left(S_o - \kappa\upsilon^2\right) \neq const \text{ , (22)}$$

т.е. противоположность случаю вертикальных передач с оттяжным шкивом тяговое усилие с ростом скорости υ снижается, хотя и в меньшей степени, чем в случае вертикальных передач при $L=const$, ввиду малого значения коэффициента κ (см. граф. рис.3).

$$\varphi = \frac{Q}{2S_o} = \frac{S_o - \kappa\upsilon^2}{S_o} \cdot \frac{\ell^{f\alpha'} - 1}{\ell^{f\alpha'} + 1} \neq const \text{ , (23)}$$

т.е. коэффициент тяги также снижается с ростом скорости.

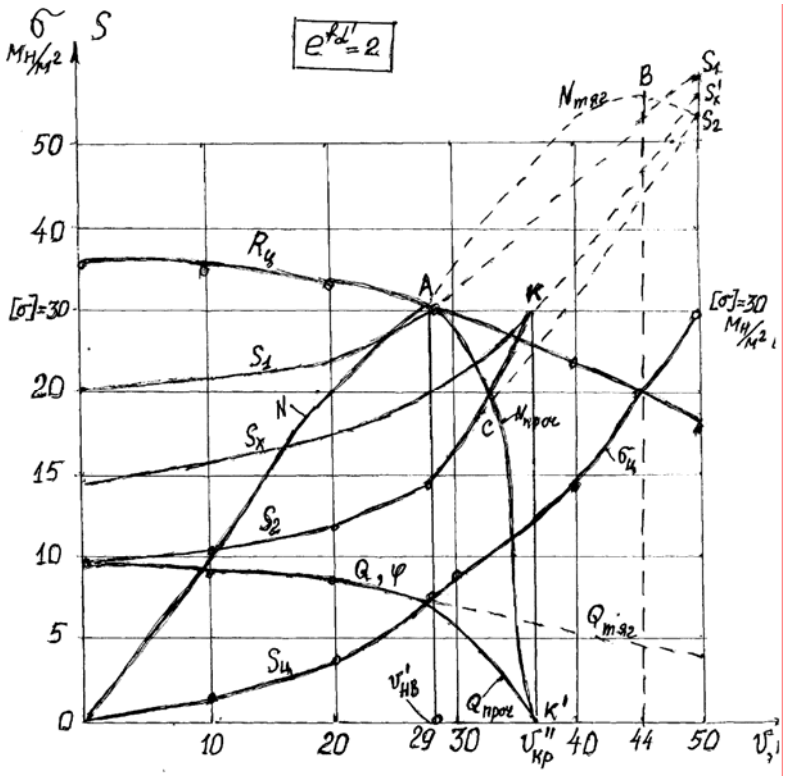

Рис. 3. Рабочие характеристики горизонтальных передач ленточного ножа.

На рис.3 произведено построение графиков рабочих характеристик горизонтальных передач ленточного ножа двоильно-ленточной машины с большим межосевым расстоянием L $(L=const)$; графики построены в предположении, что $\ell^{f\alpha'} = 2$ и $[\sigma]=30 Мн/м^2$. По оси абсцисс отложены скорости ленточного ножа υ *м/с*, а по оси ординат – различные механические параметры передачи, аналогичные рассмотренным графикам, изображенных ременных передач [1].

При рассмотрении графиков в первую очередь строится кривая $S_ц$ или, что то же, кривая для $\sigma ц = \frac{Sц}{b\delta} = \frac{q\upsilon^2}{gb\delta}$.

При построении кривой для реакции $R_ц$, которая связана с коэффициентом κ, определяемым в общем случае из уравнения (13) при $y_x \approx y_o = const$, было принято, что график $R_ц$ при $\upsilon'_{нв} = 29 м/с$ проходит через точку A на уровне $[\sigma]=30 Мн/м^2$ (основания к этому такие же, какие подробно были рассмотрены ранее для случая вертикальных передач с оттяжным шкивом), а при $\upsilon=0$ – пересекает ось ординат на уровне $1,15$ $[\sigma]=1,15$ $*30=34,5 Мн/м^2$.Поэтому для определения κ служит уравнение (17) примененное при $\upsilon = \upsilon'_{нв} = 29 м/с$

$$Rц = 25в\delta = 2\left(14,25в\delta - \kappa 29^2\right).$$

Определив κ, предварительно задавшись сечением стального ленточного ножа $в\delta$, можно построить кривые для $R_ц$ и S_x, имея в виду, что

$$Rц = 2\left(S_o - \kappa\upsilon^2\right) \quad \text{и}$$

$$S_x = S_o + \frac{q\upsilon^2}{g} - \kappa\upsilon^2 .$$

Затем строится кривая для Q,

учитывая, что при $\ell^{f\alpha'} = 2$

$$Q = R\text{ц} \cdot \frac{\ell^{f\alpha'} - 1}{\ell^{f\alpha'} + 1} = \frac{R\ddot{o}}{3}$$

Имея кривые для Q и S_x, нетрудно построить графики для S_1 и S_2, принимая во внимание, что

$$Q = S_1 - S_2 \quad \text{и} \quad S_x = \frac{S_1 + S_2}{2},$$

откуда

$$S_1 = \frac{2S_x + Q}{2} \quad \text{и} \quad S_2 = \frac{2S_x - Q}{2}.$$

Как видно из графика (рис.3), кривые для S_1 и S_2 являются сходящимися, т.е. по степени сближения друг с другом. Кривая для S_x пересекает прямую $[\sigma]=30 Мн/м^2$ в точке K. Точка K соответствует скорости $\upsilon''_{кр}$, выше которой передачу нельзя использовать даже при холостом ходе, из-за условий, накладываемых прочностью ленточного ножа.

Кривая мощности строится по уравнению $N = \frac{Q\upsilon}{102}$. Ее график OAВ имеет вид слегка выпуклой кривой, построенной в таком масштабе, что она проходит через точку A – пересечения линии $[\sigma]$ с линией $\upsilon'_{нв} = 29 м/с$. Хотя по тяговой способности ленточного ножа ограничений в передаваемой мощности нет, вплоть до $\upsilon=50$ $м/с$ и выше. Однако, начиная с режима, отвечающего точке A, передаваемую мощность приходится снижать по кривой ACK' из-за условий, накладываемых прочностью ленточного ножа. Соответственно снижается и окружное усилие Q. Кривая коэффициента тяги при соответствующем выборе масштаба совпадает с кривой Q.

Произведенный разбор условий работы горизонтальной передачи при большом пролете показывает, что натяжение ленточного ножа от собственного веса, определяемое провесом ветвей ленточного ножа, положительно влияет на поддержание тяговой способности ленточного ножа при повышении его скорости. По виду кривых рабочих характеристик этот случай передачи приближается приведенным вертикальным передачам с оттяжным шкивом [1]. Как и в том случае, после достижения $\upsilon''_{кр}$ ограничения в передаваемой мощности возникает не из-за потери тяговой способности, а из-за условия, накладываемого прочностью ленточного ножа.

Литература

1. Поляков В.С., Кудрявцев В.Н., Зубанов М.П.и др. Детали машин: Для ВТУЗов. / Под ред. Н.И.Колчина. - М.:-Л.: Машгиз, 1954. -720 с.
2. Писаренко Г.С.,.Агарев В.А, Квитка В.Л. и др. Курс сопротивления материалов / Под ред. Г.С.Писаренко. – Киев: АН Украинской ССР, 1964. - 468 с.