Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института, т. XXXIII, вып. I, 1956 г.

ПОГРЕШНОСТИ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

А. М. Факторович

Один из широко применяемых в настоящее время методов расчета ленточных конвейеров состоит в предварительном расчете, исходным положением которого является ориентировочно определяемая величина мощности на приводном валу конвейера, и в окончательном расчете — способом определения натяжений в характерных точках контура тягового органа. При этом методе точность окончательного расчета зависит от точности определения предварительным расчетом веса погонного метра ленты. Практика расчетов показывает, что в ряде случаев погрешность при предварительном определении веса ленты может достигать значительной величины, в результате чего окончательный расчет оказывается недостаточно точным.

Основные погрешности предварительного расчета заключаются в следующем: 1) максимальное натяжение ленты определяется формулой, которая справедлива не для всех встречающихся в практике случаев; 2) вес движущихся частей конвейера принимается ориентировочно.

Исследование этих погрешностей имеет особенно большое значение в связи с тем, что в некоторых учебниках (например, И. Б. Нерославского [1]) и инструкциях по проектированию (например, Министерства черной металлургии СССР [2]) расчет рекомендуется производить только предварительным методом.

При предварительном определении веса погонного метра ленты максимальное натяжение ее

$$S_л = w_0 \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} = w_0 k_0, \qquad (1)$$

где $S_л$ — максимальное натяжение ленты, *кг*;
w_0 — тяговая сила на окружности приводного барабана, *кг*;
e — основание натуральных логарифмов;
μ — коэффициент сцепления ленты с барабаном;
α — угол обхвата лентой барабана, радианы;

$$k_0 = \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1}$$

Формула (1) получена на основании уравнения, устанавливающего зависимость между максимальным и минимальным натяжениями тягового органа в зоне обхвата приводного барабана. Поэтому формула применима только в тех случаях, когда точки максимального и минимального натяжений ленты находятся в зоне обхвата приводного барабана.

В ряде случаев, в частности, при самодействующей установке с движением груза вниз, точки максимального и минимального натяжений ленты находятся в противоположных концах установки, и следовательно, к ним не применима приведенная выше методика расчета. На это обстоятельство указывал в 1939 г. В. И. Геронтьев [3]. Однако в более поздних трудах это положение не отмечается, и даже многими авторами рекомендуется единая методика расчета для всех случаев. Практика же расчетов показывает, что при пользовании приведенным выше общепринятым методом расчета величина погрешности для самодействующей установки получается недопустимо большой. Причина этой погрешности заключается в следующем.

При самодействующей установке и расположении привода вверху максимальное натяжение тягового органа будет в точке *1*, а минимальное в точке *2* (рис. 1, *а*). Предварительным же расчетом, исходя из условия отсутствия скольжения ленты по барабану, определяется натяжение в точках *1* и *4*, находящихся в зоне обхвата лентой приводного барабана. Однако в данном случае точка *4* не является точкой минимального натяжения, а поэтому величина натяжения в этой точке должна определяться дополнительным условием — обеспечением положительной величины натяжения в точке минимального натяжения *2*.

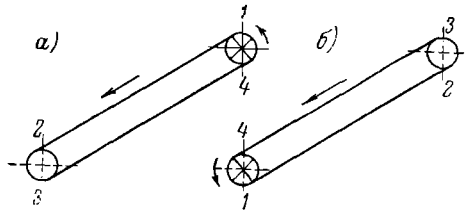


Рис. Схемы установки ленточного конвейера

Для выполнения последнего условия необходимо, чтобы

$$S_4 = k_б S_2 + w_х, \tag{2}$$

где S_4, S_2 — натяжения в точках *4* и *2*, *кг*;
$k_б$ — коэффициент, учитывающий сопротивление на хвостовом барабане;
$w_х$ — сопротивление движению холостой ветви, *кг*.

Предварительный метод расчета не предусматривает второго условия, поэтому натяжения в точках *4* и *1* получаются меньше фактических.

Найдем величину погрешности для самодействующей установки с расположением привода вверху. В этом случае истинная величина максимального натяжения тягового органа (рис. 1, *а*)

$$S_{max} = S_{min} - w_г, \tag{3}$$

где S_{min} — минимальное натяжение тягового органа, *кг*;
$w_г$ — сопротивление движению грузовой ветви конвейера, *кг*.

Согласно предварительному расчету, максимальное натяжение тягового органа без учета сопротивлений на хвостовом барабане

$$S_л = S_{наб} e^{\mu\alpha} = (S_{сб} + w_г + w_х)\, e^{\mu\alpha} = (S_л + w_г + w_х)\, e^{\mu\alpha} = \\ = -\frac{w_г + w_х}{1 - \frac{1}{e^{\mu\alpha}}}, \tag{4}$$

где $S_{наб}$, $S_{сб}$ — натяжение тягового органа соответственно в точках набегания на приводной барабан и сбегания с барабана.

Величина относительной погрешности предварительного расчета для рассматриваемого случая

$$\delta = \left(\frac{S_{max}}{S_л} - 1\right) 100 = \left[\frac{(w_г - S_{min})\left(1 - \frac{1}{e^{\mu\alpha}}\right)}{w_г + w_х} - 1\right] 100. \quad (5)$$

Сопротивления движению грузовой и холостой ветвей конвейера могут быть представлены в упрощенном виде

$$w_г = L\,[(q + q_л + q_р')\,w' \cos\beta - (q + q_л)\sin\beta], \quad (6)$$

$$w_х = L\,[(q_л + q_р'')\,w' \cos\beta + q_л \sin\beta], \quad (7)$$

где L — длина конвейера, *м*;

q — вес полезного груза, приходящегося на 1 *пог. м* рабочей ветви, *кг/м*;

$q_л$ — вес 1 *пог. м* ленты, *кг/м*;

$q_р'$ и $q_р''$ — вес вращающихся частей роликоопор грузовой и холостой ветвей, приходящийся на 1 *пог. м* установки, *кг*;

w' — коэффициент сопротивления движению тягового органа;

β — угол наклона установки, град.

Подставим в формулу (5) вместо $w_г$ и $w_х$ их значения, тогда

$$\delta = \left\{\frac{\{L\,[(q + q_л + q_р')\,w' \cos\beta - (q + q_л)\sin\beta] - S_{min}\}\left(1 - \frac{1}{e^{\mu\alpha}}\right)}{L\,[(q + 2q_л + q_р' + q_р'')\,w' \cos\beta - q \sin\beta]} - 1\right\} 100. \quad (8)$$

Подсчеты по формуле (8) показывают, что относительная величина погрешности при определении максимального натяжения тягового органа предварительным методом расчета в случае самодействующей установки с расположением привода вверху достигает более 100%, что явно неприемлемо.

Для самодействующей установки с расположением привода внизу предварительный метод расчета следует признать принципиально неприемлемым, так как максимальное натяжение тягового органа находится вне зоны обхвата лентой ведущего барабана.

Найдем величину поправки, которую необходимо внести в предварительный метод расчета при определении максимального натяжения ленты в случаях, когда максимальное или минимальное натяжение ленты находится вне зоны обхвата лентой барабана.

Для наклонной установки с движением груза вверх при расположении привода вверху и отрицательной величине сопротивления движению холостой ветви точка максимального натяжения ленты будет находиться в точке набегания грузовой ветви на приводной барабан, а точка минимального натяжения ленты — в точке набегания холостой ветви на хвостовой барабан. Поэтому при определении максимального натяжения по формуле (1) будет иметь место погрешность. Величина ее, как показало исследование приведенным выше способом, не превышает 15%, что можно считать вполне допустимым.

Найдем величину поправки, которую необходимо внести при определении максимального натяжения ленты для самодействующей установки с расположением привода вверху. В этом случае необходимо, чтобы:

1) из условия непроскальзывания ленты по барабану

$$S_{наб} > \frac{S_{сб}}{e^{\mu\alpha}};$$

2) из условия обеспечения положительной величины натяжения во всех точках тягового органа

$$S_{\min} = \frac{S_{\text{наб}} - w_{\text{х}}}{k_{\text{б}}} > 0 \text{ или } S_{\text{наб}} > w_{\text{х}}.$$

Чтобы удовлетворить во всех случаях обоим условиям, а также учитывая необходимость запаса сил натяжения ленты, целесообразно принять

$$S_{\text{наб}} = \frac{S_{\text{сб}}}{e^{\mu\alpha}} + w_{\text{х}},$$

тогда

$$S_{\min} = \frac{S_{\text{сб}}}{k_{\text{б}} e^{\mu\alpha}} = \frac{S_{\max}}{k_{\text{б}} e^{\mu\alpha}}$$

Учитывая, что коэффициент $k_{\text{б}}$ мало отличается от единицы, можно считать

$$S_{\min} = \frac{S_{\max}}{e^{\mu\alpha}}.$$

Величина поправки, которую необходимо внести при определении максимального натяжения ленты на основании формул (3) и (4), будет следующая:

$$\Delta_1 = S_{\max} - S_{\text{л}} = S_{\min} - w_{\text{г}} + \frac{w_{\text{г}} + w_{\text{х}}}{1 - \frac{1}{e^{\mu\alpha}}}. \tag{9}$$

Величина минимального натяжения ленты

$$S_{\min} = \frac{S_{\max}}{e^{\mu\alpha}} = \frac{S_{\text{л}} + \Delta_1}{e^{\mu\alpha}} \tag{10}$$

Подставим значение $S_{\min}$ из выражения (10) в формулу (9). После соответствующих преобразований получим

$$\Delta_1 = \left(\frac{S_{\text{л}}}{e^{\mu\alpha}} - w_{\text{г}} + \frac{w_{\text{г}} + w_{\text{х}}}{1 - \frac{1}{e^{\mu\alpha}}} \right) \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} \tag{11}$$

Подставим значение $S_{\text{л}}$ из выражения (4) в уравнение (11). После элементарных преобразований

$$\Delta_1 = \frac{e^{\mu\alpha} w_{\text{х}}}{e^{\mu\alpha} - 1} = k_0 w_{\text{х}}. \tag{12}$$

Таким образом, максимальное натяжение ленты для рассматриваемого случая

$$S_{\max} = k_0 w_0 + \Delta_1 = k_0 (w_0 + w_{\text{х}}). \tag{13}$$

Вторая погрешность предварительного расчета связана с тем, что вес движущихся частей конвейера принимается постоянной величиной для данной ширины ленты независимо от числа ее прокладок, определяемых ее натяжением.

Чтобы избежать этой погрешности, найдем выражение для определения веса ленты по максимальному статическому натяжению. Вес 1 *пог. м* ленты в зависимости от элементов ее конструкции выражается общепринятой формулой

$$q_{\text{л}} = 1{,}1B (S'i + S_0), \tag{14}$$

где B — ширина ленты, *м*;

S' — толщина ленты, приходящаяся на одну прокладку, *мм*;
i — число прокладок ленты;
S_0 — толщина верхней и нижней обкладок, *мм*.

Потребное число прокладок ленты в зависимости от ее максимальной статической нагрузки

$$i = \frac{S_{max}\, m}{100 B k_z}, \tag{15}$$

где m — запас прочности ленты;
k_z — временное сопротивление разрыву 1 *пог. см* ширины одной прокладки, *кг/см*.

Заменив в формуле (14) величину i ее значением из формулы (15), получим

$$q_л = 1{,}1B\left(\frac{S_{max}\, mS'}{100Bk_z} + S_0\right). \tag{16}$$

Подставим значение S_{max} из формулы (13) в выражение (16)

$$q_л = 1{,}1B\left[\frac{mS'k_0(w_0 + w_x)}{100Bk_z} + S_0\right]. \tag{17}$$

Величина тяговой силы на окружности приводного барабана

$$w_0 = -\frac{102N_0}{v}, \tag{18}$$

где N_0 — мощность на валу приводного барабана, *квт*:
v — скорость движения ленты, *м/сек*.

Заменим в формуле (17) величину w_0 ее значением из выражения (18)

$$q_л = 1{,}1B\left[\frac{-mS'k_0(102N_0 - w_x v)}{100Bk_z v} + S_0\right]. \tag{19}$$

Мощность на валу приводного барабана может быть выражена общепринятой формулой

$$N_0 = \varphi_x(2q_л + q_p' + q_p'')Lv + QL(\varphi_г \pm 28\cdot 10^{-4}\sin\beta), \tag{20}$$

где Q — расчетная производительность, *т/час*;
φ_x, $\varphi_г$ — коэффициенты, принимаемые в зависимости от типа подшипников роликоопор.

Подставив в выражение (19) значение величин w_x и N_0 соответственно из формул (7) и (20), получим

$$q_л = \frac{-112mS'k_0L\left[\varphi_x(2q_л + q_p' + q_p'')v + Q(\varphi_г - 28\cdot 10^{-4}\sin\beta)\right]}{100k_z v} +$$

$$+ 1{,}1B\left\{\frac{mS'k_0Lv\left[(q_л + q_p'')w'\cos\beta + q_л\sin\beta\right]}{100Bk_z v} + S_0\right\}. \tag{21}$$

Решая уравнение (21) относительно $q_л$, получим зависимость для определения веса 1 *пог. м* ленты

$$q_л = \frac{-mS'k_0L\left\{102\left[\varphi_x(q_p' + q_p'') + \frac{Q}{v}(\varphi_г - 28\cdot 10^{-4}\sin\beta)\right] - q_p''w'\cos\beta\right\} + 100Bk_zS_0}{91k_z + mS'k_0L(204\varphi_x - w'\cos\beta - \sin\beta)}. \tag{22}$$

Выражение (22) может быть упрощено с сохранением достаточной степени точности, необходимой для практических целей, путем подстановки в него постоянных или близких им средних значений величин.

В соответствии с существующими практическими данными можно принять: $m = 12$; $\varphi_x = 55 \cdot 10^{-5}$; $\varphi_2 = 15 \cdot 10^{-5}$; $w' \cos\beta = 0{,}05$. Величиной $q_р'' w' \cos\beta$ можно пренебречь. Тогда уравнение (22) после соответствующих преобразований будет иметь вид

$$q_л = \frac{-15 \cdot 10^{-3} S' k_0 L \left[3{,}7 (q_р' + q_р'') + \frac{Q}{v} (1 - 19 \sin\beta)\right] + 8{,}3 B k_z S_0}{7{,}6 k_z + S' k_0 L (0{,}05 - \sin\beta)} \qquad (23)$$

Рассмотрим случай самодействующей установки расположением привода внизу (рис. 1, *б*)

$$S_4 = S_{наб} = S_{min}, \qquad (24)$$

$$S_3 = S_{max} = S_4 - w_г = S_{min} - w_г. \qquad (25)$$

Выражение (25) полностью совпадает с формулой (3), поэтому вес 1 *пог. м* ленты и для этого случая может быть определен по формуле (23).

Таким образом, в результате анализа погрешностей и внесенных коррективов предварительный расчет для случая самодействующей установки дает достаточную степень точности. Ход предварительного расчета при этом следующий. Определяется: 1) вес 1 *пог. м* ленты по формуле (23); 2) мощность на валу приводного барабана по формуле (20); 3) число прокладок ленты на основании формулы (14). В последних двух формулах вес ленты принимается согласно выражению (23).

Выводы

1. Предварительный метод расчета ленточных конвейеров для самодействующей установки дает значительную погрешность, которая резко влияет на точность окончательного расчета. Поэтому общепринятая методика расчета ленточных конвейеров в этом случае неприменима.

2. Погрешность предварительного расчета является следствием:

а) неправильного применения формулы Эйлера и Жуковского для тех случаев установки, когда точки максимального или минимального натяжения ленты находятся вне зоны обхвата лентой ведущего барабана;

б) введения в расчет недостаточно точного значения величины веса движущихся частей конвейера.

3. Предлагаемый способ дает возможность избежать указанных погрешностей и непосредственно по одной формуле определить вес 1 *пог. м* ленты в зависимости от основных условий транспортирования.

Литература

1. Нерославский И. В. Грузоподъемные и транспортные устройства. Металлургиздат, 1950.

2. Руководство по эксплуатации, ремонту и выбору прорезиненных лент и приводных ремней. Металлургиздат, 1953.

3. Геронтьев В. И. Рудничный транспорт. Изд. Ленинградского горного института, 1939.