

## РАСЧЕТ ПРИВОДА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА С УРАВНИТЕЛЬНЫМ НАТЯЖНЫМ УСТРОЙСТВОМ

### THE CALCULATION OF THE BELT CONVEYOR DRIVE WITH EQUALIZING TENSION DEVICE

Рассмотрим привод ленточного конвейера (ЛК), например 2Л80 [1], включающий два приводных барабана, и уравнильное натяжное устройство (НУ), состоящее из двух натяжных барабанов (НБ), соединенных полиспастом (рис. 1). Натяжение каната полиспаста контролируется с помощью гидродатчика. Данный привод конструктивно связан с НУ, и анализ его работы отдельно от НУ невозможен.

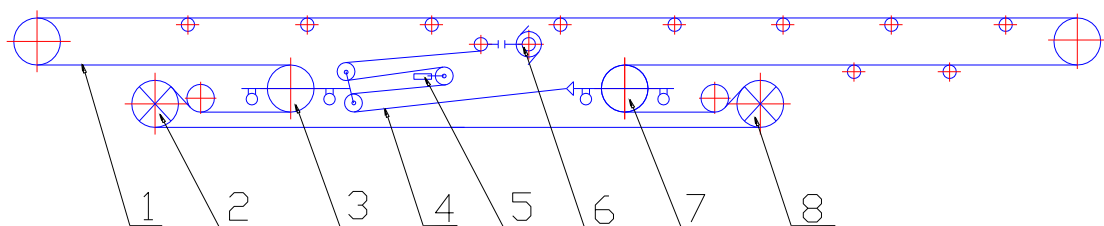


Рис. 1. Схема привода ЛК: 1 – лента конвейера, 2 – первый приводной барабан, 3 – левый НБ, 4 – канат полиспаста, 5 – гидродатчик, 6 – лебедка НУ, 7 – правый НБ, 8 – второй приводной барабан

Целью расчета является определение основных параметров, необходимых для проектирования привода.

#### *Силовой анализ привода и НУ*

Из условий равновесия НБ без учета сил сопротивления движению тележек НБ и вращению блоков полиспаста следует, что

$$S_{1nb} = k_n S_K / 2, \quad S_{2cb} = S_K / 2, \quad (1)$$

где  $S_{1nb}$  – сила натяжения ленты, набегающей на первый приводной барабан;  $S_{2cb}$  – сила натяжения ленты, сбегающей со второго приводного барабана;  $S_K$  – сила натяжения каната полиспаста,  $k_n$  – кратность полиспаста.

Суммарная сила тяги двух приводных барабанов

$$W_{\Sigma} = S_{1nb} - S_{2cb} = S_{2cb} (k_n - 1). \quad (2)$$

Суммарная сила тяги  $W_{\Sigma}$  ограничена тяговой способностью

приводных барабанов [2]

$$W_{\Sigma} \leq S_{2cb} [\exp \mu(\alpha_1 + \alpha_2) - 1] \quad (3)$$

где  $\mu$  – коэффициент сцепления конвейерной ленты с поверхностью приводных барабанов,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – центральные углы дуг охвата лентой первого и второго приводных барабанов.

Таким образом, из (2) и (3) следует, что кратность полиспаста НУ ограничена сверху условием  $k_n \leq [k_n]_{max}$ ,

$$\text{где } [k_n]_{max} = \exp \mu(\alpha_1 + \alpha_2) \quad (4)$$

Превышение предельной кратности полиспаста  $k_n > [k_n]_{max}$  приводит к буксованию ленты на приводных барабанах. Занижение величины кратности  $k_n < [k_n]_{max}$  ведет к неполному использованию тяговой способности привода, необходимости увеличения силы натяжения ленты  $S_{2cb}$  и использованию более прочных лент.

Кратность полиспаста ограничена снизу гарантированной величиной тягового усилия  $[W_{\Sigma}]$

$$[W_{\Sigma}] = S_{1nb} [1 - 1/k_n] \quad (5)$$

Из (4) найдем минимальное допустимое значение кратности полиспаста  $[k_n]_{min}$

$$[k_n]_{min} = (1 - [W_{\Sigma}] / S_{1nb})^{-1} \quad (6)$$

Таким образом, допустимые значения  $k_n$  ограничены условием

$$[k_n]_{min} \leq k_n \leq [k_n]_{max} \cdot$$

Например, для привода конвейера 2Л80 с мощностью привода  $N = 80$  кВт при скорости движения ленты  $V = 1,6$  м/с и коэффициенте полезного действия (КПД) привода  $\eta_n = 0,96$   $[W_{\Sigma}] = N\eta_n / V = 48$  кН. Тогда при полном использовании прочности ленты  $S_{nb} = 60$  кН из (6) следует, что  $[k_n]_{min} = 5$ . При  $\alpha_1 + \alpha_2 = 440^\circ$  и  $\mu = 0,3$   $[k_n]_{max} = 10,01$ . То есть, рассматриваемый привод должен иметь полиспаст НУ с кратностью 5...10, а 4-кратный полиспаст НУ не позволяет создать гарантированную величину силы тяги  $[W_{\Sigma}]$ .

При движении тележек левого и правого НБ возникают силы сопротивления движению  $F_{C1}$  и  $F_{C2}$ , направленные противоположно направлению скорости тележек. Силы натяжения каната ветвей полиспаста при неподвижном барабане лебедки НУ определяются соотношениями:

$$S_{ki} = S_{k1} \eta^{i-1} \quad , \text{ если НБ перемещаются влево,}$$

$$S_{ki} = S_{k1} / \eta^{i-1} \quad , \text{ если НБ перемещаются вправо,}$$

где  $S_{k1}$  – сила натяжения 1-й ветви каната полиспаста,  $S_{ki}$  – сила натяжения  $i$ -й ветви каната полиспаста (рис. 2),  $\eta$  – КПД блока полиспаста.

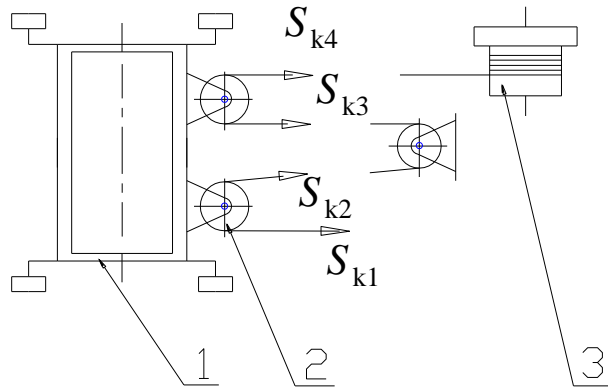


Рис. 2. Схема 4-кратного полиспаста НУ:

1 – тележка левого НБ, 2 – блоки полиспаста, 3 – барабан лебедки НУ.

Тогда с учетом сил сопротивления движению соотношения (1) принимают вид

$$S_{1nb} = (S_{2cb} + F_{C2}/2) \sum_{i=1}^{k_n} 1/\eta^{i-1} + F_{C1}/2, \quad \text{если НБ перемещаются влево,} \quad (7)$$

$$S_{1nb} = (S_{2cb} - F_{C2}/2) \sum_{i=1}^{k_n} \eta^{i-1} - F_{C1}/2, \quad \text{если НБ перемещаются вправо.} \quad (8)$$

Из (7) и (8) следует, что отношение сил натяжения ленты  $S_{1nb}/S_{2cb}$  не остается постоянным при работе НУ. После перемещения НБ влево отношение  $S_{1nb}/S_{2cb}$  больше, чем после перемещения НБ вправо. Так при  $F_{C1} = F_{C2} = 0,4$  кН,  $k_n = 4$ ,  $\eta = 0,98$ ,  $S_{2cb} = 15$  кН после перемещения НБ влево  $S_{1nb}/S_{2cb} = 4,19$ , а после перемещения НБ вправо  $S_{1nb}/S_{2cb} = 3,82$ .

С учетом (7) и (8) определим минимально необходимую для перемещения обоих НБ силу тяги лебедки НУ

$$S_{Л} = [(2S_{1nb} + F_{C1})/k_n \sum_{i=1}^{k_n} \eta^{i-1} + (2S_{2cb} + F_{C2})]/\eta^{k_n-1}. \quad (9)$$

Из (2) следует, что сила тяги  $W_{\Sigma}$  привода с уравнительным НУ при изменении сопротивления движению ленты изменяется за счет силы натяжения ленты  $S_{2cb}$ .

В приводах ЛК с грузовым или лебедочным НУ, поддерживающими постоянное натяжение ленты сбегавшей ветви, сила тяги  $W_{\Sigma}$  изменяется за счет величин дуг скольжения ленты на приводных барабанах.

#### Анализ перемещений НБ

Определим перемещения НБ после навески и начального натяжения ленты, а также при изменении загрузки конвейера и перестыковке ленты. Без учета удлинения каната основные геометрические зависимости, определяющие положение НБ, имеют вид

$$L_n + x_2 - x_1 = const, \quad k_n \Delta_{x1} = \Delta_{x2},$$

где  $L_n$  – длина нерастянутой ленты (м),  $x_1$  и  $x_2$  – координаты левого и правого НБ,  $\Delta_{x1}$  и  $\Delta_{x2}$  – изменения координат левого и правого НБ.

После навески ленты на конвейер канат НУ натягивают лебедкой. Для начального натяжения ленты один из НБ необходимо зафиксировать, например, установить правый упор правому НБ.

Предварительное натяжение ветви каната, набегающей на барабан лебедки НУ, с силой  $S_{ко}$  обеспечивает натяжение ленты у левого НБ до величины  $S_{10}$  при условии, что правый НБ был зафиксирован.

$$S_{10} = (S_{ко} \sum_{i=1}^{k_n} \eta^{i-1} - F_{C1}) / 2 \quad . \quad (10)$$

Величина предварительного натяжения ленты  $S_0(x)$  изменяется вдоль ее контура из-за сопротивления движению ленты на роlikоопорах и барабанах.

$$S_0(x) = S_{10} - \int_0^x \omega_0(x) dx \quad ,$$

где  $\omega_0(x)$  – сопротивление движению ленты при предварительном натяжении (Н/м),  $x$  – координата точки контура ленты.

Удлинение ленты после предварительного натяжения

$$\Delta_0 = \frac{1}{E_0} \int_0^{L_0} S_0(x) dx \quad . \quad (11)$$

Для предварительного натяжения ленты необходимо перемещение левого НБ вправо на величину  $\Delta_0 / 2$  и наматывание на барабан лебедки отрезка каната длиной  $\Delta_{ко}$

$$\Delta_{ко} = \Delta_0 k_n / 2 \quad .$$

После освобождения зафиксированного правого НБ, т.е. при свободных перемещениях обоих НБ, механическая система (конвейерная лента и полиспаst) стремятся к состоянию минимума потенциальной энергии, соответствующему отсутствию натяжения ленты и каната. Для сохранения минимально необходимого натяжения ленты  $[S_{2cb}]_{min}$  возможность перемещения правого НБ вправо должна быть соответственно ограничена.

После включения привода распределение натяжения ленты вдоль контура при номинальной нагрузке принимает иной вид

$$S(x) = S_{lnb} - \int_0^x \omega(x) dx \quad ,$$

где  $\omega(x)$  – сопротивление движению ленты при работе конвейера (Н/м).

Соответственно и удлинение ленты изменяется до величины  $\Delta_1$ , определяемой аналогично (11).

Если  $\Delta_1 > \Delta_0$  , лента удлинилась, и оба НБ переместились влево, обеспечивая выполнение условия (7).

Если  $\Delta_1 < \Delta_0$  , лента укоротилась, и оба НБ переместились вправо,

обеспечивая выполнение условия (8).

Обозначим координаты осей НБ до начала натяжения состыкованной ленты как  $x_{10}$  и  $x_{20}$  (рис. 3). Тогда после натяжения ленты и включения привода координаты осей НБ  $x_{11}$  и  $x_{21}$  принимают значения

$$x_{11} = x_{10} - \frac{\Delta_0}{2} + \frac{\Delta_1 - \Delta_0}{2(1 + k_n)} \quad \text{и} \quad x_{21} = x_{20} + \frac{\Delta_1 - \Delta_0}{2(1 + k_n)} k_n .$$

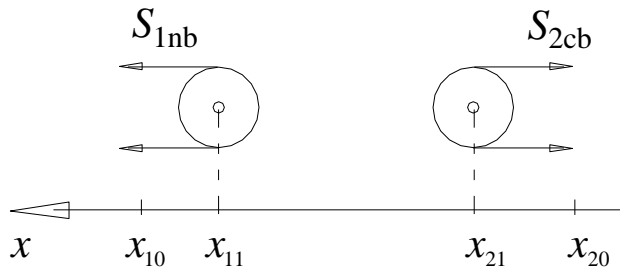


Рис. 3. Схема для определения положения НБ

В частном случае, если  $S_{10} = S_{1nb}$ ,  $x_{11} = x_{10} - \Delta_0/2$  и  $x_{21} = x_{20}$ .

Если  $S_{10} = 0$ , то  $x_{11} = x_{10} + \frac{\Delta_1}{2(1 + k_n)}$  и  $x_{21} = x_{20} + \frac{\Delta_1 k_n}{2(1 + k_n)}$ .

Изменение загрузки конвейера приводит к перемещению НБ. Превышение номинальной загрузки увеличивает сопротивление движению ленты и силу натяжения  $S_{1nb}$ . Это приводит к перемещению обоих НБ влево на величину, обеспечивающую выполнение условия (7).

Уменьшение загрузки конвейера снижает сопротивление движению ленты и силу натяжения  $S_{1nb}$ , что вызывает перемещение обоих НБ вправо до выполнения условия (8).

При ремонте стыковых соединений удаляют непригодные для дальнейшей эксплуатации отрезки ленты. Обозначим через  $L_{cm}$  длину удаляемого отрезка ленты в ненатянутом состоянии. Тогда при фиксации оси правого НБ в точке с координатой  $x_{20}$  ось левого НБ для замыкания контура ленты необходимо переместить в точку с координатой  $x_{12}$

$$x_{12} = x_{10} + L_{cm}/2 .$$

#### *Расчет конструктивного запаса хода НБ*

Конструктивный запас хода НБ – это длина рельсов для перемещения тележек НБ. Конструктивный запас хода должен обеспечивать требуемое перемещение НБ при всех установленных техническими условиями режимах работы ЛК.

Для всех рассмотренных режимов работы НУ координата оси левого НБ принимает наибольшее значение  $x_{1max} = \max\{x_{10}, x_{11}, \dots\}$  и наименьшее –  $x_{1min} = \min\{x_{10}, x_{11}, \dots\}$ . Тогда при начальной фиксации правого НБ

конструктивный запас хода левого НБ

$$K_1 = x_{1\max} - x_{1\min} = (L_{cm} + \Delta_0) / 2 . \quad (12)$$

Аналогично конструктивный запас хода правого НБ

$$K_2 = x_{2\max} - x_{2\min} = \frac{\Delta_1 k_n}{2(1 + k_n)} , \quad (13)$$

где  $x_{2\min}$  и  $x_{2\max}$  - наименьшее и наибольшее значения координаты оси правого НБ.

Для перемещения НБ в пределах  $K_1$  и  $K_2$  запас каната на лебедке НУ (без учета суммарной длины ветвей полиспаста при  $x_1 = x_{1\min}$  и  $x_2 = x_{2\max}$ ) должен быть не менее величины  $K_K$

$$K_K = k_n K_1 + K_2 . \quad (14)$$

Если для предварительного натяжения ленты фиксировать левый НБ, то

$$K_1 = \frac{\Delta_1}{2(1 + k_n)} , \quad K_2 = \frac{L_{cm} + \Delta_0}{2} + \frac{\Delta_1 - \Delta_0}{2(1 + k_n)} k_n . \quad (15)$$

Возможность отсутствия начального натяжения ленты ( $\Delta_0 = 0$ ) уменьшает конструктивный запас хода правого НБ до величины

$$K_2 = \frac{L_{cm}}{2} + \frac{\Delta_1}{2(1 + k_n)} k_n .$$

Поэтому в расчетах следует использовать формулу (15).

### Пример расчета

Рассмотрим ЛК, оснащенный лентой ТК-200х3, с параметрами: длина ленты  $L_n = 1400$  м, жесткость ленты  $E_0 = 2,1$  МН, допустимая сила натяжения ленты  $[S] = 60$  кН, гарантированная величина тягового усилия  $[W_\Sigma] = 42$  кН,  $\alpha_1 + \alpha_2 = 440^\circ$  и  $\mu = 0,3$ ,

минимально необходимое натяжение ленты  $[S_{2cb}]_{min} = 4,8$  кН, силы сопротивления движению тележек НБ  $F_{C1} = F_{C2} = 0,4$  кН, КПД блока полиспаста  $\eta = 0,98$ , сопротивления движению ленты  $\omega_0 = 2,4$  Н/м и  $\omega = 15,2$  Н/м, длина удаляемого отрезка ленты  $L_{cm} = 12$  м.

1) С использованием (4) и (6) вычислим минимальное и максимальное значения кратности полиспаста

$$[k_n]_{min} = 3,33, \quad [k_n]_{max} = 10,01.$$

Принимаем кратность полиспаста  $k_n = 6$  .

2) С использованием (8) вычислим величину силы  $S_{2cb}$  , обеспечивающую гарантированную силу тяги  $[W_\Sigma]$  при условии  $S_{2cb} \geq [S_{2cb}]_{min}$

$$S_{2cb} = 9,21 \text{ кН.}$$

3) С использованием (7) вычислим максимальные значения силы  $S_{2cb}$  и силы тяги  $W_\Sigma$  при условии  $S_{1nb} = [S]$

$$[S_{2cb}]_{max} = 9,27 \text{ кН,} \quad W_{\Sigma max} = 50,7 \text{ кН.}$$

4) Из (9) определим силу тяги лебедки НУ, необходимую для перемещения обоих НБ

$$S_{л} = 12,56 \text{ кН.}$$

5) Уточним сумму углов дуг охвата лентой приводных барабанов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Из (3) и условия  $W_{\Sigma} = W_{\Sigma \max}$  определим  $\alpha_1 + \alpha_2 \geq 358^\circ$ .

6) Вычислим предварительное натяжение ленты у левого НБ  $S_{10}$  по формуле (10) при контролируемой гидродатчиком величине силы натяжения каната лебедки НУ  $S_{ко} = 6 \text{ кН}$  и условии, что правый НБ зафиксирован

$$S_{10} = 16,9 \text{ кН.}$$

7) По формуле (11) вычислим удлинение ленты после предварительного натяжения

$$\Delta_0 = 10,7 \text{ м.}$$

8) Вычислим удлинение ленты при работе привода при условии  $S_{1nb} = [S]$

$$\Delta_1 = 37,95 \text{ м.}$$

9) С использованием (12), (13) вычислим конструктивный запас хода левого и правого НБ при фиксации правого НБ

$$K_1 = 11,35 \text{ м и } K_2 = 15,2 \text{ м.}$$

10) С использованием (14) вычислим запас каната на лебедке НУ

$$K_K = 60,2 \text{ м.}$$

При фиксации левого НБ, согласно (15),  $K_1 = 3,8 \text{ м}$  и  $K_2 = 22,3 \text{ м}$ . Запас каната на лебедке НУ  $K_K = 37,4 \text{ м}$ . Таким образом, фиксация левого НБ при предварительном натяжении ленты позволяет уменьшить суммарный конструктивный запас хода НБ и запас каната на лебедке НУ. Рельсовый путь правого НБ должен иметь упор, устанавливаемый после предварительного натяжения ленты и обеспечивающий минимально необходимое натяжения ленты  $[S_{2cb}]_{min}$ . При начальной фиксации правого НБ данный упор может находиться в правой крайней точке рельсового пути его тележки.

### *Заключение*

Кратность полиспаста НУ ограничена сверху тяговой способностью приводных барабанов, а снизу - гарантированной величиной тягового усилия.

Отношение сил натяжения ленты  $S_{1nb}/S_{2cb}$  не остается постоянным при работе НУ. После перемещения НБ влево отношение  $S_{1nb}/S_{2cb}$  больше, чем после перемещения НБ вправо за счет действия сил трения.

Более простая схема предварительного натяжения ленты с использованием стационарного правого упора в правой крайней точке рельсового пути правого НБ требует большего конструктивного хода НБ и запаса каната на лебедке НУ.

Фиксация левого НБ при предварительном натяжении ленты позволяет уменьшить суммарный конструктивный запас хода НБ и запас

каната на лебедке НУ, но требует установки правого упора для правого НБ после предварительного натяжения ленты.

Изменение силы тяги привода с уравнильным НУ происходит за счет изменения силы натяжения ленты, что, по мнению автора, не является преимуществом по сравнению с приводом с грузовым или лебедочным НУ, в котором сила тяги изменяется за счет изменения дуги скольжения ленты на приводных барабанах.

### **Литература**

1. Рудничный транспорт и механизация вспомогательных работ / Под общ. ред. Братченко Б.Ф. – М.: Недра, 1978. – С. 78
2. Реутов, А.А. Моделирование стационарных режимов работы приводов ленточных конвейеров / А.А. Реутов // Тяжелое машиностроение, 2007. – № 2. – С.34-36

### **Аннотация**

Проведен анализ силового взаимодействия и перемещений элементов привода и уравнильного натяжного устройства. Получены зависимости для расчета основных параметров привода с уравнильным натяжным устройством. Установлено, что кратность полиспафта натяжного устройства ограничена сверху тяговой способностью приводных барабанов, а снизу - гарантированной величиной тягового усилия.

The analysis of the force interaction and displacement of the drive elements and of the equalizing tension device was carried out. The calculation formulas of basic parameters of the drive with the equalizing tension device are received. Found out that the number of the tackle device is limited top by traction capability of the driving pulleys and down by guarantee of the traction force value.

### **Ключевые слова**

ленточный конвейер, привод, натяжное устройство  
belt conveyer, drive, tension device

<http://vestnik.msmu.ru/files/2/20120202162139.pdf>