

УДК 621.86

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ОТНОСИТЕЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ И ПОКОЯ ГРУЗОНЕСУЩЕЙ И ТЯГОВОЙ ЛЕНТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРИВОДОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

К.А. Гончаров

Брянский государственный технический университет

Предложен способ определения зон относительного скольжения и покоя грузонесущей и тяговой лент на участках установки промежуточных приводов ленточных конвейеров, выполненных в виде тяговых контуров. На примере показаны возможности предложенного способа в процессе проектирования многоприводных ленточных конвейеров.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, система приводов, тяговый расчет, зона относительного скольжения лент, зона относительного покоя лент, промежуточный привод.

Применение промежуточных приводов ленточных конвейеров (ЛК), выполненных в виде тяговых контуров, является одним из наилучших решений при необходимости транспортирования грузов на значительные расстояния без возможности их промежуточной перегрузки. Корректный выбор грузонесущей и тяговой лент, а также элементов системы приводов (СП), напрямую зависит от точности проведенного тягового расчета.

В работах [1, 2] описаны основные теоретические принципы формирования зон упругого скольжения и покоя в районе контакта грузонесущей и тяговой лент, непосредственно влияющих на распределение натяжений между ними. В источнике [1] определение длин указанных зон производится исходя из величины тягового усилия соответствующего привода, задаваемого проектировщиком. В работах [2, 6] предложена идея, заключающаяся в учете механических характеристик СП посредством выражения тяговых усилий промежуточных приводов через тяговое усилие главного привода с учетом продольного растяжения лент. В данном подходе можно выявить следующие недостатки:

- приближенность решения, заключающаяся в отбрасывании малых величин изменения скоростей лент, совокупный учет которых при определенной жесткости механических характеристик приводов [3] может оказать существенное влияние на распределение тяговых усилий между ними;
- сопротивления передвижению лент задаются в общем виде без разделения на сопротивления, зависящие от натяжения лент и не зависящие от них; так как многоприводные ЛК в большинстве своем имеют сложную пространственную трассу, вопрос определения необходимых натяжений лент, создаваемых натяжными устройствами, особенно актуален и связывает воедино два фактора: с одной стороны – уменьшение сопротивления движению лент, с другой – обеспечение сцепления лент и приводных барабанов;
- механические характеристики двигателей учитываются посредством угловых коэффициентов наклона их рабочих ветвей (жесткостей характеристик), что соответствует их линейному виду; данное обстоятельство в определенных проектных ситуациях может привести к значительным погрешностям расчетах [4].

Из-за описанных выше недостатков данный подход не дает качественный результат при определении длин зон упругого скольжения и покоя в районе контакта грузонесущей и тяговой лент.

В настоящей статье предлагается способ решения данной задачи с опорой на методику тягового расчета, предложенную в [5].

При набегании несущей ленты на промежуточный привод (рис. 1) согласно [1] образуется зона относительного покоя лент длиной  $l_{on}$ .

На участке  $l_{on}$  натяжение грузонесущей ленты увеличивается на величину

$$\Delta S_{oni} = \left[ (q_l^h + q_l^m + q_{zp} + q_{pв}) \omega \cos \beta + (q_l^h + q_l^m + q_{zp}) \sin \beta \right] \frac{E_n l_{on}}{E_n + E_m} = w_{iy} \frac{E_n l_{on}}{E_n + E_m},$$

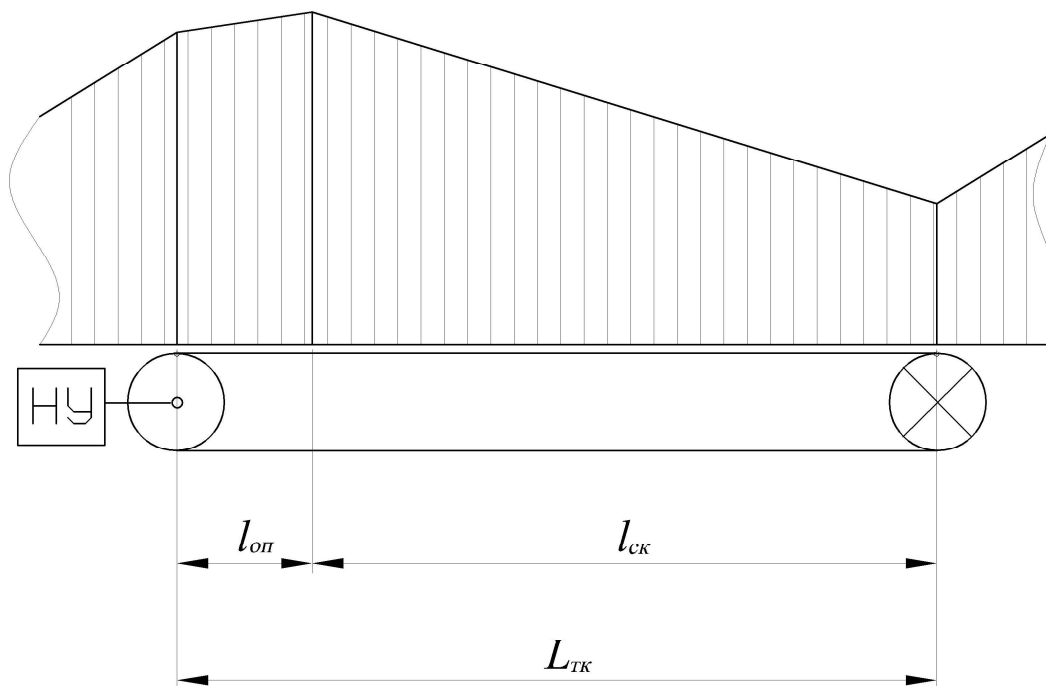


Рис. 1. Положение зон относительного покоя и скольжения.  
НУ – натяжное устройство

где  $q_l^H$  – распределенная нагрузка от веса несущей ленты;  $q_l^m$  – распределенная нагрузка от веса тяговой ленты;  $q_{zp}$  – распределенная нагрузка от веса груза;  $q_{pв}$  – распределенная нагрузка от вращающихся частей роlikоопор грузовой ветви конвейера;  $\omega$  – обобщенный коэффициент сопротивления движению на грузовой ветви конвейера;  $\beta$  – угол наклона привода к горизонту;  $E_n$  – жесткость на растяжение несущей ленты;  $E_m$  – жесткость на растяжение тяговой ленты.

На участке относительного скольжения  $l_{ск}$  натяжение несущей ленты изменяется на величину

$$\Delta S_{cki} = ((q_l^H + q_{zp}) \sin \beta - (q_l^H + q_{zp}) \mu \cos \beta) (L_{mk} - l_{on}) = (w_{ni} - W_{nni}) (L_{mk} - l_{on}),$$

где  $\mu$  – коэффициент сцепления между тяговой и несущей лентой соответствующего привода;  $L_{mk}$  – длина промежуточного ленточного привода (расстояние между концевым и приводным барабанами);  $w_{ni}$  – удельное сопротивление от подъема груза на заданном перепаде высот при наклонном расположении промежуточного привода;  $W_{nni}$  – удельное полезное тяговое усилие промежуточного привода, передаваемое несущей ленте.

Таким образом, при обходе замкнутого контура несущей ленты, содержащего участки барабанных и ленточных приводов, можно записать

$$k S_{cб1} + \Sigma W_{ли} + \Sigma \Delta S_{oni}(l_{oni}) + \Sigma \Delta S_{cki}(l_{oni}) - \Sigma W_{бни} = S_{cб1}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий сопротивления движению ленты, зависящие от её натяжения;  $\Sigma W_{ли}$  – сумма сопротивлений движению ленты, не зависящих от её натяжения;  $\Sigma W_{бни}$  – сумма тяговых усилий барабанных приводов конвейера;  $S_{cб1}$  – натяжение несущей ленты в точке её сбегания с приводного барабана в начальной точке отсчета.

Уравнения механических характеристик барабанных приводов записываются аналогично [5]. Для промежуточных ленточных приводов

$$W_{nni} \cdot (L_{mki} - l_{oni}) = W_{ли}(n_i) - F_{mki}, \quad (2)$$

где  $W_{ли}(n_i)$  – функция механической характеристики  $i$ -го ленточного привода, в которой в качестве аргумента выступает частота вращения вала двигателя  $n_i$ ;  $F_{mki}$  – собственное сопротивление движению тягового контура, определяемое зависимостью

$$F_{mki} = k_{mk} S_{c\delta i} + (q_l^m + q_{pn}) \omega_1 \cos \beta L_{mki} + q_l^m \sin \beta L_{mki} + w_{ly} \frac{E_m l_{oni}}{E_n + E_m} + (q_l^h + q_l^m + q_{cp} + q_{pe}) \omega \cos \beta (L_{mki} - l_{oni}) + q_l^m \sin \beta (L_{mki} - l_{oni}),$$

где  $k_{mk}$  – коэффициент, учитывающий сопротивления движению тяговой ленты привода, зависящие от её натяжения;  $S_{c\delta i}$  – натяжение тяговой ленты в точке её сбегания с приводного барабана в начальной точке отсчета;  $q_{pn}$  – распределенная нагрузка от вращающихся частей роликкоопор порожней ветви конвейера;  $\omega_1$  – обобщенный коэффициент сопротивления движению на порожней ветви конвейера.

Частоты вращения барабанов приводов аналогично [2, 5] свяжем друг с другом через продольное растяжение лент

$$n_{jni} = f(n_{\delta ni}, E_n, E_m, S_{c\delta i}, l_{oni}). \quad (3)$$

Добавив условия отсутствия буксования приводных барабанов с варьируемым параметром коэффициента запаса по сцеплению, в общем виде получим следующую систему уравнений

$$\begin{cases} kS_{c\delta 1} + \Sigma W_{li} + \sum \Delta S_{oni}(l_{oni}) + \sum \Delta S_{cki}(l_{oni}) - \sum W_{\delta ni} = S_{c\delta 1} \\ W_{\delta ni} = W_{\delta ni}(n_i); \\ W_{nni} \cdot (L_{mki} - l_{oni}) = W_{\delta ni}(n_i) - F_{mki}(l_{oni}, S_{c\delta i}); \\ n_j = f(n_i, E_n, E_m, S_{c\delta i}, l_{oni}); \\ k_{zi} \cdot W_{\delta ni} = S_{c\delta i} (e^{\mu_i \cdot \alpha_i} - k_{zi}) \end{cases} \quad (4)$$

В системе уравнений (4)  $\mu_i$  – коэффициент сцепления ленты с приводным барабаном,  $\alpha_i$  – угол обхвата лентой приводного барабана.

Неизвестными переменными в данной системе являются  $S_{c\delta 1}$ ,  $S_{c\delta i}$ ,  $l_{oni}$ ,  $n_i$ .

В качестве примера определим зоны упругого скольжения и покоя в районе контакта грузонесущей и тяговой лент на примере конвейера (рис. 2), имеющего следующие параметры: мощность каждого электродвигателя 55 кВт,  $\mu_i = 0,3$ ,  $\alpha_i = 240^\circ$ . Несущая и тяговая ленты изготовлены из стандартной резинотканевой ленты 2ШТК200-2×3 с жесткостью на растяжение  $E_n = E_m = 3,2$  МН. Производительность конвейера 300 т/ч. Механические характеристики приводов идентичны.

Для данного примера система уравнений (4) примет вид

$$\begin{cases} kS_{c\delta 1} + \Sigma W_{li} + w_{ly} \frac{E_n l_{on}}{E_n + E_m} + (w_{n1} - W_{nn1})(L_{mk} - l_{on}) - W_{\delta n1} = S_{c\delta 1} \\ W_{\delta n1} = W_{\delta n1}(n_1) \\ W_{\delta n2} = W_{\delta n2}(n_2) \\ W_{nn1} \cdot (L_{mk} - l_{on}) = W_{\delta n2}(n_2) - F_{mk2}(l_{on}, S_{c\delta 2}) \\ n_2 = n_1 \cdot \left( 1 + \frac{S_{\delta n}(l_{on}, S_{c\delta 1}) - S_{\delta n}(l_{on}, S_{c\delta 1})}{E_n} \right) \cdot \left( 1 + \frac{S_{\delta m}(l_{on}) - S_{\delta m}(l_{on})}{E_m} \right); \\ k_{z1} \cdot W_{\delta n1} = S_{c\delta 1} (e^{\mu_1 \cdot \alpha_1} - k_{z1}) \\ k_{z2} \cdot W_{\delta n2} = S_{c\delta 2} (e^{\mu_2 \cdot \alpha_2} - k_{z2}) \end{cases} \quad (5)$$

При задаваемых коэффициентах запаса по сцеплению  $k_{zi} = 1,6$  длина зоны относительного покоя лент составит 31,364 м (участок 6 – 7), при этом максимальное натяжение несущей ленты наблюдается в точке 7 (точка окончания зоны относительного покоя) и составляет 43785 Н. Головной барабанный привод развивает тяговое усилие 22790 Н, промежуточный ленточный привод – 17230 Н. Полезное тяговое усилие, передаваемое промежуточным приводом несущей ленте, составляет 13280 Н.



учно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С.47-49.

5. Гончаров, К.А. Совершенствование тягового расчета многоприводных ленточных конвейеров с учетом механических характеристик приводов / К.А. Гончаров // Подъемно-транспортное дело. – 2011. – № 4. – С. 2–5.

6. Реутов, А.А. Моделирование приводов ленточных конвейеров / А.А. Реутов. - Брянск: БГТУ, 2011. - 152 с.

7. Реутов, А.А. Методика проектирования системы приводов ленточного конвейера / А.А. Реутов, К.А. Гончаров // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы международной научно-технической конференции 21-22 апреля 2011 г./ под ред. И. С. Сазонова. - Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – Ч. 2. – С. 25-26.*

### **Сведения об авторе**

Гончаров Кирилл Александрович - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», ptm\_bstu@mail.ru.

## **DETERMINATION OF RELATIVE IMMOBILE AND SLIDING AREAS BETWEEN CARRYING AND TRACTIVE BELTS IN USING OF BELT CONVEYOR INTERMEDIATE DRIVES**

K.A. Goncharov

Bryansk State Technical University

Method of determination of relative immobile and sliding areas between carrying and tractive belts in places of mounting of belt conveyor intermediate drives made in the form of tractive contours is proposed. The example shows potential of this method in multidrive belt conveyor design process.

**Keywords:** *belt conveyor, drive system, calculation of tractive efforts, relative sliding area of belts, relative immobile area of belts, intermediate drive.*

### **References**

1. Galkin V.I., Dmitriev V.G., Dyachenko V.P. *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornykh predpriyatiy* [Actual theory of belt conveyors in mining]. Moscow, MSMU publishing company, 2005. 543 p.

2. Shakhmeister L.G., Dmitriev V.G. *Teoriya i raschet lentochnykh konveyerov* [Theory and calculation of belt conveyors]. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 336 p.

3. Goncharov K.A. The approach to the calculation of traction of multi-drive belt conveyors taking into account the possible deviations of the mechanical characteristics of drives. *Materialy IV regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov «Provedeniye issledovaniy po prioritetnym napravleniyam sovremennoy nauki dlya sozdaniya innovatsionnykh tekhnologiy»* (Materials of the IV regional scientific and practical conference of young researchers and specialists «Conducting of research in priority areas of modern science to create innovative technologies»). Bryansk, BSTU, 2012, pp. 7.

4. Denisov I.A., Goncharov K.A. Features of construction of mechanical characteristics of joint operation of electric motors and hydraulic couplings of the conveyor belt drives. *Materialy XIX Moskovskogo mezhdunarodnoy mezhuniversitetskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Podyemno-transportnye, stroitelnye, dorozhnye, putevye mashiny i robototekhnicheskie komplekсы»* (Materials of the XIX Moscow international interuniversity scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists «Lifting-transportation, building, road, track machines and robotic systems»). Moscow, MSTU N.E. Bauman, 2015, pp. 47-49.

5. Goncharov K.A. Sovershenstvovanie tyagovogo rascheta mnogoprivodnykh lentochnykh konveyerov s uchetom mekhanicheskikh kharakteristik privodov [Improving the calculation of traction of multi-drive belt conveyors taking into account the mechanical characteristics of drives]. *Podyemno-transportnoe delo*, 2011, No.4, pp. 2–5.

6. Reutov A.A. *Modelirovanie privodov lentochnykh konveyerov* [Modeling of the conveyor belt drives]. Bryansk, BSTU, 2011.

7. Reutov A.A., Goncharov K.A. Method of belt conveyor drive system design. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Materialy, oborudovanie i resursosberegayushchie tekhnologii»* (Materials of the international scientific and technical conference «Materials, equipment and resource saving technologies»). Mogilev, Belarusian-Russian University, 2011, vol.2, pp. 25-26.

#### **Author' information**

Kirill A. Goncharov - Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Head of chair at Bryansk State Technical University, [ptm\\_bstu@mail.ru](mailto:ptm_bstu@mail.ru).