

УДК 621.867

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ, ПРИЛОЖЕННЫХ К ПОДВЕСКАМ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНФИГУРАЦИИ НА ТРАССЕ

Е.Н. Толкачев

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Рассмотрен базовый вариант трассы конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, включающий основные участки транспортирования. Проанализировано поведение подвесок на соответствующих участках при их перемещении. Представлены зависимости для определения действующих на подвески усилий.

Ключевые слова: ленточный конвейер, подвесная лента, распределенный привод, подвеска.

Конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом – новейшая разработка последних лет в области машин непрерывного транспорта [2]. Описание конструкции конвейера и процесс взаимодействия между его элементами во время работы неоднократно приводились в научных публикациях [2, 5, 8, 11].

Развитие конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, помимо разработки новых конструкторских решений [9, 10], сопровождается научно-исследовательской работой в области моделирования его динамики [3-6, 11]. В указанных работах описаны уравнения динамики подвесок конвейера и представлены результаты моделирования их движения, однако, вопрос определения усилий, действующих на элементы подвесок, в зависимости от расположения на трассе конвейера в полной мере остался не освещенным.

Типовая конфигурация направляющих качения става конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом включает базовые участки, изображенные на рис. 1.

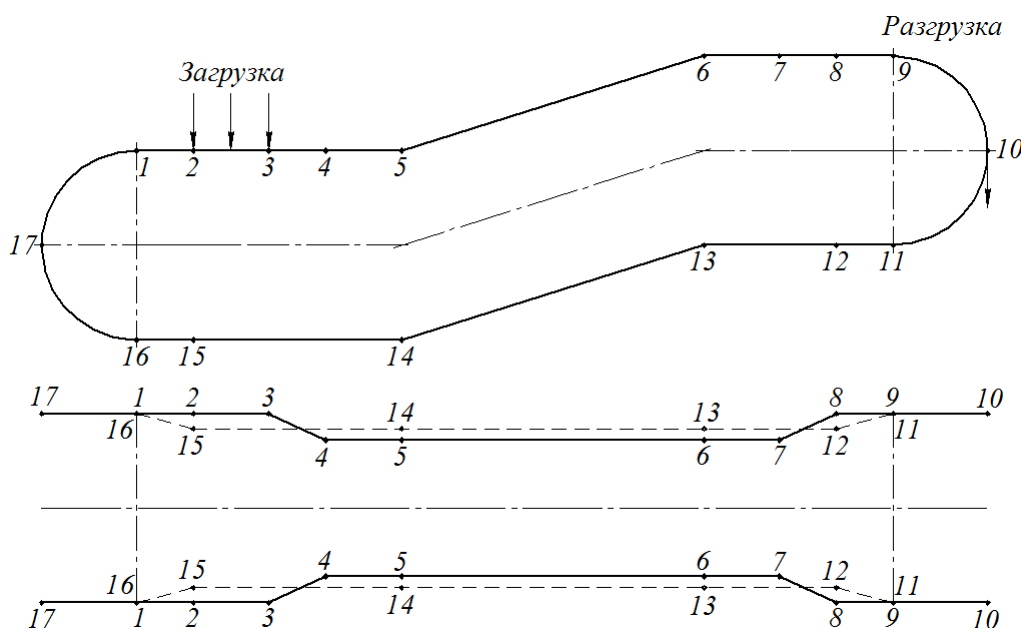


Рис. 1. Конфигурация направляющих качения става конвейера:

- 1–9 – грузовая ветвь; 11–16 – холостая ветвь; 2–3 – загрузочный пункт;
- 3–4, 11–12 – желобообразующие участки; 7–8, 15–16 – выполаживающие участки;
- 5–6 и 13–14 – наклонные участки; 9–11 и 16–1 – концевые поворотные участки;
- 9–0 – разгрузочный пункт.

На различных участках трассы в зависимости от назначения соответствующих секций става расстояние между направляющими качения отличается, в результате чего при движении подвесок изменяется угол наклона борта ленты к горизонту (рис. 2).

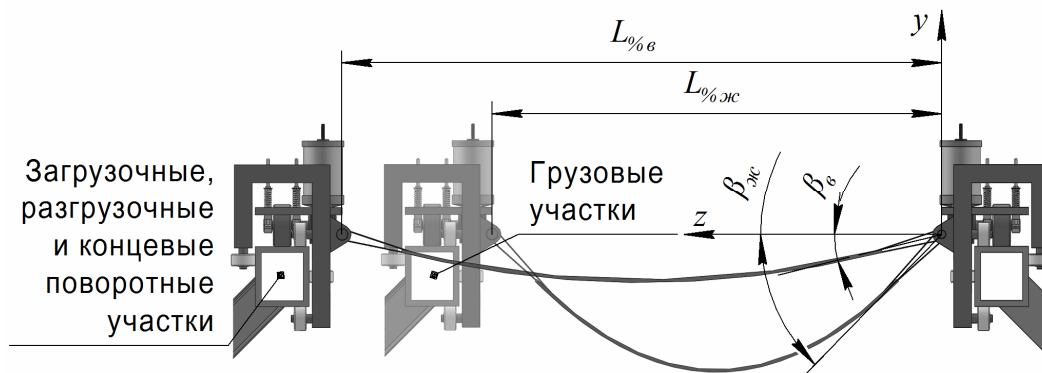


Рис. 2. Поперечные разрезы грузовой ветви конвейера на участках с желобчатой (4–7) и выположенной (1–3, 7–9) формой ленты

В работе [7] расстояние между точками подвеса ленты $L_{\%}$ конвейера с подвесной лентой задается в долях от ее ширины B и варьируется в пределах от 0,5 до 0,9. Максимально возможная теоретическая производительность конвейера с подвесной лентой достигается при расстоянии между точками подвеса ленты (в долях от ее ширины) $L_{\%}$ по формуле:

$$L_{\%} = 0,0046\varphi + 0,62 ,$$

где φ – угол естественного откоса транспортируемого груза.

В связи с чем, для обеспечения рациональной наполненности поперечного сечения ленты транспортируемым материалом, расстояние между точками ее подвеса на грузонесущей ветви (4–7) предлагается определять по приведенной формуле. Расстояния между точками подвеса ленты в долях от ее ширины для концевых поворотных участков (9–11, 16–1) трассы конвейера, оборудованных стационарными поддерживающими роликовыми опорами, выбираются наибольшими с целью обеспечения выположенного состояния ленты при повороте. Расстояние между точками подвеса ленты на переходных участках (7–8 и 15–16; 3–4 и 11–12) изменяется пропорционально его длине в пределах величин $L_{\%}$, соответствующих соединяемым участкам трассы.

В соответствии с теорией трубчатых конвейеров, для которых длина переходного участка $L_{пер}^{mp}$ ориентировочно определяется как 30 диаметров трубчатого сечения ленты D_{mp} [1], протяженность переходного участка $l_{пер}$ конвейера с подвесной лентой может быть определена аналогично (рис. 3).

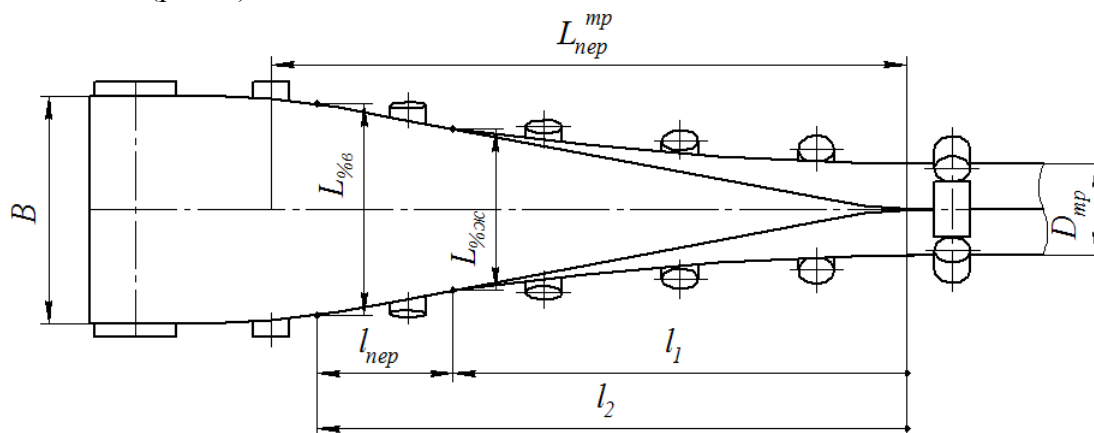


Рис. 3. Переходный участок трубчатого конвейера

Длину переходного участка

$$l_{пер} = l_2 - l_1 = 10(L_{\%в} - L_{\%жс}).$$

получаем из соотношения расстояний

$$\frac{B}{L_{пер}^{mp}} = \frac{L_{овв}}{l_2} = \frac{L_{овжс}}{l_1},$$

где $L_{пер}^{mp} = 30 \cdot D_{mp} = 30 \cdot \frac{B}{\pi} \cong 10B$.

Учитывая непостоянство вдоль трассы величины расстояния между точками подвеса ленты $L_{ов}$ (в долях от ее ширины), представим его функцией от перемещения i -й подвески $L_{ов}(x_i)$. В результате чего, угол наклона к горизонту бортов ленты конвейера с подвесной лентой по аналогии с работой [7] определяется как

$$\beta(x_i) = \arctan \left[\left(\frac{1730}{L_{ов}^{1,87}(x_i)} - 1580 \right) \times \left(0,0338e^{0,0338 L_{ов}(x_i)} + \frac{(2 - e^{0,0338 L_{ов}(x_i)}) \ln(2 - e^{0,0338 L_{ов}(x_i)})}{L_{ов}(x_i)} \right) \right].$$

Для представленного на рис. 1 варианта конфигурации трассы конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом изменение угла наклона бортов ленты к горизонту $\beta(x_i)$ в зависимости от перемещения i -й подвески вдоль трассы происходит следующим образом (рис. 4).

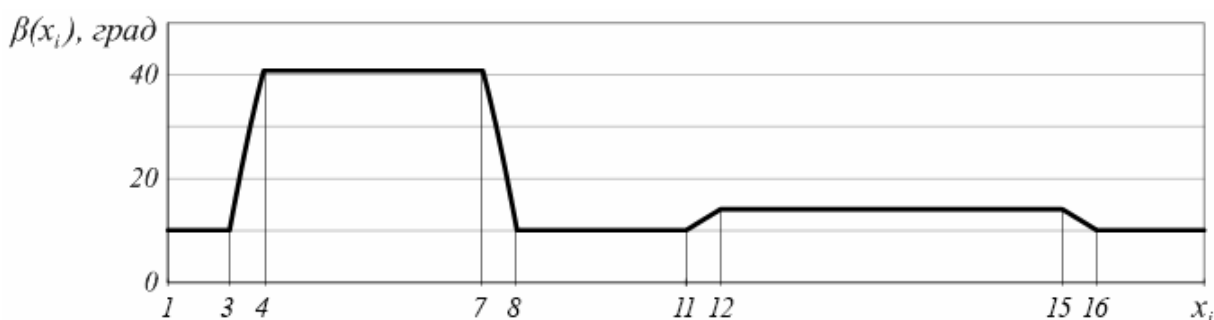


Рис. 4. График изменения угла наклона бортов ленты к горизонту от перемещения i -й подвески вдоль соответствующих участков трассы конвейера

Перемещаясь по наклонным и вертикальным поворотным участкам трассы конвейера, ведущая подвеска поворачивается вслед за направлением направляющей качения. Поэтому угол поворота ведущей подвески в вертикальной плоскости, определяется конфигурацией трассы и задается функцией от линейного перемещения подвески вдоль трассы $\alpha(x_i)$. Ниже на рис. 5 представлен график изменения угла поворота ведущей подвески в вертикальной плоскости $\alpha(x_i)$ при движении ее вдоль трассы (рис. 1).

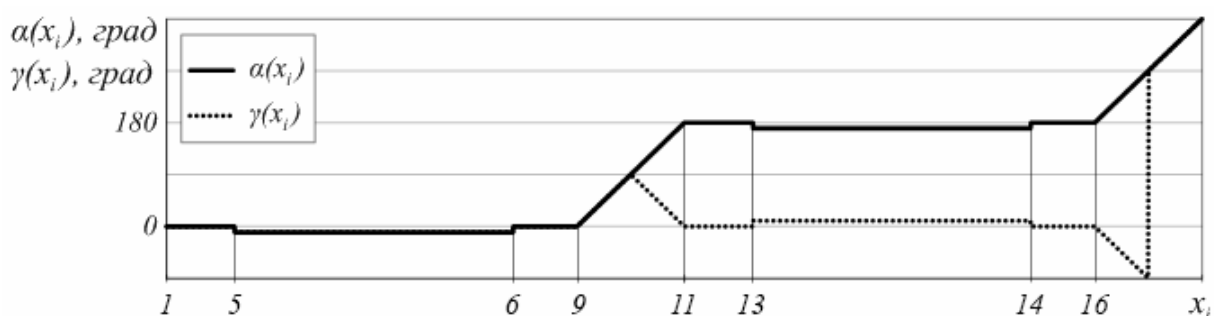


Рис. 5. Графики изменения углов поворота i -ых подвесок в вертикальной плоскости при движении вдоль соответствующих участков трассы конвейера:
 $\alpha(x_i)$ — i -й ведущей подвески; $\gamma(x_i)$ — i -й ведомой подвески

Перемещаясь по концевым поворотным участкам ведомые холостые подвески, переносят опору с ролика, движущегося по вертикальной направляющей качения снаружи контура трассы, на ролик, движущийся внутри. При этом привязанная к подвеске система координат меняет свое направление на противоположное (рис. 6). Поэтому угол поворота i -й ведомой подвески $\gamma(x_i)$ задается условием:

$$\gamma(x_i) = \begin{cases} \alpha(x_i), & 0 \leq \alpha(x_i) \leq \frac{\pi}{2}; \\ \pi - \alpha(x_i), & \frac{\pi}{2} \leq \alpha(x_i) \leq \frac{3\pi}{2}; \\ \alpha(x_i), & \frac{3\pi}{2} \leq \alpha(x_i) \leq 2\pi. \end{cases}$$

Графическое изображение зависимости угла поворота i -й ведомой подвески от ее перемещения вдоль трассы $\gamma(x_i)$ представлено на рис. 5.

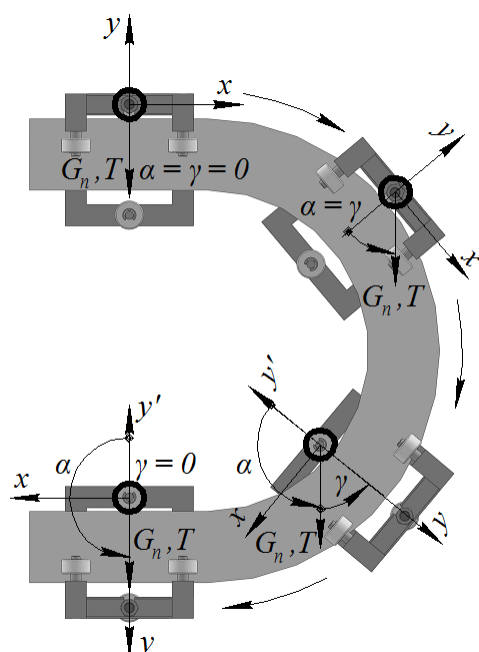


Рис. 6. Положения i -й ведомой подвески при движении по концевому поворотному участку трассы конвейера

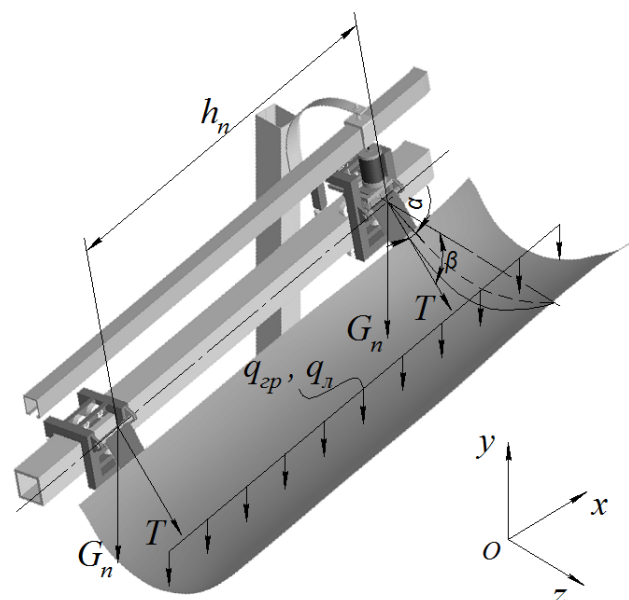


Рис. 7. Расчетная схема сил, действующих на подвески со стороны ленты

На подвески конвейера непосредственно действуют силы тяжести входящих в их состав узлов (рис. 7). Сила тяжести ведущей подвески, включающей несущую и прижимную секции, определяется как

$$G_n = G_{nc} + G_{nc} = (m_{nc} + m_{nc})g,$$

где G_{nc} , G_{nc} – силы тяжести несущей и прижимной секций ведущей подвески; m_{nc} , m_{nc} – массы несущей и прижимной секций ведущей подвески; g – ускорение свободного падения.

Сила тяжести ведомой подвески равна

$$G_n = m_n g,$$

где m_n – масса ведомой подвески.

Кроме сил тяжести к подвескам приложены сосредоточенные нагрузки от ленты и транспортируемого материала, передаваемые через узел крепления к ленте.

Усилие, передаваемое через узел крепления к ленте i -й подвески, определяется как

$$T(x_i) = \frac{(q_{zp}(x_i) + q_l)h_n}{2 \sin \beta(x_i)},$$

где $q_{zp}(x_i)$, q_l – распределенные нагрузки от груза и ленты соответственно; h_n – расстояние между смежными подвесками на направляющем пути; x_i – перемещение i -й подвески вдоль трассы конвейера.

Распределенная нагрузка от груза вычисляется по формуле

$$q_{zp} = \frac{Q_p}{3,6v_n} g,$$

где Q_p – расчетная массовая производительность конвейера; v_n – номинальная скорость транспортирования груза;

Однако, учитывая, что материал транспортируется только грузовой ветвью, величина распределенной нагрузки на конечном разгрузочном участке конвейера убывает до нуля и остается неизменной на всем протяжении холостой ветви. Поэтому распределенная нагрузка от груза задается функцией линейного перемещения i -й подвески $q_{zp}(x_i)$.

Распределенная нагрузка от ленты постоянна и может быть определена как

$$q_l = 1,1(\delta_0 i_0 + \delta_1 + \delta_2) B g,$$

где δ_0 , δ_1 , δ_2 – толщины прокладки и резиновых обкладок на верхней и нижней стороне конвейерной ленты; i_0 – количество прокладок тягового каркаса.

Под действием приложенных к подвескам сил в местах контакта роликов с направляющей качения возникают нормальные реакции опорных поверхностей, которые оказывают сопротивление движению. В общем виде сила сопротивления движению j -го неприводного ролика i -й подвески по направляющей определяется следующим образом:

$$F_{сопр\ j}(x_i) = N_j(x_i) \frac{\mu_{нр\ o} r_{oij} + f_{нр}}{r_{нр\ ij}},$$

где $N_j(x_i)$ – нормальная реакция опоры j -го неприводного ролика i -й подвески; $r_{нр\ ij}$, r_{oij} – наружный и внутренний радиусы j -го неприводного ролика i -й подвески; $\mu_{нр\ o}$ – коэффициент трения скольжения в оси j -го неприводного ролика; $f_{нр}$ – коэффициент трения качения неприводного ролика.

Величина нормальной реакции опорной поверхности неприводного ролика определяется в зависимости от его конструктивного положения в подвеске и сочетания приложенных внешних сил.

К вертикальным неприводным роликам ведущей подвески приложено действующее в обратном направлении усилие со стороны прижимного устройства $F_{нр}$, а также усилия со стороны ленты с грузом $T(x_i)$ и тяжести несущей секции $G_{нс}$. Конструктивно предусмотренный зазор между направляющей качения и симметрично расположенными относительно нее неприводными роликами в сочетании с возможностью взаимного перемещения секций ведущей подвески, приводят к тому, что на различных участках конвейера с направляющей качения могут взаимодействовать как ролики, установленные снаружи контура трассы, так и ролики, установленные внутри (рис. 8). Если величина усилия, действующего со стороны прижимного устройства, не превышает суммы проекций сил от ленты, груза и тяжести несущей секции подвески:

$$[G_{нс} + T(x_i) \sin \beta(x_i)] \cos \alpha(x_i) \geq F_{нр},$$

то качение по направляющей осуществляют ролики, установленные с внешней стороны контура трассы (рис. 8, а), а нормальная реакция опорной поверхности неприводного ролика определяется по выражению

$$N_{en}(x_i) = [G_{nc} + T(x_i) \sin \beta(x_i)] \cos \alpha(x_i) - F_{np},$$

где F_{np} – сила прижатия приводного ролика к направляющей качения прижимным устройством.

Если же величина усилия, действующего со стороны прижимного устройства, больше суммы проекций сил от ленты, груза и тяжести несущей секции подвески:

$$[G_{nc} + T(x_i) \sin \beta(x_i)] \cos \alpha(x_i) < F_{np},$$

то в таком случае с направляющей качения контактируют неприводные ролики, установленные с внутренней стороны контура трассы конвейера (рис. 8, б), а нормальная реакция опорной поверхности неприводного ролика ведущей подвески определяется как

$$N_{en}(x_i) = -[G_{nc} + T(x_i) \sin \beta(x_i)] \cos \alpha(x_i) + F_{np}.$$

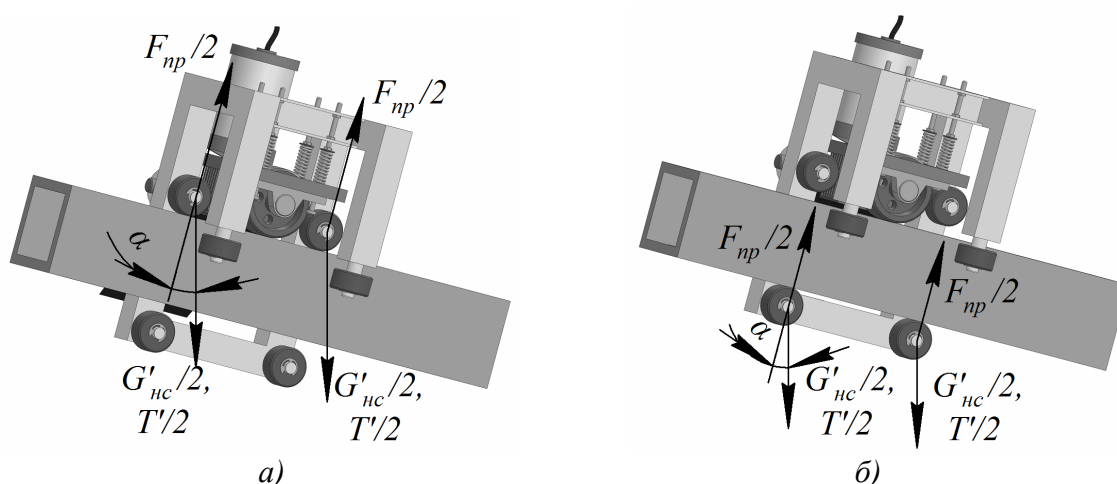


Рис. 8. Варианты расположения несущей секции приводной подвески относительно направляющей качения при движении по трассе конвейера: а – с направляющей качения взаимодействуют ролики, установленные снаружи контура трассы; б – с направляющей качения взаимодействуют ролики, установленные внутри контура трассы.

Нормальная реакция опорной поверхности вертикального несущего ролика i -й ведомой подвески определяется по зависимости

$$N_{en}(x_i) = [G_n + T(x_i) \sin \beta(x_i)] \cos \gamma(x_i).$$

Нормальные реакции опорных поверхностей горизонтальных несущих роликов подвесок, расположенных снаружи направляющего пути:

$$N_z(x_i) = T(x_i) \cos \beta(x_i).$$

Рассмотренные особенности определения усилий, приложенных к подвескам конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, позволяют выполнять моделирование динамических характеристик таких конвейеров с вертикально-замкнутыми трассами неограниченной длины и произвольных конфигураций.

Список литературы

1. Дьяченко, А.В. Выбор основных геометрических параметров участка формирования желоба трубчатого ленточного конвейера / А.В. Дьяченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007, № 10. - С. 229–231.
2. Лагерев, А.В. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой – инновационный вид машин непрерывного транспорта / А.В. Лагерев, В.П. Дунаев // Справочник. Инженерный журнал. – 2009, № 10. - С. 9–14.
3. Лагерев, А.В. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014, №3. - С. 44–52.

4. Лагерев, А.В. Исследование движения подвесок дискретного участка конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально-замкнутой трассой с помощью одномассовой динамической модели / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013, №4. - С. 33–40.

5. Лагерев, А.В. Динамические процессы при переходных режимах работы дискретного участка конвейера с распределенным приводом / А.В. Лагерев, Д.Ю. Кулешов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – №2. – С. 50–56.

6. Толкачев, Е.Н. Обоснование рациональной схемы дискретного участка конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой [Электронный ресурс] / Е.Н. Толкачев // Будущее машиностроения России: электрон. сб. тр. VII Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 24 – 27 сент. 2014 г. – ФГУП НТЦ «Информрегистр» № 0321402784 – 1 электрон. опт. диск (CD-R).

7. Лунев, Д.Е. Обоснование рациональных конструктивных и эксплуатационных параметров конвейеров с подвесной лентой для предприятий горной промышленности: дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2007. - 119 с.

8. Пат. 2424170 Российская Федерация, МПК⁷ В65G 15/08, В65G 15/60. Конвейер с подвесной лентой / А.В. Лагерев, В.П. Дунаев, Д.Ю. Кулешов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет». – № 2009118980/11; заявл. 19.05.2009; опубл. 19.05.2009.

9. Пат. 153945 Российская Федерация, МПК⁷ В65G 15/60. Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, К.А. Гончаров, Д.Ю. Кулешов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского». – № 2015102372/11; заявл. 26.01.2015; опубл. 10.08.2015.

10. Лагерев, А.В. Патент RU № 153945 на полезную модель «Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой» / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, К.А. Гончаров, Д.Ю. Кулешов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015, № 1. – С. 77-78. URL: <http://ntv-brgu.ru/index.php/1-2015/>.

11. Толкачев, Е.Н. Анализ динамики подвесок дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом [Электронный ресурс] / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015, № 1. – С. 55-64. URL: <http://ntv-brgu.ru/index.php/1-2015/>.

Сведения об авторе

Толкачев Евгений Николаевич – специалист отдела инновационного развития ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», tolkachev_en@mail.ru.

SPECIFICS OF DETERMINING THE FORCES ARE APPLIED TO THE SUSPENSIONS OF CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE, DEPENDING ON THEIR SPATIAL CONFIGURATION ON THE ROUTE

E.N. Tolkachev

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

The basic version of the route, which includes the main areas of transportation of conveyor with suspended belt and distributed drive, was reviewed. Action of the suspension on respective areas, which occurs at moving of their, was analyzed. Relations necessary for determining the forces, which are affected on the suspensions, was represented.

Key words: conveyor belt, suspended belt, distributed drive, suspension.

References

1. Dyachenko A.V. Selection of the basic geometrical parameters of section forming of chute a tubular conveyor belt, *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2007, No.10, pp. 229–231.
2. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport mashines, *Inzhenerniy zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp.9-14.
3. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Mathematical model of a special conveyor with suspended belt and distributed drive, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.3, pp. 44 – 52.
4. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. The study of the motion of suspensions of discrete section of a conveyor with suspended belt, distributed drive, and the vertically-closed track with the single-mass di-namic model, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.4, pp. 33–40.
5. Lagerev A.V., Kuleshov D.Yu. Dynamic processes of discrete section of a conveyor with suspended belt and distributed drive at transient state of work, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.2, pp. 50-56.
6. Tolkachev E.N. Justification of rational scheme discrete section of the conveyor with suspended belt and distributed drive and vertical closed route. *Future Engineering of Russia. Proceedings of the 7 All-Russian Conference of young scientists and specialists. Moscow, MGTU im. N.E.Baumana, 24-27 Sept. 2014.* FSUE STC «Informregistr» № 0321402784 – 1 electronic. optical disk (CD-R).
7. Lunev D.E. Justification of rational design and operational parameters of conveyor with suspended belt for the mining industry. Cand. Diss. (Engineering). SPb, 2007. 119 p.
8. Patent RU 2424170. *Konveyer s podvesnoy lentoy* [Conveyor with suspended belt]. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Kuleshov D.Yu. Declared 19.05.2009. Published 19.05.2009.
9. Patent RU 153945. *Privodnaya podveska lentochnogo konveyera s podvesnoy lentoy* [Driving suspension of conveyor with suspended belt]. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A., Kuleshov D.Yu. Declared 26.01.2015. Published 10.08.2015.
10. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A., Kuleshov D.Yu. Patent RU № 153945. Suspension drive belt conveyor with hanging ribbon, *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015 , No.1, pp. 77-78.
11. Tolkachev E.N. Analysis of the dynamics of suspensions of discrete section of the conveyor with suspended belt and distributed drive, *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 55-64. available at: <http://ntv-brgu.ru/index.php/1-2015/>.

Author' information

Evgeniy N. Tolkachev - specialist at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, tolkachev_en@mail.ru.