

УДК 621.867

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗА ПРИВодОВ ВЕДУЩИХ ПОДВЕСОК КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ ПРИ РАЗРЫВЕ ЭЛЕКТРОЦЕПИ**

Толкачев Е.Н.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Брянск, Россия

Статья посвящена актуальному вопросу, связанному с моделированием отказов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом. Разработана математическая модель отказа индивидуальных приводов подвесок вследствие разрыва электроцепи. Для базового варианта конвейера с подвесной лентой выполнено моделирование динамических характеристик.

**Ключевые слова:** конвейер ленточный, лента подвесная, модель математическая, отказ, подвеска, привод распределенный, разрыв электроцепи.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-02-178-189

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ для научных проектов, выполняемых молодыми учеными (Мой первый грант) № 16-38-00058.

Современные направления совершенствования машин непрерывного транспорта заключаются в создании экономически эффективных, высокопроизводительных, надежных машин, обеспечивающих бесперегрузочное транспортирование грузов по трассам различной сложности и протяженности [1]. Результатом разработки ленточного транспортера, отвечающего перечисленным требованиям, является конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом (рис. 1), конструктивные особенности и принцип действия которого описан в ряде публикаций [2-4]. Ключевой конструктивной особенностью данного конвейера является реализация привода по распределенной

вдоль трассы схеме путем оборудования части подвесок индивидуальными приводными механизмами [5, 6]. Распределенный привод конвейера с подвесной лентой позволяет отказаться от громоздкой приводной и натяжной станций, исключить необходимость осуществления промежуточной перегрузки с одной транспортирующей установки на другую при перемещении груза на большое расстояние. Кроме того многоприводная схема способствует значительному сокращению натяжений в дорогостоящей конвейерной ленте и увеличению ее ресурса [3, 7-9], а также позволяет использовать нагруженный резерв из приводных подвесок для повышения надежности конвейера [10].

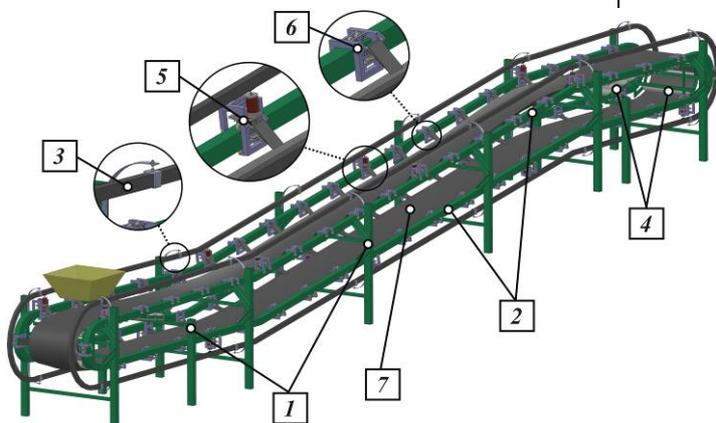


Рис. 1. Общий вид конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом: 1 – став; 2 – направляющие качения; 3 – токоведущий тролейный шинопровод; 4 – стационарные роlikоопоры; 5 – приводные подвески; 6 – неприводные подвески; 7 – лента

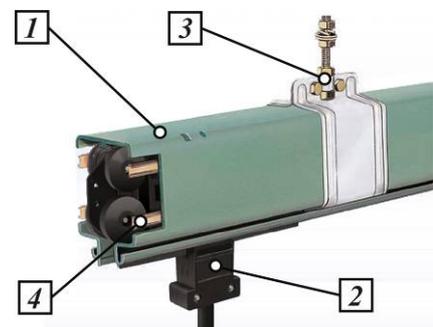


Рис. 2. Общий вид токоведущего троллейного шинопровода: 1 – защитный короб; 2 – токосъемник; 3 – подвесной кронштейн; 4 – медная шина

В качестве приводов ведущих подвесок могут использоваться малогабаритные мотор-редукторы с приводными роликами, установленными на выходных валах, либо мотор-колеса [3, 5, 6]. Питание электрическим током приводных механизмов осуществляется с замкнутого вдоль трассы конвейера П-образного токоведущего троллейного шинпровода посредством токосъемников в виде роликовых кареток с электрографитовыми башмаками и соединительных кабелей (рис. 2) [2, 11]. Одной из возможных причин отказов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, является разрыв цепи электропитания привода подвески, который, в частности, может быть обусловлен изнашиванием скользящих электрографитовых башмаков каретки токосъемника, либо отсоединением или разрушением соединительных токопроводящих кабелей. Учитывая, что приводные подвески, осуществляющие тяговые и несущие функции, являются одним из главных элементов конструкции конвейера, определяющих его работоспособное состояние, то особую актуальность имеет задача оценки влияния отказов приводных подвесок на техническое состояние конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом.

Для моделирования динамических процессов, протекающих при отказе приводов ведущих подвесок, не оборудованных встроенными тормозами нормально-замкнутого типа, предлагается использовать следующую математическую модель.

Разрыв цепи электропитания сопровождается остановкой электродвигателя мотор-редуктора, при этом приводной ролик подвески имеет возможность вращения. В таком случае крутящий момент на валу мотор-редуктора обращается в ноль, а сопротивления движению остаются неизменными.

Величина, характеризующая подачу электрического тока на привод ведущей подвески в общем виде может быть записана в виде вектор-столбца, количество элементов которого соответствует количеству приводных подвесок на одном контуре направляющих качения трассы конвейера:

$$N_{отк} = (n_{a,b}),$$

где  $n$  – показатель питания электрическим током  $i$ -й подвески ( $n = 0$  – ток не подается,  $n = 1$  – ток подается);  $a$  – количество строк матрицы, равное количеству приводных подвесок ( $n_n$ );  $b$  – количество столбцов матрицы, равное единице.

Для моделирования случайного распределения отказов приводных подвесок может быть использована функция  $rnd(n)$ , результат расчета которой необходимо округлить до целого значения.

Привязка отказа приводных подвесок ко времени выполнена путем формулирования следующего условия:

$$N_{отк}(t) = \begin{cases} k_{pc}, & \text{если } t \leq t_{отк}; \\ \text{иначе } N_{отк}, & \end{cases}$$

где  $t_{отк}$  – время наступления отказа;  $k_{pc} = (1_{a,b})$  – величина, отражающая работоспособное состояние всех приводов ведущих подвесок.

Таким образом, графики изменения величин, характеризующих подачу электрического тока на приводы ведущих подвесок, в зависимости от времени наступления отказа в общем виде представлены на рис. 3.

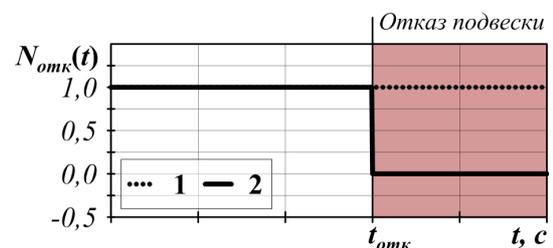


Рис. 3. Графики изменения величин, характеризующих подачу электрического тока на приводы ведущих подвесок: 1 – в штатном режиме работы; 2 – при наступлении отказа

Кроме того, для исключения самопроизвольного перемещения механической системы под действием сил сопротивлений в обратном направлении, в математическую модель также вводится функция знака  $sgn(x)$  [12-14]. Таким образом, с учетом выше перечисленных особенностей уравнения движения приводного (рис. 4, а) и холостого (рис. 4, б) роликов [4, 15-17] при моделировании отказа записываются в виде следующих выражений:

$$\begin{cases} m_{ni}^{np} \ddot{x}_i = F_{cu_i} + (G_{nc_i} + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}) + k_i(\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1}); \\ m_{ni}^{np} \ddot{y}_i = N_{np_i} - G_{nc_i} \cos \alpha_i - F_{np}; \\ J_{ni}^{np} \ddot{\phi}_i = N_{omk}(t)_i \cdot M_{kp_i} - F_{cu_i} r_{np} - N_{np_i} f_{np} \operatorname{sgn}(\dot{x}_i) - M_{ni}^{np} \operatorname{sgn}(\dot{x}_i), \end{cases}$$

где  $F_{cu_i} = F_{cu}(x_i, x_{i+1}, x_{i-1}, \dot{x}_i, \dot{x}_{i+1}, \dot{x}_{i-1}, \phi_i)$  – сила сцепления приводного ролика ведущей подвески;  $M_{kp_i} = M_{kp}(\phi_i)$  – крутящий момент на выходном валу привода ведущей подвески;  $\dot{x}_i, \dot{x}_{i-1}, \dot{x}_{i+1}$  – линейные скорости исходного, предыдущего и последующего роликов;  $x_i, x_{i-1}, x_{i+1}$  – перемещения исходного, пре-

дыдущего и последующего роликов;  $m_{ni}^{np}$ ,  $J_{ni}^{np}$  – суммарные приведенные масса и момент инерции ведущей подвески [3, 18];  $c$  – приведенная жесткость упругого элемента (ленты);  $k_i$  – коэффициент сопротивления демпфирующего элемента.

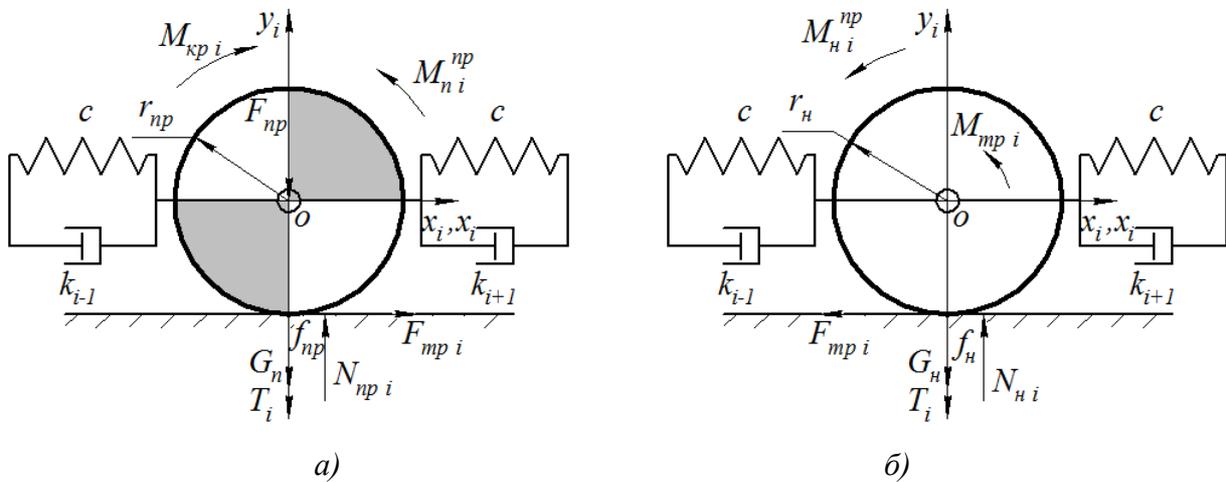


Рис. 4. Расчетные схемы роликов: а – приводного; б – холостого

Движение неприводного ролика ведомой подвески описывается следующими дифференциальными отношениями:

$$\begin{cases} m_{ni}^{np} \ddot{x}_i = -F_{cu_i} + (G_{ni} + T_i \sin \beta_i) \sin \gamma_i + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}) + k_i(\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1}); \\ m_{ni}^{np} \ddot{y}_i = N_{ni} - (G_{ni} + T_i \sin \beta_i) \cos \gamma_i; \\ J_{ni}^{np} \ddot{\phi}_i = F_{cu_i} r_n - N_{ni} f_{np} \operatorname{sign}(\dot{x}_i) - M_{mpi} \operatorname{sgn}(\dot{x}_i) - M_{ni}^{np} \operatorname{sgn}(\dot{x}_i), \end{cases}$$

где  $M_{mpi} = \mu_{np_o} r_{o_i}$  – момент трения скольжения в оси неприводного ролика;  $m_{ni}^{np}$ ,  $J_{ni}^{np}$  – суммарные приведенные масса и момент инерции ведомой подвески.

Системы уравнений движения подвесок преобразованы с учетом возможности проскальзывания только приводных роликов модели. Движение всех подвесок одного

контура направляющей качения конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом согласно математической модели описывается системой дифференциальных уравнений первого порядка, количество которых определяется числом и типом подвесок.

Общий вид системы уравнений выглядит как

$$\left. \begin{aligned}
 & \frac{dx_1}{d\tau} = \dot{x}_1; \\
 & \frac{d\dot{x}_1}{d\tau} = \frac{1}{M_n(x_1)} \left[ F_{cu}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \dot{\varphi}_1, t_1) + (G_{II} + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_1))) \cdot \sin \alpha(x_1) + \right. \\
 & \left. + c \cdot (x_n - 2x_1 + x_2 - L_{mp}) + (2\xi \sqrt{M_n(x_1)} \cdot c) (\dot{x}_n - 2\dot{x}_1 + \dot{x}_2) \right]; \\
 & \frac{d\varphi_1}{d\tau} = \dot{\varphi}_1; \\
 & \frac{d\dot{\varphi}_1}{d\tau} = \frac{1}{J_n(x_1)} \left[ N_{омк}(t)_1 \cdot M_{кр}(\dot{\varphi}_1) - F_{cu}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \dot{\varphi}_1, t_1) r_n - M_{ПРИБ1}(x_1) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_1) - \right. \\
 & \left. - f_1 (G_{II} \cos \alpha(x_1) + F_{np}) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_1) \right]; \\
 & \frac{dx_2}{d\tau} = \dot{x}_2; \\
 & \frac{d\dot{x}_2}{d\tau} = \frac{r}{J_{nn}(x_2) + M_{nn}(x_2) r^2} \left[ -M_{ПРИБ2}(x_2) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_2) + r [(G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_2))) \cdot \sin \gamma(x_2) - \right. \\
 & \left. - c \cdot (2x_2 - x_3 - x_1) - (2\xi \sqrt{M_n(x_2)} \cdot c) (2\dot{x}_2 - \dot{x}_3 - \dot{x}_1)] - (f_2 + r_0 \mu_2) (G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_2))) \times \right. \\
 & \left. \times \cos \gamma(x_2) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_2) \right]; \\
 & \frac{dx_3}{d\tau} = \dot{x}_3; \\
 & \frac{d\dot{x}_3}{d\tau} = \frac{r}{J_{nn}(x_3) + M_{nn}(x_3) r^2} \left[ -M_{ПРИБ2}(x_3) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_3) + r [(G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_3))) \cdot \sin \gamma(x_3) - \right. \\
 & \left. - c \cdot (2x_3 - x_4 - x_2) - (2\xi \sqrt{M_n(x_3)} \cdot c) (2\dot{x}_3 - \dot{x}_4 - \dot{x}_2)] - (f_2 + r_0 \mu_2) (G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_3))) \times \right. \\
 & \left. \times \cos \gamma(x_3) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_3) \right]; \\
 & \dots \\
 & \frac{dx_j}{d\tau} = \dot{x}_j; \\
 & \frac{d\dot{x}_j}{d\tau} = \frac{1}{M_n(x_j)} \left[ F_{cu}(x_j, x_{j+1}, x_{j-1}, \dot{x}_j, \dot{x}_{j+1}, \dot{x}_{j-1}, \dot{\varphi}_j, t_j) + (G_{II} + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_j))) \cdot \sin \alpha(x_j) + \right. \\
 & \left. + c \cdot (x_{j+1} - 2x_j + x_{j-1}) + (2\xi \sqrt{M_n(x_j)} \cdot c) (\dot{x}_{j+1} - 2\dot{x}_j + \dot{x}_{j-1}) \right]; \\
 & \frac{d\varphi_j}{d\tau} = \dot{\varphi}_j; \\
 & \frac{d\dot{\varphi}_j}{d\tau} = \frac{1}{J_n(x_j)} \left[ N_{омк}(t)_j \cdot M_{кр}(\dot{\varphi}_j) - F_{cu}(x_j, x_{j+1}, x_{j-1}, \dot{x}_j, \dot{x}_{j+1}, \dot{x}_{j-1}, \dot{\varphi}_j, t_j) r_n - M_{ПРИБ1}(x_j) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_j) - \right. \\
 & \left. - f_1 (G_{II} \cos \alpha(x_j) + F_{np}) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_j) \right]; \\
 & \dots \\
 & \frac{dx_n}{d\tau} = \dot{x}_n; \\
 & \frac{d\dot{x}_n}{d\tau} = \frac{r}{J_{nn}(x_n) + M_{nn}(x_n) r^2} \left[ -M_{ПРИБ2}(x_n) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_n) + r [(G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_n))) \cdot \sin \gamma(x_n) - \right. \\
 & \left. - c \cdot (2x_n - x_1 - x_{n-1}) - (2\xi \sqrt{M_n(x_n)} \cdot c) (2\dot{x}_n - \dot{x}_1 - \dot{x}_{n-1})] - (f_2 + r_0 \mu_2) (G_H + (Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_n))) \times \right. \\
 & \left. \times \cos \gamma(x_n) \cdot \operatorname{sgn}(\dot{x}_n) \right]
 \end{aligned} \right\}$$

где

$$F_{cy}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \dot{\varphi}_1, t_1) = \begin{cases} \mu_1(G_{ПС} \cos \alpha(x_1) + F_{np}), & \text{если } \dot{\varphi}_1 r_n - \dot{x}_1 > 0; \\ -\mu_1(G_{ПС} \cos \alpha(x_1) + F_{np}), & \text{если } \dot{\varphi}_1 r_n - \dot{x}_1 < 0; \end{cases}$$

$$= \begin{cases} \frac{1}{J_n(x_1) + M_n(x_1)r_n^2} [M_n(x_1)r_n [N_{отк}(t_1) \cdot M_{кр}(\dot{\varphi}_1) - M_{ПРИБ1}(x_1) \cdot \text{sgn}(\dot{x}_1) - f_1(G_{ПС} \cos \alpha(x_1) + F_{np}) \cdot \text{sgn}(\dot{x}_1)] - \\ - J_n(x_1) [(G_{П} + (Q_{Л} + Q_{Г}(x_1))) \cdot \sin \alpha(x_1) + c \cdot (x_n - 2x_1 + x_2 - L_{mp}) + (2\xi \sqrt{M_n(x_1) \cdot c})(\dot{x}_n - 2\dot{x}_1 + \dot{x}_2)] \end{cases}$$

при начальных условиях

$$x_i(\tau = 0) = -h_n(i - 1), \dot{x}_i(\tau = 0) = 0, \varphi_i(\tau = 0) = 0, \dot{\varphi}_i(\tau = 0) = 0.$$

Для решения системы дифференциальных уравнений используется численный метод Рунге-Кутты 4-го порядка.

В качестве объекта для проведения расчета и демонстрации результатов реализации разработанной математической модели отказа ведущих подвесок при разрыве электроцепи принят конвейер-питатель с подвесной

лентой и распределенным приводом (рис. 5), технические характеристики которого приведены в таблице. Моделирование динамики конвейера осуществлялось при условии наступления отказа вследствие разрыва цепи питания электрическим током приводной подвески № 1.

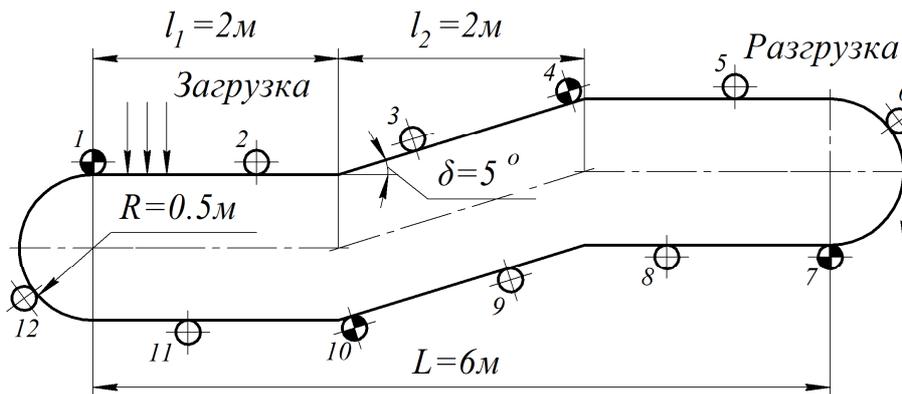


Рис. 5. Схема конфигурации трассы и расположения подвесок конвейера-питателя с подвесной лентой и распределенным приводом

Таблица 1

Технические характеристики конвейера-питателя

Обозначение	Технические характеристики	Значение	Единица измерения
Общие характеристики			
$L$	Длина горизонтальной проекции конвейера	6	м
$R$	Радиус концевой поворотной секции	0,5	м
$\alpha$	Угол наклона конвейера	5	град
$Q_p$	Производительность расчетная	100	т/ч
$\rho$	Объемная плотность транспортируемого груза	1,4	т/м <sup>3</sup>
$\varphi$	Угол естественного откоса груза	45	град
$v_{cp}$	Скорость транспортирования расчетная	0,5	м/с
$n$	Общее количество подвесок	12	шт.
$n_n$	Количество приводных подвесок (дискретных участков)	4	шт.
$n_{дy}$	Количество подвесок в дискретном участке	3	шт.
$h_n$	Шаг размещения подвесок	1,26	м

Окончание таблицы

Характеристики подвесок			
$F_{np}$	Сила прижатия ведущего ролика приводной подвески	195	Н
$c$	Номинальный крутящий момент на валу привода ведущей подвески	5,5	Н·м
$n_n$	Номинальная скорость вращения	70,0	об/мин
$n_x$	Скорость вращения без нагрузки	80,0	об/мин
$m_{mk\ nc}$	Масса металлоконструкции прижимной секции	1,5	кг
$m_{np}$	Масса приводного ролика	2,0	кг
$m_{mp}$	Масса мотор-редуктора	3,5	кг
$m_{mk\ nc}$	Масса металлоконструкции несущей секции	7	кг
$m_{np}$	Масса неприводного ролика	0,07	кг
$m_{mknp}$	Масса металлоконструкции неприводной подвески	5,0	кг
$r_{np}$	Наружный радиус приводного ролика	0,07	м
$r_{np}$	Наружный радиус холостого ролика	0,025	м
$r_o$	Внутренний радиус ролика	0,006	м
$f_{np}$	Коэффициент трения качения (резина-сталь)	0,0077	м
$\mu_{np}$	Коэффициент трения скольжения (резина-сталь)	0,5	-
$f_{np}$	Коэффициент трения качения (сталь-сталь)	0,001	м
$\mu_{np\ o}$	Коэффициент трения скольжения в осях	0,02	-
$k_{II}$	Количество холостых роликов в приводной подвеске	6	шт.
$k_H$	Количество холостых роликов в неприводной подвеске	4	шт.
Характеристики ленты			
$B$	Ширина ленты	0,4	м
$i_0$	Число прокладок ленты	2	шт.
$\delta_1 / \delta_2$	Толщина верхней обкладки / нижней обкладки	3,0 / 1,0	мм
$u_{max}$	Толщина тягового каркаса ленты	2,4	мм
$k$	Коэффициент жесткости	210	кН/м
$\xi$	Коэффициент затухания колебаний	0,05	-

Моделирование выполнялось в интервале времени от 0 до 60 секунд с шагом 0,01 секунды. Время наступления отказа приводной подвески № 1 принято равным 30 с.

Результаты расчета динамических характеристик приводных подвесок при отказе ведущей подвески № 1 представлены на рис. 6-8.

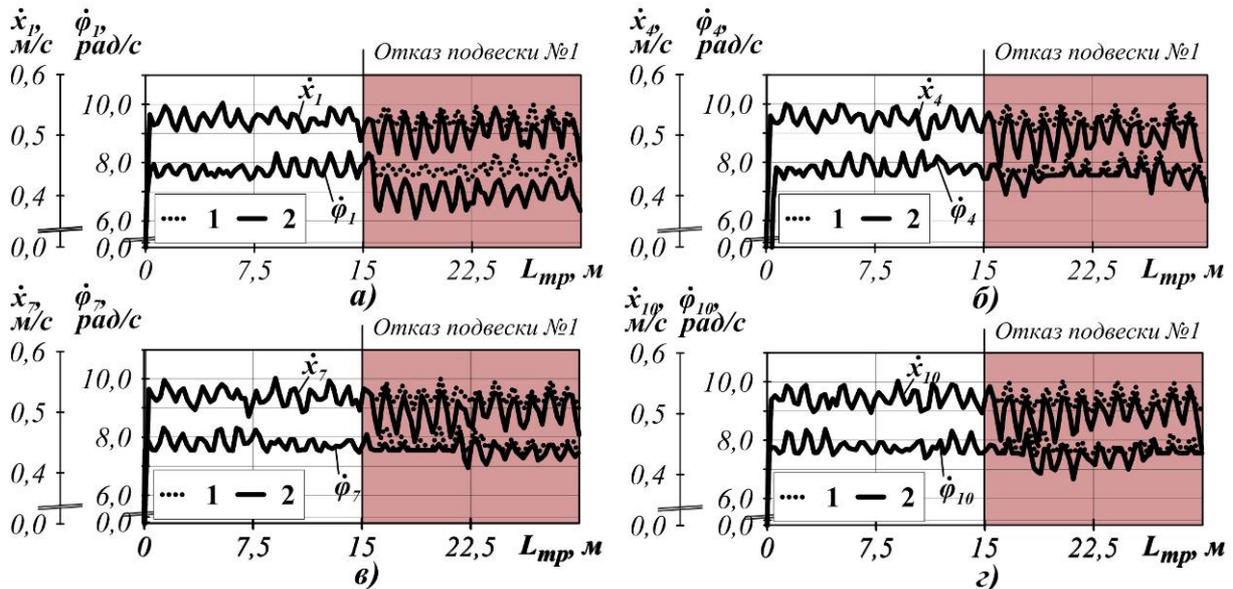
После наступления отказа приводной подвески колебания линейной скорости ведущих подвесок № 1, 4, 7, 10 преобретают большую амплитуду, а среднее значение сокращается на 4,7 %. При этом угловая скорость ведущих роликов приводных подвесок № 4, 7, 10 в среднем сократилась на 3,0 %, однако амплитуда ее колебаний изменяется в

зависимости от участка трассы, по которому перемещается соответствующая подвеска. В тоже время средняя угловая скорость отказавшей приводной подвески № 1 уменьшилась на 10,9 %, а ее амплитуда увеличилась в большей мере.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что вышедшая из строя после отказа подвеска продолжает перемещение с линейной скоростью, равной скорости ленты конвейера, причем общая скорость транспортирования снижается. Вместе с тем свободно вращающийся приводной ролик ведущей подвески № 1 при имеющемся сочетании внешних сил вращается с меньшей скоро-

стью, а потому проскальзывает вдоль направляющего пути, о чем свидетельствуют

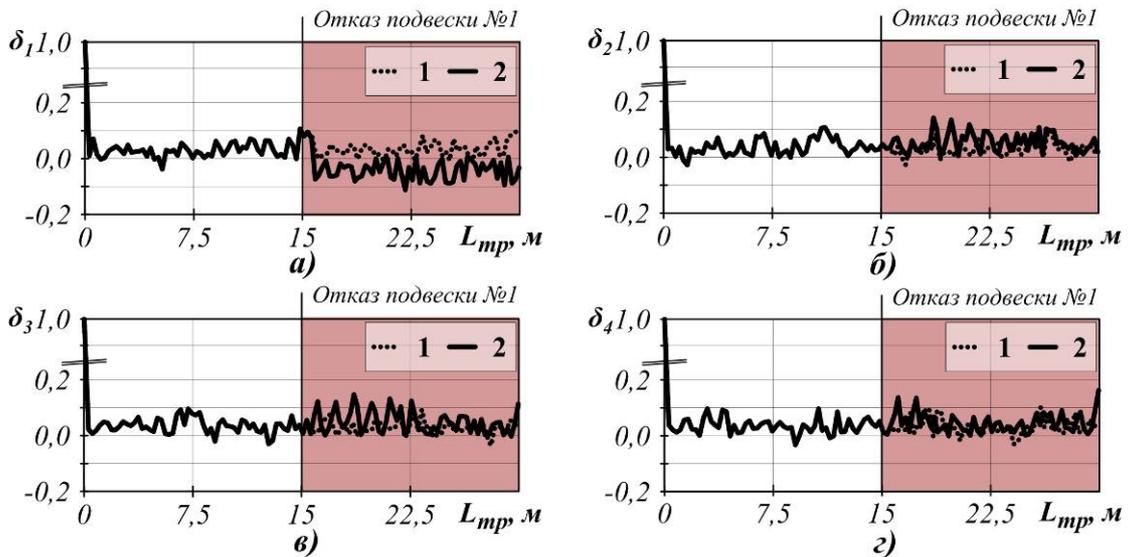
результаты изменения коэффициента буксования приведенные на рис. 7.



1 – штатный режим работы; 2 – работы при наступлении отказа

Рис. 6. Изменение динамических характеристик приводных роликов ведущих подвесок при наступлении отказа привода подвески № 1 вследствие разрыва токоподвода:

а – линейного перемещения; б – углового перемещения



1 – штатный режим работы; 2 – работы при наступлении отказа

Рис. 7. Изменение коэффициентов буксования приводных роликов ведущих подвесок при наступлении отказа приводной подвески № 1 вследствие разрыва токоподвода: а – подвеска № 1;

б – подвеска № 4; в – подвеска № 7; г – подвеска № 10

Коэффициент буксования определяется согласно следующему выражению:

$$\delta_i = 1 - \frac{\dot{x}_i}{\dot{\varphi}_i r_{np}}$$

В соответствии с приведенной формулой значение коэффициента равное 1 соответствует буксованию приводного ролика подвес-

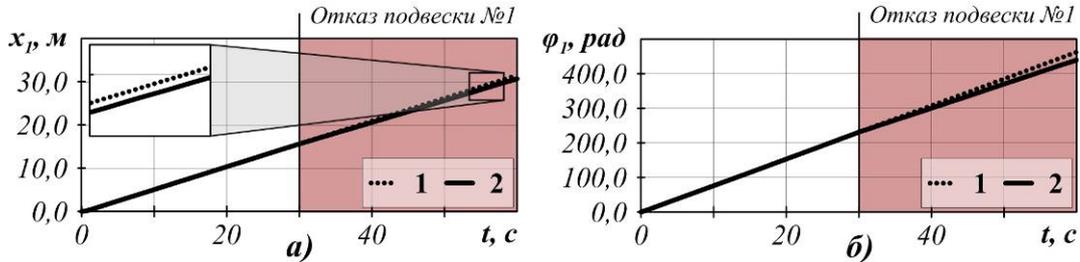
ки. Если же его величина равна -1, то приводной ролик подвески скользит (перемещается юзом).

Следовательно, при отказе ведущей подвески № 1, приводные ролики подвесок № 4, 7, 10 продолжают движение с большей величиной проскальзывания, причем буксование увеличивается на определенных участках

трассы. В тоже время приводной ролик ведущей подвески № 1 после ее отказа продолжает движение с повышенным скольжением.

Согласно результатам сравнения, представленным на рис. 8, линейное и угловое перемещения приводного ролика ведущей

подвески № 1 вследствие отказа подвески и сокращения скорости движения уменьшились не значительно. В конце интервала моделирования движения конвейера (60 с) разница между линейным перемещением составила 2,5 %, а угловым 4,9 %.

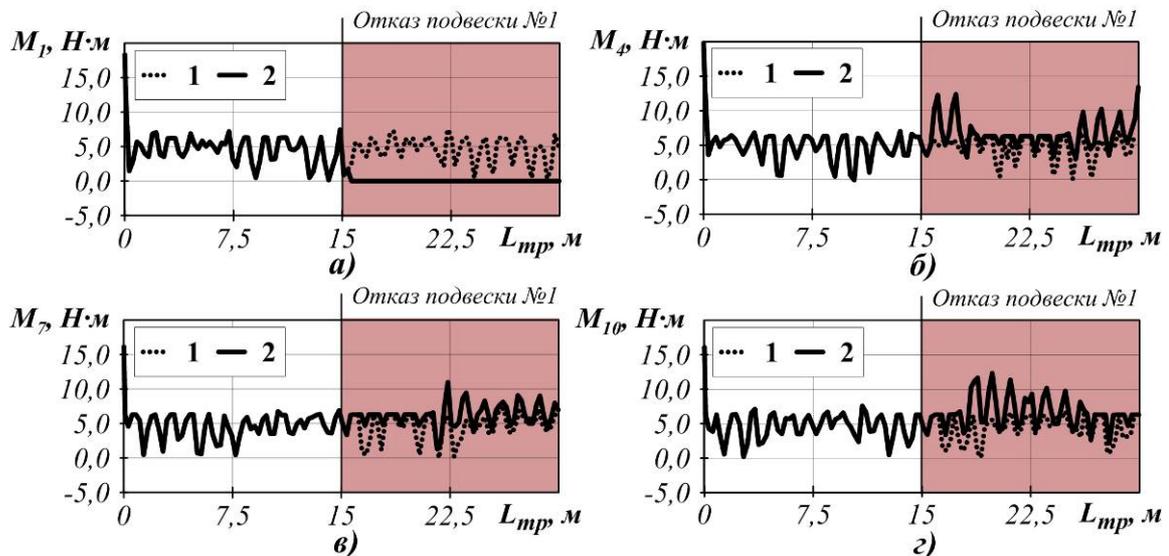


1 – штатный режим работы; 2 – работы при наступлении отказа

Рис. 8. Изменение динамических характеристик приводного ролика ведущей подвески № 1 при наступлении ее отказа вследствие разрыва токоподвода: а – линейного перемещения; б – углового перемещения

Крутящий момент подвески № 1 после ее отказа становится равным нулю, при этом значения крутящих моментов приводных подвесок № 4, 7, 10 на участках, где буксо-

вание приводного ролика практически минимально, возрастают (прирост составляет порядка 2,2...2,5 %) (рис. 9).



1 – штатный режим работы; 2 – работы при наступлении отказа

Рис. 9. Изменение крутящих моментов приводов ведущих подвесок при наступлении отказа приводной подвески № 1 вследствие разрыва токоподвода: а – подвеска № 1; б – подвеска № 4; в – подвеска № 7; з – подвеска № 10

Тем не менее, ярко выраженных всплесков на графиках распределения продольных усилий (рис. 10) в ленте не отмечается. Силы в ленте вблизи отказавшей приводной подвески № 1 несколько уменьшились, в то время как вблизи оставшихся приводных подвесок незначительно увеличились (№ 4, 7), либо существенно не изменились (№ 10). Отсутствие резких скачков величины продоль-

ных сил в ленте обуславливается тем, что приводной ролик ведущей подвески № 1 после ее отказа продолжает свободно вращаться, а повышение и сокращение продольных усилий в ленте вблизи оставшихся подвесок определяется их взаимным расположением, а также нахождением на соответствующих участках трассы.

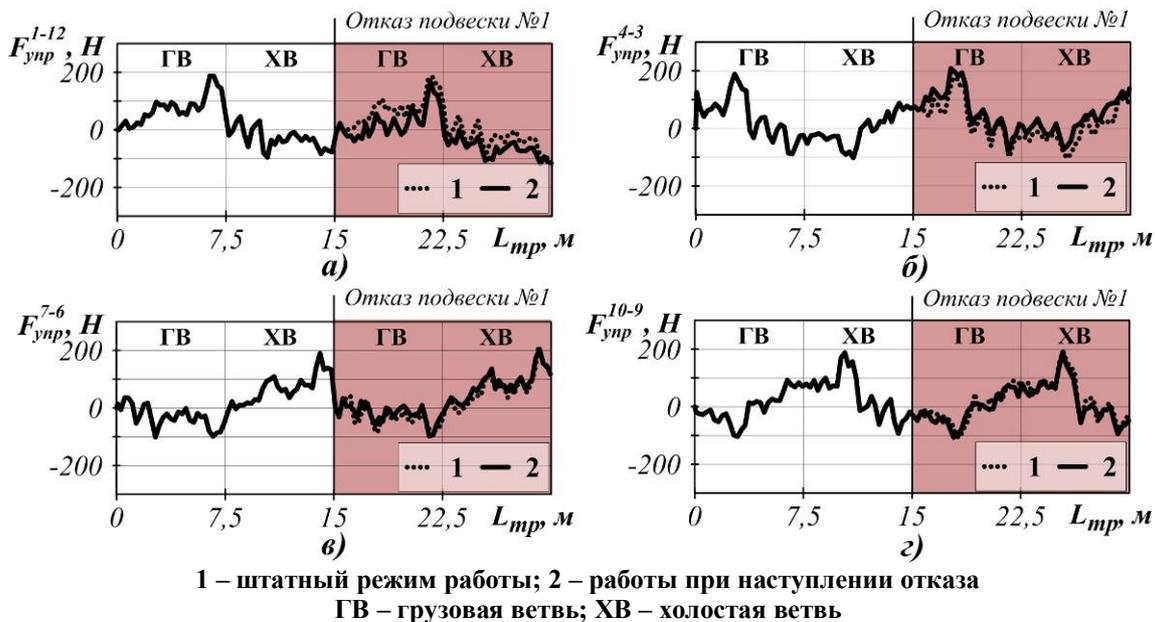


Рис. 10. Изменение продольных усилий в ленте в местах крепления ведущих подвесок при наступлении отказа приводной подвески № 1 вследствие разрыва токоподвода: а – подвеска № 1; б – подвеска № 4; в – подвеска № 7; г – подвеска № 10

Разработанная математическая модель позволяет осуществлять расчет динамических характеристик элементов конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом при отказе подвесок вследствие разрыва электроцепи. В последующей работе планируется реализовать математические модели прочих видов отказов, а также провести углубленное исследование влияния отказов приводных подвесок на технические характеристики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом для различного количества вышедших из строя подвесок, их взаимного расположения, а также размещения на трассе.

#### Список литературы

1. Пертен, Ю.А. Конвейерный транспорт XXI века / Ю.А. Пертен // Транспорт Российской Федерации. – 2005. – № 1. – С. 42-43.
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. Проектирование и исследования конвейеров с подвесной грузонесущей лентой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, П.В. Бословяк. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 303 с.

4. Lagerev, A.V. Modelling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive / A.V. Lagerev, E.N. Tolkachev, I.A. Lagerev // International Review on Modelling and Simulations. – 2016. – Vol. 9, N. 4. – P. 271-279.

5. Пат. 153945 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В65G 15/60. Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой / Лагерев А.В., Толкачев Е.Н., Гончаров К.А., Кулешов Д.Ю.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского». – № 2015102372/11; заявл. 26.01.2015; опубл. 10.08.2015. Бюл. № 22.

6. Пат. 164247 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В65G 15/60. Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой / Лагерев А.В., Толкачев Е.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского». – № 2016108456/11; заявл. 09.03.2016; опубл. 20.08.2016. Бюл. № 23.

7. Лагерев, А.В. Определение рационального количества подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев // Вестник СибАДИ. – 2016. – № 4. – С. 25-34.

8. Спиваковский, А.О. Транспортирующие машины / А.О. Спиваковский, В.К.

Дьячков. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.

9. Nuttall A. Design Aspects of Multiple Driven Belt Conveyors: Doctoral dissertation / A. Nuttall. Delft: Delft University of Technology, 2007. – 158 p.

10. Гончаров, К.А. Сравнительный анализ эффективности применения специального конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой / К.А. Гончаров, Е.Н. Толкачев // Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании: материалы V Междунар. научно-практ. конф. 21–23 октября 2013 г. – Брянск: БГТУ, 2013. – С. 11-13.

11. Московский Б.Г. Современные системы электропитания машин и механизмов. Порядок выбора шинопроводов для мостовых грузоподъемных кранов / Б.Г. Московский // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 4-5 (86). – С. 20-23.

12. Дмитриева, В.В. Разработка математической модели ленточного конвейера с двухдвигательным приводом / В.В. Дмитриева, С.В. Гершун // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2008. – № 8. – С. 295-303.

13. Дмитриева, В.В. Моделирование пуско-тормозных режимов ленточного конвейера / В.В. Дмитриева // Горные науки и технологии. – М.: НИТУ «МИСиС», 2014. – № 3. – С. 50-56.

14. Никитин, С.В. Динамическая модель ленточного конвейера / С.В. Никитин // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2014. – № 4. – С. 722-731.

15. Лагереv, А.В. Моделирование режимов движения ведущих роликов приводных

подвесок в математической модели конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом [Электронный ресурс] / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 1. – С. 55-65. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N1/2016-01-06.pdf>.

16. Лагереv, А.В. Анализ влияния конструктивных параметров подвесок на технические характеристики конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 3. – С. 50-59. – Режим доступа: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-04.pdf>.

17. Лагереv, А.В. Рациональные параметры подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / А.В. Лагереv, Е.Н. Толкачев // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 1-2. – С. 17-20.

18. Толкачев, Е.Н. Определение условий работоспособности дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / Е.Н. Толкачев // Научные исследования и разработки молодых ученых: сб. материалов XII Междунар. мол. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2016. – С. 81-89.

#### Сведения об авторе

Толкачев Евгений Николаевич – специалист отдела инновационного развития ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», [tolkachev\\_en@mail.ru](mailto:tolkachev_en@mail.ru).

## MATHEMATICAL MODEL OF FAILURE THE DRIVES SUSPENSIONS OF THE CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE AT BREAK IN THE ELECTRIC CHAIN

Tolkachev E.N.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, Bryansk, Russian Federation

The article is devoted to the topical issue, which is related to simulation of the failures of drives suspensions of the conveyor with suspended belt and distributed drive. A mathematical model of the failure of individual drives of suspensions due to the breakage of the electric circuit has been developed. Dynamic characteristics of the basic version of a conveyor with suspended belt were simulated.

**Key words:** conveyor belt, distributed drive, numerical analysis, rational parameters, suspended belt, suspension.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2017-03-02-178-189

### References

1. Perten Yu.A. The conveyor transport of the XXI century. *Transport Rossiyskiy Federatsii*, 2005, No. 1, pp. 42–43. (In Russian)
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. (In Russian)
3. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Boslovyak P.V. *Proektirovanie i issledovaniya konveyerov s podvesnoy gruzonesushchey lentoy* [Design and research of the hanging ribbon]. Bryansk: RIO BGU, 2016. 303 p. (In Russian)
4. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Modeling of a Vertical Loop Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *International Review on Modelling and Simulations*, 2016, Vol. 9, No. 4, pp. 271-279.
5. Patent RU 153945. *Driving suspension of conveyor with suspended belt*. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A., Kuleshov D.Y. Declared. 26.01.2015. Published. 10.08.2015. Bulletin No. 22. (In Russian)
6. Patent RU 164247. *Driving suspension of conveyor with suspended belt*. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Declared. 09.03.2016. Published. 20.08.2016. Bulletin No. 23. (In Russian)
7. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Determination of rational number suspensions of conveyor with suspended belt and distributed drive. *Vestnik SibADI*, 2016, No. 5. pp. 25-34. (In Russian)
8. Spivakovskiy A.O., Dyachkov V.K. *Transportiruyushchie mashiny* [Transporting Machines]. Moscow: Mashinostroenie, 1983. 487 p. (In Russian)
9. Nuttall A. Design Aspects of Multiple Driven Belt Conveyors: Doctoral dissertation. Delft: Delft University of Technology, 2007. 158 p.
10. Goncharov K.A., Tolkachev E.N. Comparative analysis of the efficiency of using a special conveyor with suspended belt and distributed drive // *Dostizheniya molodykh uchenykh v razvitiy innovatsionnykh protsessov v ekonomike, nauke, obrazovanii: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Bryansk, BGTU, 2013. pp. 11-13. (In Russian)
11. Moskovsky B. G. Modern power supply systems of machines and mechanisms. The procedure for the selection of busbars for bridge cranes. *Podyemno-transportnoe delo*, 2016, No. 4-5 (86), pp. 20-23. (In Russian)
12. Dmitrieva V.V., Gershun S.V. Development of a mathematical model of a belt conveyor with a two-motor drive. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2008, No. 8, pp. 295-303. (In Russian)
13. Dmitrieva V.V. Modeling of starting-brake modes of the belt conveyor. *Gornye nauki i tekhnologi*, 2014, No. 3, pp. 50-56. (In Russian)
14. Nikitin S.V. Dynamic model of belt conveyor. *Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie*, 2014, No. 4, pp.722-731. (In Russian)
15. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Simulation Modes of Movement the Drive Rollers of Suspension of Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No. 1, pp. 55-65. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N1/2016-01-06.pdf>. (In Russian)
16. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Influence analysis of design parameters of suspensions on the technical specifications of conveyor with suspended belt and distributed drive. *Nauchno-*

*tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.3, pp. 50-59. URL: [www.ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-03.pdf](http://www.ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2016-N3/2016-03-03.pdf). (In Russian)

17. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Rational conveyor suspension parameters with suspended belt and distributed drive. *Podyemno-transportnoe delo*, 2016, No.1-2, pp. 17-20. (In Russian)

18. Tolkachev E.N. Definition of conditions working ability discrete section of the conveyor

with suspended belt and distributed drive. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodyh uchenykh: sb. materialov XII Mezhdunar. mol. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of the XII Int. Youth Scientific and Practical Conf.]. Novosibirsk, CRNS, 2016. pp. 81-89. (In Russian)

#### **Author' information**

Evgeniy N. Tolkachev - specialist at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, [tolkachev\\_en@mail.ru](mailto:tolkachev_en@mail.ru).

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.06.2017

