

УДК 621.867

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ВЕДУЩИХ РОЛИКОВ ПРИВОДНЫХ ПОДВЕСОК КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ

А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского»,

Разработана математическая модель конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, реализующая движение ведущих роликов приводных подвесок в различных режимах. Приведены результаты моделирования.
Ключевые слова: математическая модель, ленточный конвейер, подвесная лента, распределенный привод, подвеска, режимы движения.

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

Конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом – наиболее перспективная разработка в направлении совершенствования и модернизации традиционных ленточных конвейеров, являвшихся на протяжении десятилетий неотъемлемой составляющей производственного процесса. Разработанный конвейер лишен большинства главных проблем, возникающих при эксплуатации ленточных конвейеров в результате взаимодействия грузонесущей ленты со стационарными роlikоопорами [1], хотя и представляет определенные трудности при организации его промежуточной разгрузки [2]. Причина этому – принципиально отличающийся подход в способе удержания ленты. В новой конструкции борта ленты прикреплены к размещенным вдоль трассы конвейера подвескам, которые перемещаются по направляющим качения и поддерживают ленту в подвешенном положении (рис. 1). К тому же главной отличительной особенностью представленной конструкции по сравнению с существующими аналогами является оснащение части подвесок индивидуальным приводом [3, 4], служащим для приведения системы в движение (рис. 2). Такое техническое решение позволяет не только увеличить ресурс самого дорогого элемента конвейера – грузонесущей ленты, но и повысить надежность работы системы за счет резервирования ее элементов.

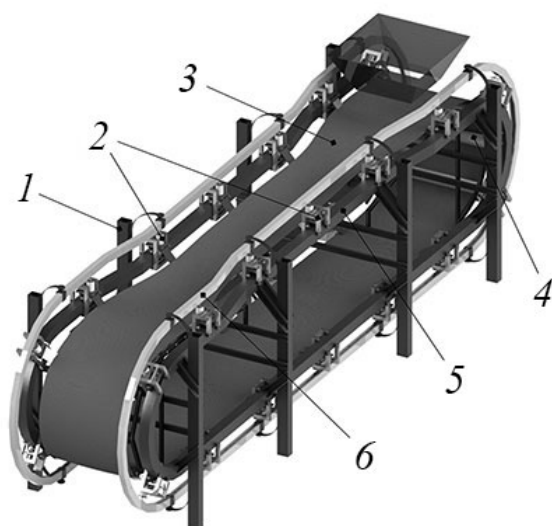


Рис. 1. Общий вид конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом: 1 – став; 2 – подвески; 3 – лента; 4 – стационарные роlikовые опоры; 5 – направляющие качения; 6 – токоведущие троллеи.

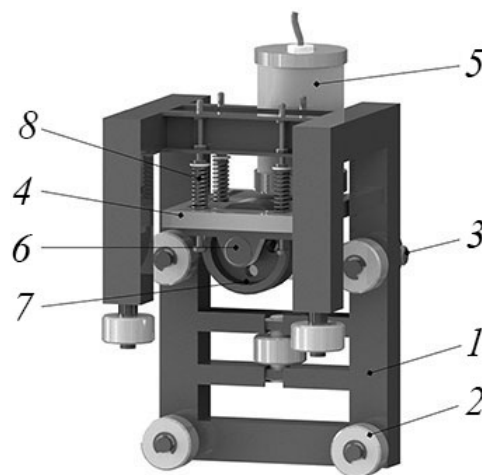


Рис. 2. Общий вид приводной подвески: 1 – металлоконструкция несущей секции; 2 – роlikи; 3 – ось для крепления к ленте; 4 – металлоконструкция прижимной секции; 5 – мотор-редуктор; 6 – подшипниковая опора; 7 – приводной ролик; 8 – прижимное устройство.

Анализ и оценку динамических процессов, возникающих при работе конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, с целью выбора рациональных параметров основных элементов и узлов еще на этапе проектирования целесообразно выполнять на основе математического моделирования. Ранее авторами разработаны модели движения дискретного участка (группы подвесок, состоящих из одной приводной и нескольких неприводных подвесок) и всего конвейера [5-9]. Однако учитывая используемый достаточно ненадежный фрикционный способ передачи тягового усилия ведущими роликами приводных подвесок важно реализовать в математической модели возможные режимы качения приводных роликов в процессе работы конвейера. Так как характер движения приводных роликов определяет эффективность работы конвейерной установки.

Расчетная схема конвейера (рис. 3) строится с учетом следующих допущений:

- 1) конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом моделируется системой соединенных друг с другом упруго-вязкими связями дискретных масс;
- 2) каждая дискретная масса характеризует подвеску с сопряженным с ней участком ленты и грузом и представлена роликом с приведенными к его центру силами и массами;
- 3) пренебрегается продольным провисанием ленты под действием груза и ее поперечными колебаниями, приводящим к возникновению дополнительных сопротивлений;
- 4) ролики подвесок являются абсолютно жесткими, недеформируемыми элементами;
- 5) насыпной груз равномерно распределен между подвесками;
- 6) подвески на разноименных направляющих расположены абсолютно симметрично и имеют равные перемещения, скорости и ускорения.

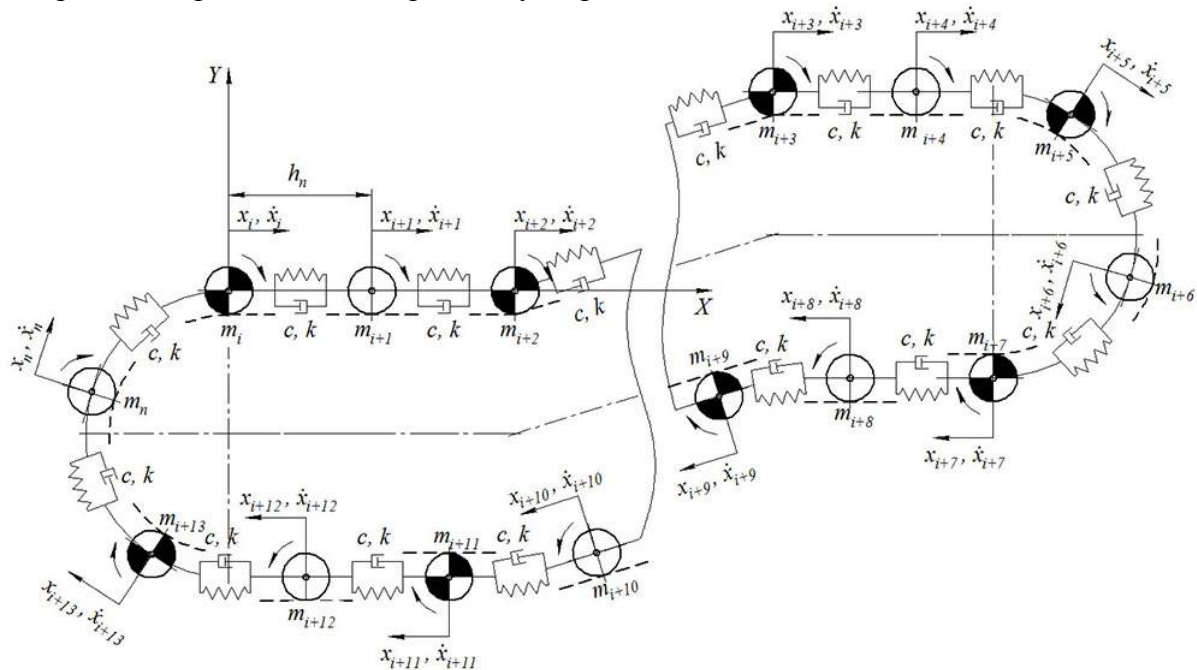


Рис. 3. Расчетная схема конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом

Динамика конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом описывается соотношениями, полученными на основании принципа Даламбера. Связи заменены их реакциями и приложены вместе с силами инерции и инерционными моментами к каждому элементу системы (рис. 4).

Уравнения динамики ведущего ролика (рис. 4, а) приводной подвески в рассматриваемой математической модели принимают вид

$$\begin{cases} m_{ni} \ddot{x}_{ni} = F_{cu_i} + (G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i (\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1}) + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}); \\ m_{ni} \ddot{y}_{ni} = N_{np_i} - G''_n \cos \alpha_i - F_{np}; \\ J_{oni} \ddot{\varphi}_{ni} = M_{kp_i} - F_{cu_i} r_{np} - N_{np_i} f_{np} - M_{\Sigma_i}^{np}, \end{cases}$$

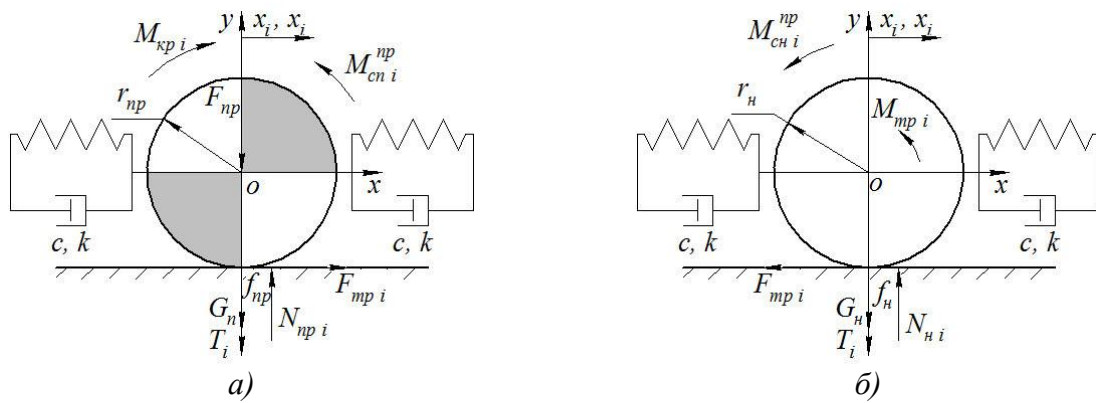


Рис. 4. Расчетные схемы роликов: а – приводного; б – холостого

где \ddot{x}_n, \ddot{y}_n – линейные ускорения ведущего ролика в направлении соответствующих осей; $\ddot{\phi}_n$ – угловое ускорение ведущего ролика относительно оси вращения; \dot{x}, x – скорости и перемещения роликов подвесок; m_n, J_{on} – приведенные масса и момент инерции приводной подвески; G_n, G''_n – силы тяжести приводной подвески и прижимной секции приводной подвески; T – усилие от тяжести груза и ленты, действующее со стороны крепления подвески с лентой; F_{np} – сила, действующая на ведущий ролик со стороны прижимного устройства; N_{np} – сила нормальной реакции опорной поверхности; F_{cy} – сила сцепления ведущего ролика с опорной поверхностью; M_{kp} – крутящий момент мотор-редуктора приводной подвески; M_{Σ}^{np} – приведенный момент сопротивления движению приводной подвески; f_{np} – коэффициент трения качения ведущего ролика с опорной поверхностью; c – приведенная жесткость упругого элемента (ленты); k – коэффициент сопротивления демпфирующего элемента; r_{np} – наружный радиус ведущего ролика; α – угол наклона подвески в вертикальной плоскости; β – угол наклона бортов ленты к горизонту; i – порядковый номер подвески;

Движение ведомого ролика неприводной подвески (рис. 4, б) описывается следующими дифференциальными отношениями:

$$\begin{cases} m_{ni} \ddot{x}_{ni} = -F_{cyi} + (G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i (\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1}) + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}); \\ m_{ni} \ddot{y}_{ni} = N_{ni} - (G_n + T_i \sin \beta_i) \cos \alpha_i; \\ J_{oni} \ddot{\phi}_{ni} = F_{cyi} r_n - N_{ni} (f_n + \mu_{no} r_o) - M_{\Sigma i}^{np}, \end{cases}$$

где \ddot{x}_n, \ddot{y}_n – линейные ускорения ведомого ролика в направлении соответствующих осей; $\ddot{\phi}_n$ – угловое ускорение ведомого ролика относительно оси вращения; m_n, J_{on} – приведенные масса и момент инерции неприводной подвески; G_n – сила тяжести неприводной подвески; N_n – сила нормальной реакции опорной поверхности; F_{cy} – сила сцепления ведомого ролика с опорной поверхностью; M_{Σ}^{np} – приведенный момент сопротивления движению неприводной подвески; f_n – коэффициент трения качения ведомого ролика с опорной поверхностью; μ_{no} – коэффициент трения скольжения в оси ролика; r_n – наружный радиус ведомого ролика; r_o – внутренний радиус ведомого ролика.

В процессе перемещения ролики не отрываются от опорной поверхности, следовательно,

$$y_{ni} = r_{np} = const \text{ и } y_{ni} = r_n = const,$$

а, значит, и

$$\dot{y}_{ni} = \dot{y}_{ni} = 0.$$

Считая, что ведомые ролики подвесок вращаются без проскальзывания, справедливо уравнение кинематических связей:

$$\ddot{x}_{ni} = \ddot{\varphi}_{ni} r_n.$$

Ведущие ролики приводных подвесок имеют возможность двигаться в одном из возможных режимов качения.

В том случае, когда скорость точки соприкосновения ролика с неподвижной опорой направляющей качения больше нуля

$$\dot{\varphi}_{ni} r_{np} - \dot{x}_{ni} > 0,$$

происходит буксование приводного ролика. Сила трения определяется как

$$F'_{cu_i} = \mu_{np} N_{np_i} = \mu_{np} (G''_n \cos \alpha_i + F_{np}),$$

где μ_{np} – коэффициент трения скольжения ведущего ролика по опорной поверхности.

Если же скорость точки соприкосновения ролика с неподвижной опорой направляющей качения меньше нуля

$$\dot{\varphi}_{ni} r_{np} - \dot{x}_{ni} < 0,$$

движение подвески сопровождается скольжением (юзом) ведущего ролика. Сила трения равна:

$$F''_{cu_i} = -\mu_{np} N_{np_i} = -\mu_{np} (G''_n \cos \alpha_i + F_{np}).$$

В противном случае, когда точка соприкосновения ролика с опорной поверхностью неподвижна

$$\dot{\varphi}_{ni} r_{np} - \dot{x}_{ni} = 0,$$

и происходит чистое качение ведущего ролика без проскальзывания по опорной поверхности. Сила трения определяется, полученным на основе уравнения кинематических связей, выражением:

$$F_{cu_i} = \frac{1}{J_{oi} + m_i r_{np}^2} \left[m_i r_{np} (M_{kp_i} - M_{\Sigma}^{np} - (G''_n \cos \alpha_i + F_{np}) f_{np}) - J_{oi} ((G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i (\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1})) + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}) \right]$$

Преобразовав системы уравнений движения подвесок с учетом возможности проскальзывания только приводных роликов модели, получим:

– ускорение центра масс неприводного ролика ведомой подвески

$$\ddot{x}_{ni} = \frac{r_n}{J_{oni} + m_{ni} r_n^2} \left[-M_{\Sigma i}^{np} + r_n ((G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i (\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1})) + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}) - (f_n + \mu_{no} r_n) (G_n + T_i \sin \beta_i) \cos \gamma_i \right]$$

– ускорение центра масс и угловое ускорение приводного ролика:

$$\begin{cases} \ddot{x}_{ni} = \frac{1}{m_{ni}} (F_{cu_i} + (G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i (\dot{x}_{i-1} - 2\dot{x}_i + \dot{x}_{i+1})) + c(x_{i-1} - 2x_i + x_{i+1}); \\ \ddot{\varphi}_{ni} = \frac{1}{J_{oni}} (M_{kp_i} - F_{cu_i} r_{np} - (G''_n \cos \alpha_i + F_{np}) f_{np} - M_{\Sigma i}^{np}) \end{cases}$$

Приведенные уравнения характеризуют динамику приводных и неприводных подвесок. Динамическое поведение конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом определяется решением системы дифференциальных уравнений первого порядка, количество которых зависит от численности и типа 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 + H_1)} \left[F_{cu}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \dot{\varphi}_1) + (G_{II} + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_1 + H_1)) \cdot \sin \alpha(x_1 + H_1) - \right. \\
 & \left. - c \cdot (2x_1 - x_2 - x_n) - (2\xi \sqrt{M_n(x_1 + H_1)}) \cdot (2\dot{x}_1 - \dot{x}_2 - \dot{x}_n) \right]; \\
 & \frac{d\varphi_1}{d\tau} = \dot{\varphi}_1; \\
 & \frac{d\dot{\varphi}_1}{d\tau} = \frac{1}{J_n(x_1 + H_1)} \left[M_{kp}(\dot{\varphi}_1) - F_{cu}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \dot{\varphi}_1) \cdot r_n - M_{ПРИБ1}(x_1 + H_1) - \right. \\
 & \left. - f_1 \cdot (G_{II} \cdot \cos \alpha(x_1 + H_1) + F_{np}) \right]; \\
 & \frac{dx_2}{d\tau} = \dot{x}_2; \\
 & \frac{d\dot{x}_2}{d\tau} = \frac{r}{J_{nn}(x_2 + H_2) + M_{nn}(x_2 + H_2) \cdot r^2} \left[-M_{ПРИБ2}(x_2 + H_2) + r \cdot [(G_H + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_2 + H_2)) \cdot \right. \\
 & \left. \cdot \sin \gamma(x_2 + H_2) - c \cdot (2x_2 - x_3 - x_1) - (2\xi \sqrt{M_n(x_2 + H_2)}) \cdot (2\dot{x}_2 - \dot{x}_3 - \dot{x}_1) - \right. \\
 & \left. - (f_2 + r_0 \cdot \mu_2) \cdot (G_H + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_2 + H_2)) \cdot \cos \gamma(x_2 + H_2) \right]; \\
 & \dots \\
 & \frac{dx_j}{d\tau} = \dot{x}_j; \\
 & \frac{d\dot{x}_j}{d\tau} = \frac{1}{M_n(x_j + H_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) + (G_{II} + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_j + H_j)) \cdot \right. \\
 & \left. \cdot \sin \alpha(x_j + H_j) - c \cdot (2x_j - x_{j+1} - x_{j-1}) - (2\xi \sqrt{M_n(x_j + H_j)}) \cdot (2\dot{x}_j - \dot{x}_{j+1} - \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 + H_j)} \left[M_{kp}(\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) \cdot r_n - \right. \\
 & \left. - M_{ПРИБ1}(x_j + H_j) - f_1 \cdot (G_{II} \cdot \cos \alpha(x_j + H_j) + F_{np}) \right]; \\
 & \dots \\
 & \frac{dx_n}{d\tau} = \dot{x}_n; \\
 & \frac{d\dot{x}_n}{d\tau} = \frac{r}{J_{nn}(x_n + H_n) + M_{nn}(x_n + H_n) \cdot r^2} \left[-M_{ПРИБ2}(x_n + H_n) + r \cdot [(G_H + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_n + H_n)) \cdot \right. \\
 & \left. \cdot \sin \gamma(x_n + H_n) - c \cdot (2x_n - x_1 - x_{n-1}) - (2\xi \sqrt{M_n(x_n + H_n)}) \cdot (2\dot{x}_n - \dot{x}_1 - \dot{x}_{n-1}) - \right. \\
 & \left. - (f_2 + r_0 \cdot \mu_2) \cdot (G_H + Q_{II} + Q_{\Gamma}(x_n + H_n)) \cdot \cos \gamma(x_n + H_n) \right];
 \end{aligned} \right\}$$

где сила сцепления ведущего ролика приводной подвески определяется по условию вида:

$$F_{cy}(x_1, x_2, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_n, \phi_1) = \begin{cases} \mu_1 \cdot (G_{ПС} \cdot \cos \alpha(x_1 + H_1) + F_{np}) & \text{если } x_1 r_n - \dot{x}_1 > 0; \\ -\mu_1 \cdot (G_{ПС} \cdot \cos \alpha(x_1 + H_1) + F_{np}) & \text{если } x_1 r_n - \dot{x}_1 < 0; \\ \frac{1}{J_n(x_1 + H_1) + M_n(x_1 + H_1) \cdot r_n^2} \left[M_n(x_1 + H_1) \cdot r_n \cdot (M_{кр}(\phi_1) - \right. \\ \left. - M_{ПРИВ1}(x_1 + H_1) - f_1 \cdot (G_{ПС} \cdot \cos \alpha(x_1 + H_1) + F_{np})) - \right. \\ \left. - J_n(x_1 + H_1) \cdot ((G_{II} + Q_L + Q_r(x_1 + H_1)) \cdot \sin \alpha(x_1 + H_1)) - \right. \\ \left. - c \cdot (2x_1 - x_2 - x_n) - (2\xi \sqrt{M_n(x_1 + H_1)}) \cdot (2\dot{x}_1 - \dot{x}_2 - \dot{x}_n) \right] \end{cases}$$

Представленная система дифференциальных уравнений решается численным интегрированием по методу Рунге-Кутты 4 порядка.

В качестве примера выполнено моделирование работы конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, имеющим технические параметры, представленные в таблице.

Таблица

Исходные данные для расчета модельного конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом

Технический параметр	Обозначение	Величина
Суммарная длина направляющей качения, м	L_{mp}	15,14
Длина линейной секции, м	L	6
Расстояние до зоны загрузки, м	L_3	0,6
Расстояние до зоны разгрузки, м	L_p	5,4
Длина загрузочной секции, м	l_3	0,6
Радиус поворотной секции, м	R	0,5
Проекция наклонного участка, м	$l_{накл}$	4
Начало наклонного участка, м	$l_{н1}$	1
Конец наклонного участка, м	$l_{н2}$	5
Угол наклона, град	δ	5
Длина выполаживающего участка, м	l_n	0,5
Наружный радиус приводного ролика, м	r_n	0,07
Наружный радиус холостого ролика, м	r	0,025
Внутренний радиус ролика, м	r_0	0,006
Масса неприводной подвески, кг	$m_{НП}$	5,5
Масса неприводного ролика, кг	m_n	0,07
Масса металлоконструкции неприводной подвески, кг	$m_{мкнп}$	$m_{НП} - 6m_n = 5,08$
Масса приводной подвески, кг	m_{II}	15
Масса прижимной секции, кг	$m_{ПС}$	5
Масса приводного ролика, кг	m_p	2,5

Окончание таблицы

Технический параметр	Обозначение	Величина
Масса металлоконструкции приводной подвески, кг	$m_{мпн}$	$m_{мпн} = m_{П} - m_{ПС} - m_{р} - 6m_{н} = 7,08$
Крутящий момент номинальный, Н·м	$M_{крн}$	5,5
Скорость вращения номинальная (об/мин)	n_n	70
Скорость вращения без нагрузки (об/мин)	n_x	80
Скорость движения ленты, м/с	$v_{зр}$	$2\pi n_n r_n = 0,513$
Коэффициент трения качения (резина-сталь), м	f_1	0,0077
Коэффициент трения скольжения (резина-сталь)	μ_1	0,5
Коэффициент трения качения (сталь-сталь), м	f_2	0,001
Коэффициент трения скольжения в осях	μ_2	0,02
Сила прижатия прижимного устройства, Н	$F_{пр}$	195
Расчетная производительность, т/ч	Q_p	100
Плотность груза, т/м ³	ρ	1,4
Угол естественного откоса груза, град	φ	45
Плотность ленты, кг/м ³	$\rho_{л}$	1,1
Число прокладок ленты	$n_{сл}$	2
Толщина прокладки/верхней обкладки/нижней обкладки, мм	n_e / n_n	3/1
Число подвесок общее, шт	n	12
Число приводных подвесок, шт	n_n	4
Количество холостых роликов в приводной подвеске, шт	$k_{рп}$	6
Количество холостых роликов в неприводной подвеске, шт	$k_{рн}$	6

По коэффициенту буксования (рис. 5) можно оценить характер движения ведущего ролика одной из четырех приводных подвесок. В момент пуска конвейера движение приводной подвески сопровождается буксованием ведущего ролика. Далее при движении по грузонесущей ветви, момент времени от 1,3 до 14,6 секунды, приводной ролик движется с небольшими потерями сцепления (величина коэффициента буксования до 1,9 %). При перемещении по концевому поворотному участку и холостой ветви конвейера, момент времени от 14,6 до 29,3 секунды, буксование значительно увеличивается (до 14 %). А величина скольжения ролика по направляющей качения не превышает 0,6 % на всем протяжении трассы.

На рис. 6 – 11 представлены динамические характеристики приводной подвески конвейера, полученные без учета режимов движения колеса (скольжение, буксование) и при моделировании по предлагаемой математической модели, позволяющей реализовать такие режимы.

Разработанная математическая модель позволяет проводить анализ динамических характеристик конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом с учетом возможных режимов движения ведущих роликов приводных подвесок. На основе комплексного анализа полученных результатов возможно производить выбор рациональных параметров основных элементов конвейера.

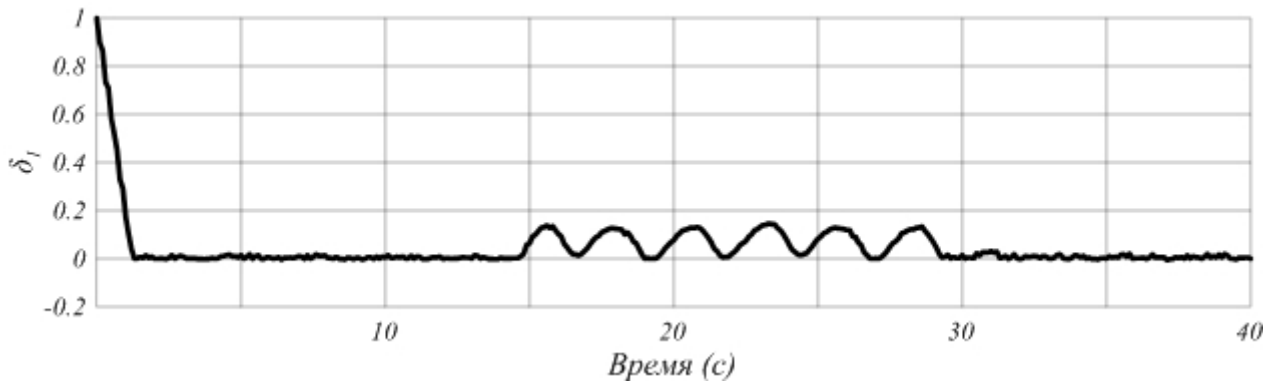


Рис. 5. Зависимость коэффициента буксования от времени

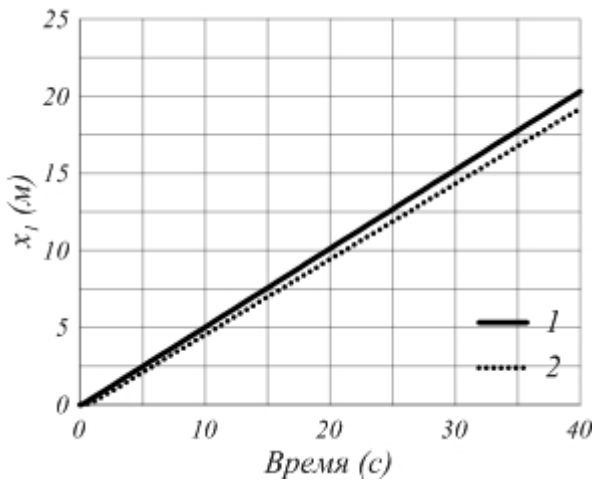


Рис. 6. Зависимость линейного перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

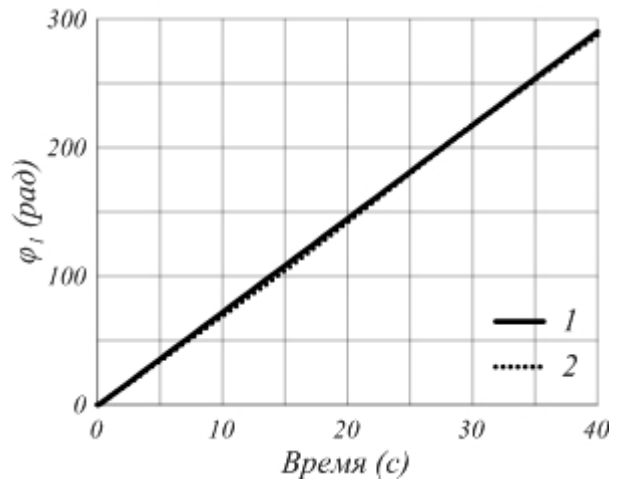


Рис. 7. Зависимость углового перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

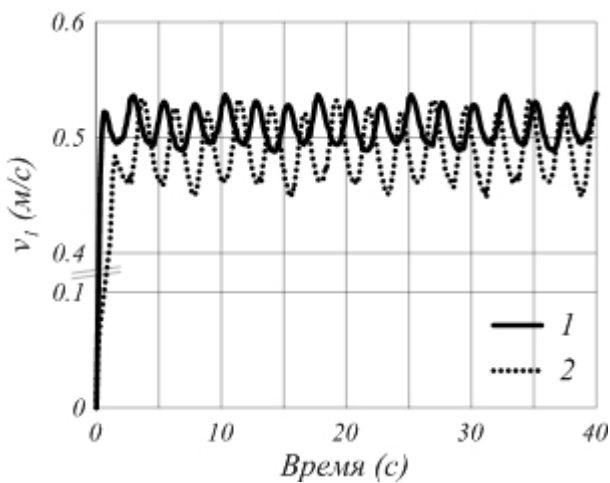


Рис. 8. Зависимость линейной скорости ведущего ролика приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

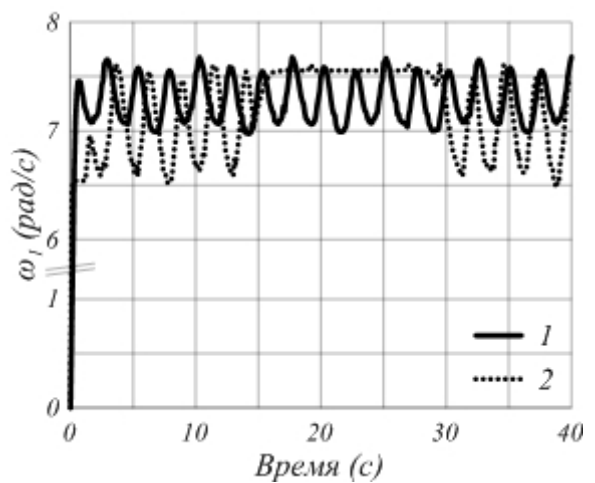


Рис. 9. Зависимость угловой скорости ведущего ролика приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

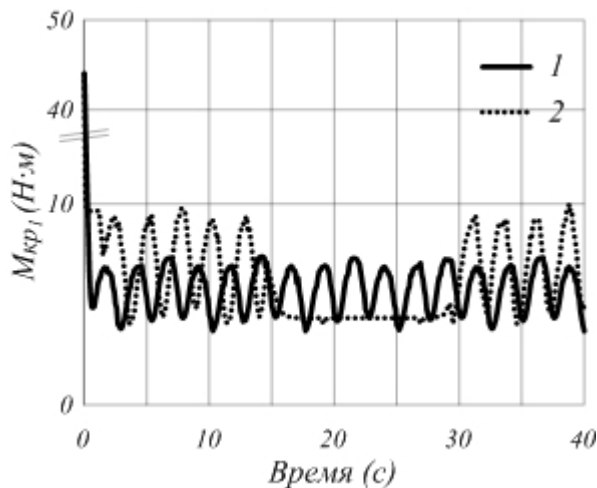


Рис. 10. Зависимость крутящего момента на ведущем ролике приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

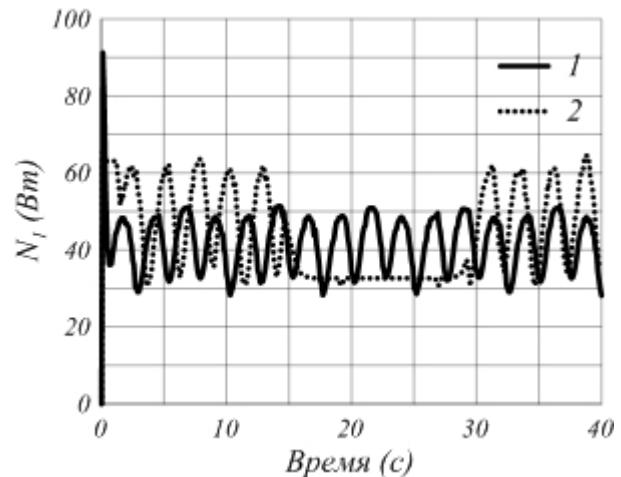


Рис. 11. Зависимость мощности ведущего ролика приводной подвески от времени: 1 – чистое качение; 2 – качение с проскальзыванием

Список литературы

1. 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.
2. Лагерев, А.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния ленты конвейера с подвесной лентой в зоне промежуточной разгрузки / А.В. Лагерев, Е.М. Селянин // Вестник Брянского государственного университета. – 2015. – №1. – С. 359– 65.
3. Патент 153945 Российская Федерация В66С 23/44. Приводная подвеска ленточного конвейера с подвесной лентой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, К.А. Гончаров, Д.Ю. Кулешов. – Заявл. 26.01.15, № 2015102372. Опубл. 10.08.15. – Бюл. № 22.
4. 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/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-13.pdf>.
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. 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.
7. 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.
8. Толкачев, Е.Н. Анализ динамики подвесок дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 1. – С. 55-64. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-10.pdf>.
9. Толкачев, Е.Н. Особенности определения усилий, приложенных к подвескам конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, в зависимости от их пространственной конфигурации на трассе / Е.Н. Толкачев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 2. – С. 44-51. URL: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-08.pdf>.

Об авторах

Лагерев Александр Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *bsu-avl@yandex.ru*.

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

SIMULATION MODES OF MOVEMENT THE DRIVE ROLLERS OF SUSPENSION OF CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE

A.V. Lagerev, E.N. Tolkachev

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

Mathematical model of conveyor with suspended belt and distributed drive which allows to simulate the dynamics of suspension at various modes of movement of the drive roller is developed. The modeling results are presented in the article.

Key words: *mathematical model, conveyor belt, suspended belt, distributed drive, suspension, modes of motion.*

The study was performed under financial support of RFBR grant for research projects performed by young scientists (My first grant) No. 16-38-00058.

References

1. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport machines, *Inzhenernyi zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp.9-14.
2. Lagerev A.V., Selyanin E.M. Modeling of stress-strain state of a conveyor belt with hanging ribbon in the zone of intermediate unloadings, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 359 – 365.
3. 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.
4. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A., Kuleshov D.Yu. Patent RU № 153945. Suspension drive belt conveyor with hanging ribbon, *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 77-78.
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. 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.
7. 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.
8. Tolkachev E.N. Analysis of the dynamics of suspensions of discrete section of the conveyor with suspended belt and distributed drive, *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.1, pp. 55-64. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N1/2015-01-10.pdf>.

9. Tolkachev E.N. 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, *Nauchno-tekhicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 44-51. Available at: <http://ntv-brgu.ru/wp-content/arhiv/2015-N2/2015-02-08.pdf>.

Authors' information

Alexander V. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice director of Research Institute of Fundamental and Applied Research at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *bsu-avl@yandex.ru*.

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