

УДК 621.867

## АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОДВЕСОК ДИСКРЕТНОГО УЧАСТКА КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРИВОДОМ

Е.Н. Толкачев

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского

Представлена математическая модель дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом, реализующая движение ведущего ролика приводной подвески в различных режимах. Проведен анализ динамики подвесок дискретного участка и всего конвейера. Представлены результаты моделирования.

**Ключевые слова:** математическая модель, ленточный конвейер, подвесная лента, распределенный привод, дискретный участок, подвеска, режимы движения.

Ленточные конвейеры, на протяжении многих лет находили широкое применение в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, пищевых производствах и других отраслях промышленности. Однако конструкция таких конвейеров содержит ряд трудноустраняемых недостатков описанных в работах [1-3]. Являющиеся по большей части результатом взаимодействия грузонесущей ленты со стационарно установленными роликовыми опорами приведенные недостатки негативно сказывающихся при эксплуатации.

В рамках усовершенствования и модернизации ленточных конвейеров традиционной конструкции в настоящее время ведется разработка альтернативных машин непрерывного транспорта. Наиболее перспективной из представленных машин является конвейер с подвесной лентой [1, 4], который в последних технических решениях имеет распределенный привод [5-7]. Общий вид конструкции с обозначениями основных узлов изображен на рис. 1.

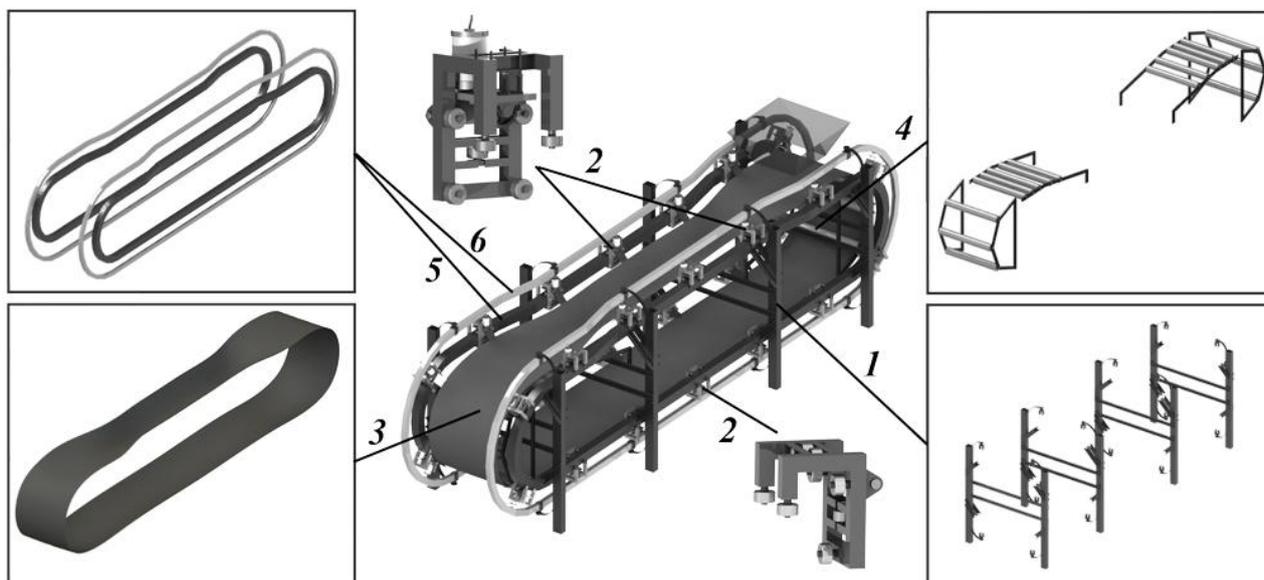


Рис. 1. Общий вид конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом:

1 – став; 2 – подвески; 3 – лента; 4 – стационарные роликовые опоры;

5 – направляющие качения; 6 – токоведущие троллеи.

Главной отличительной чертой конвейера являются подвески, которые представлены в двух исполнениях. Одни – ведомые – удерживают грузонесущее полотно в подвешенном положении и служат для его перемещения, другие – ведущие – оборудованы индивидуальным приводом и необходимы для приведения всей системы в движение. Располагаемые вдоль трассы конвейера с определенным шагом, ведущие и ведомые подвески условно объединены в группы, называемые дискретными участками.

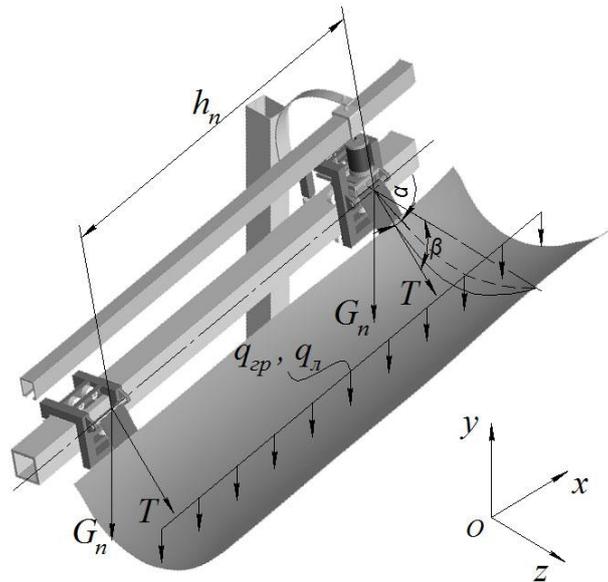


Рис. 2. Расчетная схема дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом

Существующая методика расчета конвейеров с подвесной лентой и распределенным приводом заключается в определении длины дискретных участков, обеспечиваемых необходимой тяговой силой парой симметрично расположенных приводных подвесок [5].

Целью работы является анализ тяговой способности дискретного участка конвейера на основе математического моделирования.

Расчетная схема дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом строится с учетом ряда допущений:

- 1) подвески дискретного участка представлены дискретными массами, соединенными друг с другом упруго-вязкими связями;
- 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) насыпной груз равномерно распределен между подвесками;
- 4) пренебрегается неизбежным продольным провисанием ленты под действием груза и ее поперечными колебаниями, приводящим к возникновению дополнительных сопротивлений;
- 5) ролики подвесок являются абсолютно жесткими, недеформируемыми элементами;
- 6) подвески на разноименных направляющих расположены абсолютно симметрично и имеют равные перемещения, скорости и ускорения;
- 7) расчет производится для подвесок, расположенных на одном контуре (на одной направляющей качения);
- 8) система совершает плоское движение;
- 9) холостые ролики подвесок вращаются без проскальзывания.

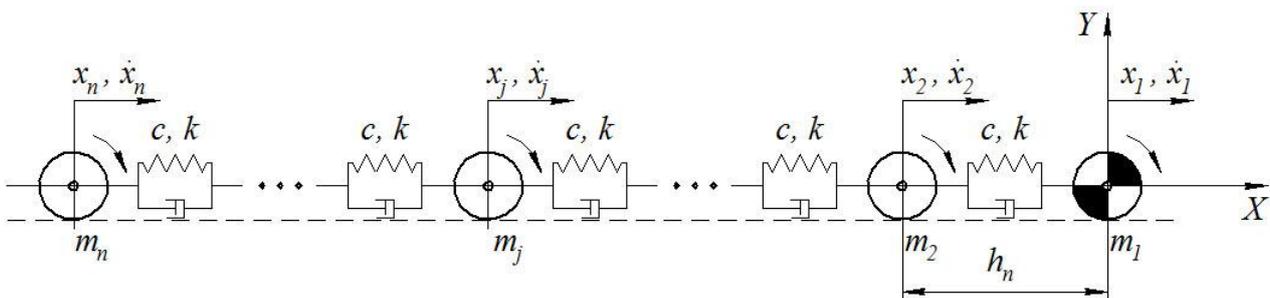


Рис. 3. Общая схема дискретного участка

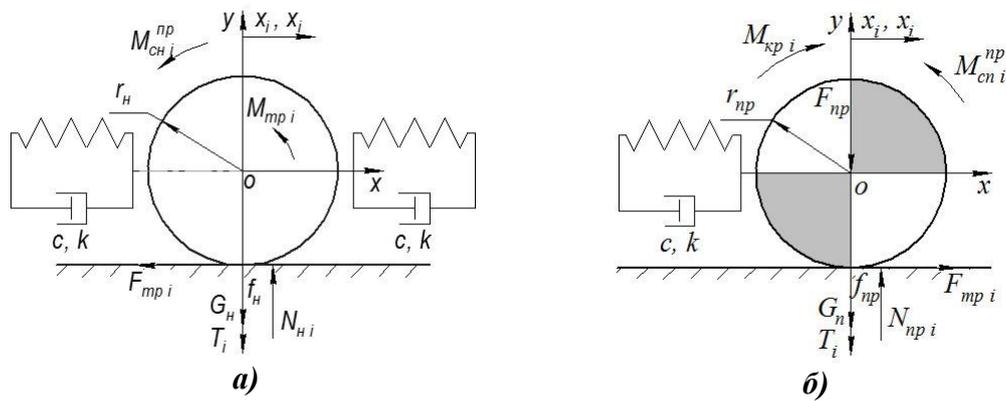


Рис. 4. Расчетные схемы роликов: а – холостого; б – приводного

Динамическое поведение дискретного участка 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).

Система уравнений для приводного ролика (рис. 4, б) ведущей подвески имеет вид

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

где  $\ddot{x}_n, \ddot{y}_n$  – линейные ускорения ведущего ролика в направлении соответствующих осей;  $\ddot{\varphi}_n$  – 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;  $F_{npi}$  – сила, действующая на ведущий ролик со стороны прижимного устройства;  $N_{npi}$  – сила нормальной реакции опорной поверхности;  $F_{cu}$  – сила сцепления ведущего ролика с опорной поверхностью;  $M_{kp}$  – крутящий момент мотор-редуктора приводной подвески;  $M_{\Sigma}^{np}$  – 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;  $\alpha$  – угол наклона подвески в вертикальной плоскости;  $\beta$  – угол наклона бортов ленты к горизонту;  $i = 1..n$  – порядковый номер подвески.

Движение ведомых роликов промежуточной (рис. 4, а) и концевой неприводных подвесок описываются следующими дифференциальными отношениями:

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

и

$$\begin{cases} m_{ni}\ddot{x}_{ni} = -F_{cui} + (G_n + T_i \sin \beta_i) \sin \alpha_i + k_i(\dot{x}_{n-1} - \dot{x}_n) + c(x_{n-1} - x_n); \\ m_{ni}\ddot{y}_{ni} = N_{ni} - (G_n + T_i \sin \beta_i) \cos \gamma_i; \\ J_{oni}\ddot{\varphi}_{ni} = F_{cui}r_n - N_{ni}(f_n + \mu_{no}r_o) - M_{\Sigma}^{np}, \end{cases}$$

где  $\ddot{x}_n, \ddot{y}_n$  – линейные ускорения ведомого ролика в направлении соответствующих осей;  $\ddot{\varphi}_n$  – 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;  $F_{cu}$  – сила сцепления ведомого ролика с опорной поверхностью;  $M_{\Sigma}^{np}$  – приведенный момент сопротивления движению неприводной подвески;  $f_n$  – коэффициент трения качения ведомого ролика с опорной поверхностью;  $\mu_{no}$  – коэффициент трения скольжения в оси ролика;  $r_n$  – наружный радиус ведомого ролика;  $r_o$  – внутренний радиус ведомого ролика.

Так как при движении подвесок ролик не отрывается от поверхности качения, то получается, что

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

а, значит, и

$$\ddot{y}_{ni} = \ddot{y}_n = 0.$$

Учитывая, что ведомые ролик подвесок вращаются без проскальзывания, справедливо уравнение кинематических связей:

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

Приводные ролик ведущих подвесок движутся в одном из возможных режимов качения.

### 1. Буксование.

Скорость точки соприкосновения ролика с опорной поверхностью больше нуля

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

и сила трения определяется по выражению

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

где  $\mu_{np}$  – коэффициент трения скольжения ведущего ролика по опорной поверхности.

### 2. Скольжение (юз).

Скорость точки соприкосновения ролика с опорной поверхностью меньше нуля

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

Сила трения равна:

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

### 3. Чистое качение.

Скорость точки соприкосновения ролика с опорной поверхностью равна нулю

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

Сила трения определяется, полученным на основе уравнения кинематических связей, выражением:

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

После преобразований систем уравнений движения подвесок с учетом характера движения роликов, получим:

– ускорение центра масс неприводного ролика ведомой промежуточной подвески:

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

– ускорение центра масс неприводного ролика ведомой концевой подвески:

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

– ускорение центра масс и угловое ускорение приводного ролика ведущей подвески:

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

Динамическое поведение дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом определяется решением системы дифференциальных уравнений первого порядка, количество которых определяется числом приводных и неприводных подвесок в составе участка.

Для анализа тяговой способности выполним моделирование динамики дискретного участка конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом (рис. 5) при двух различных сочетаниях технических параметров ведущей подвески (табл.).

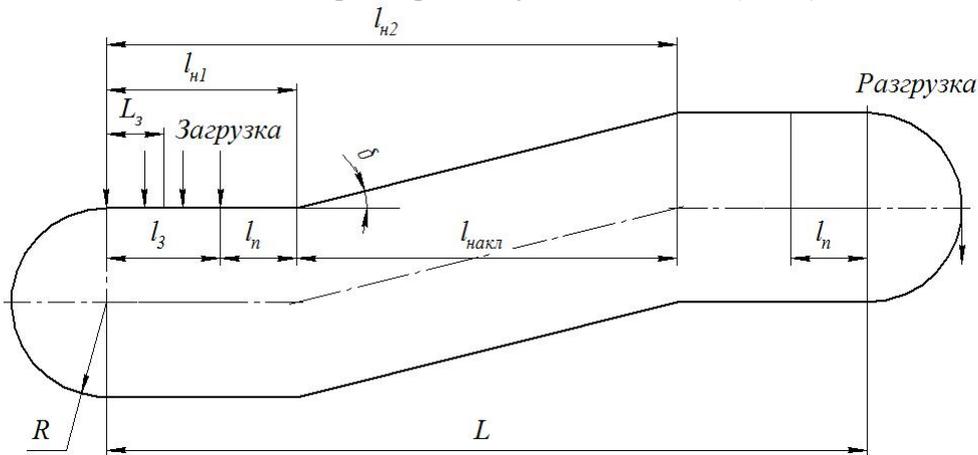


Рис. 5. Конфигурация трассы конвейера

Таблица

Технические параметры ведущей подвески

Вариант расчета	Номинальный крутящий момент привода подвески ( $M_{крn}$ ), Н·м	Сила прижатия прижимного устройства подвески ( $F_{np}$ ), Н
1	20	280
2	6,5	230

Моделируемый конвейер содержит на одном контуре 12 подвесок, 4 из которых приводные. Дискретный участок в таком случае включает 1 ведущую и 2 ведомые подвески. Технические характеристики конвейера:  $Q_p = 100$  т/ч,  $\rho = 1,4$  т/м<sup>3</sup>,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $L_{mp} = 15,14$  м,  $L = 6$  м,  $L_3 = 0,6$  м,  $l_3 = 0,6$  м,  $R = 0,5$  м,  $l_{накл} = 4$  м,  $l_{n1} = 1$  м,  $l_{n2} = 5$  м,  $\delta = 5^\circ$ ,  $l_n = 0,5$  м,

$r_n = 0,07$  м,  $r = 0,025$  м,  $r_0 = 0,006$  м,  $m_{\text{ПП}} = 5,5$  кг,  $m_{\text{П}} = 15$  кг,  $m_{\text{ПС}} = 5$  кг,  
 $\rho_{\text{л}} = 1,1$  кг/м<sup>3</sup>,  $f_1 = 0,0077$ ,  $\mu_1 = 0,5$ ,  $f_2 = 0,001$ ,  $\mu_2 = 0,02$ .

Система дифференциальных уравнений динамики дискретного участка имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{d\tau} = \dot{x}_1; \\ \frac{d\dot{x}_1}{d\tau} = \frac{1}{M_n(x_1 - H_1)} \left[ F_{cu}(x_1, x_2, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{\varphi}_1) + (G_{\text{П}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_1 - H_1)) \cdot \sin \alpha(x_1 - H_1) - \right. \\ \left. + c \cdot (x_2 - x_1) + (2\xi \sqrt{M_n(x_1 - H_1)}) \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \right]; \\ \frac{d\varphi_1}{d\tau} = \dot{\varphi}_1; \\ \frac{d\dot{\varphi}_1}{d\tau} = \frac{1}{J_n(x_1 - H_1)} \left[ M_{\text{кр}}(\dot{\varphi}_1) - F_{cu}(x_1, x_2, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{\varphi}_1) \cdot r_n - M_{\text{ПРИВ}}(x_1 - H_1) - \right. \\ \left. - f_1 \cdot (G_{\text{ПС}} \cdot \cos \alpha(x_1 - H_1) + F_{\text{нп}}) \right]; \\ \frac{dx_2}{d\tau} = \dot{x}_2; \\ \frac{d\dot{x}_2}{d\tau} = \frac{r}{J_{\text{нн}}(x_2 - H_2) + M_{\text{нн}}(x_2 - H_2) \cdot r^2} \left[ -M_{\text{ПРИВ2}}(x_2 - H_2) + r \cdot [(G_{\text{H}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_2 - H_2)) \cdot \right. \\ \left. \cdot \sin \gamma(x_2 - H_2) + c \cdot (x_1 - 2x_2 + x_3) + (2\xi \sqrt{M_n(x_2 - H_2)}) \cdot (\dot{x}_1 - 2\dot{x}_2 + \dot{x}_3)] - \right. \\ \left. - (f_2 + r_0 \cdot \mu_2) \cdot (G_{\text{H}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_2 - H_2)) \cdot \cos \gamma(x_2 - H_2) \right]; \\ \frac{dx_3}{d\tau} = \dot{x}_3; \\ \frac{d\dot{x}_3}{d\tau} = \frac{r}{J_{\text{нн}}(x_3 - H_3) + M_{\text{нн}}(x_3 - H_3) \cdot r^2} \left[ -M_{\text{ПРИВ2}}(x_3 - H_3) + r \cdot [(G_{\text{H}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_3 - H_3)) \cdot \right. \\ \left. \cdot \sin \gamma(x_3 - H_3) + c \cdot (x_2 - x_3) + (2\xi \sqrt{M_n(x_3 - H_3)}) \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_3)] - \right. \\ \left. - (f_2 + r_0 \cdot \mu_2) \cdot (G_{\text{H}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_3 - H_3)) \cdot \cos \gamma(x_3 - H_3) \right]; \end{array} \right.$$

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

$$F_{cu}(x_1, x_2, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{\varphi}_1) = \begin{cases} \mu_1 \cdot (G_{\text{ПС}} \cdot \cos \alpha(x_1 - H_1) + F_{\text{нп}}) & \text{если } x_1 r_n - \dot{x}_1 > 0; \\ -\mu_1 \cdot (G_{\text{ПС}} \cdot \cos \alpha(x_1 - H_1) + F_{\text{нп}}) & \text{если } x_1 r_n - \dot{x}_1 < 0; \\ \frac{1}{J_n(x_1 - H_1) + M_n(x_1 - H_1) \cdot r_n^2} \left[ M_n(x_1 - H_1) \cdot r_n \cdot (M_{\text{кр}}(\dot{\varphi}_1) - \right. \\ \left. - M_{\text{ПРИВ}}(x_1 - H_1) - f_1 \cdot (G_{\text{ПС}} \cdot \cos \alpha(x_1 - H_1) + F_{\text{нп}})) - \right. \\ \left. - J_n(x_1 - H_1) \cdot ((G_{\text{П}} + Q_{\text{Л}} + Q_{\text{Г}}(x_1 - H_1)) \cdot \sin \alpha(x_1 - H_1) - \right. \\ \left. + c \cdot (x_2 - x_1) + (2\xi \sqrt{M_n(x_1 - H_1)}) \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)) \right] \end{cases}$$

Представленную систему уравнений решаем численным интегрированием методом Рунге-Кутты 4 порядка.

Значения технических параметров ведущей подвески в первом случае расчета (табл.) определены на основе методики [5] из условия преодоления сопротивлений на участке подъема грузовой ветви. Полученные результаты моделирования представлены на рис. 6 – рис. 10 (кривая 1).

По характеру изменения коэффициента буксования, перемещений и скоростей при движении дискретного участка вдоль трасы видно, что качение ведущего ролика приводной подвески на наклонном участке грузовой ветви (1 – 5 м) сопровождается проскальзыванием, однако подвески его преодолевают. Тем не менее, на конечном поворотном участке с холостой на грузовую ветвь (13,57 – 15,14 м) величина коэффициента достигает максимума, что свидетельствует о неспособности подвесок преодолеть такой крутой участок подъема.

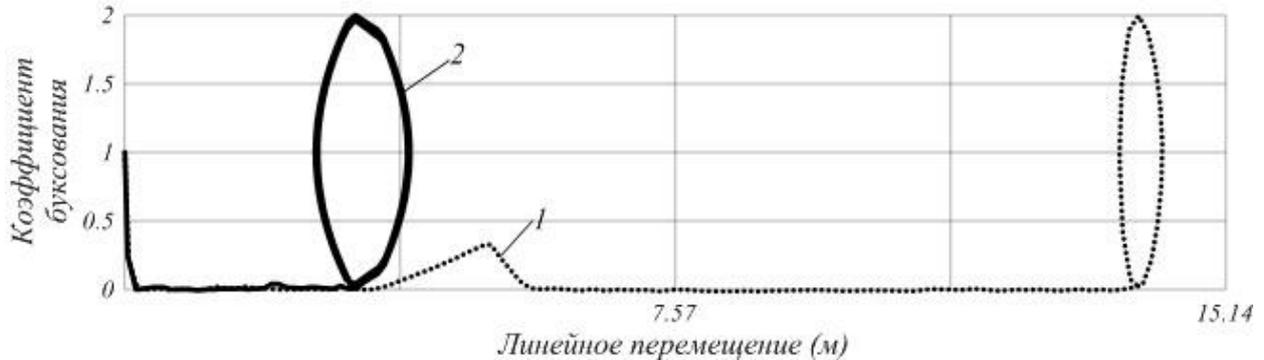


Рис. 6. Зависимость коэффициента буксования от линейного перемещения при вариантах расчета 1 и 2

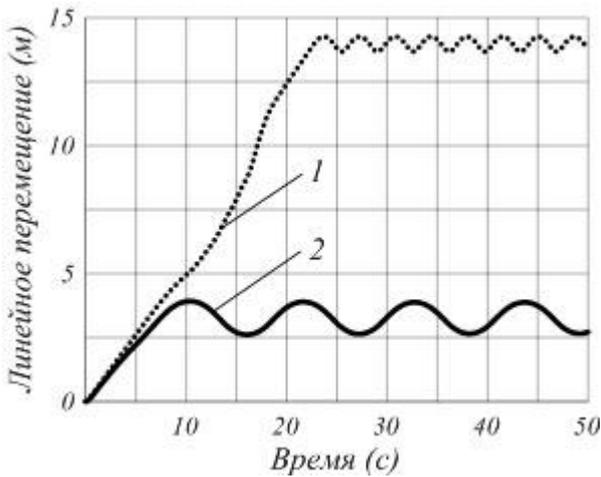


Рис. 7. Зависимость линейного перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени при вариантах расчета 1 и 2

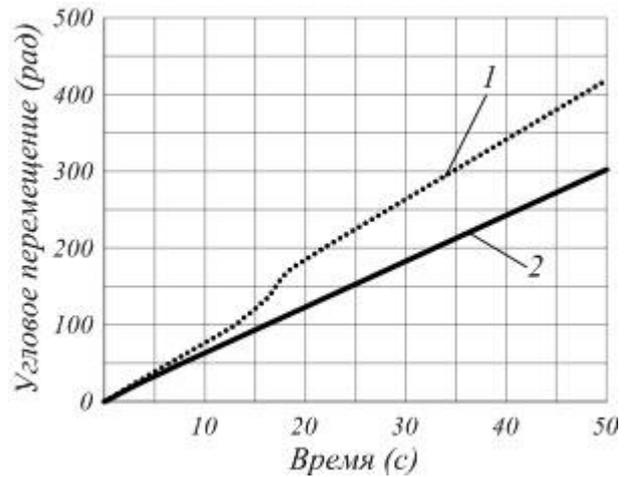


Рис. 8. Зависимость углового перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени при вариантах расчета 1 и 2

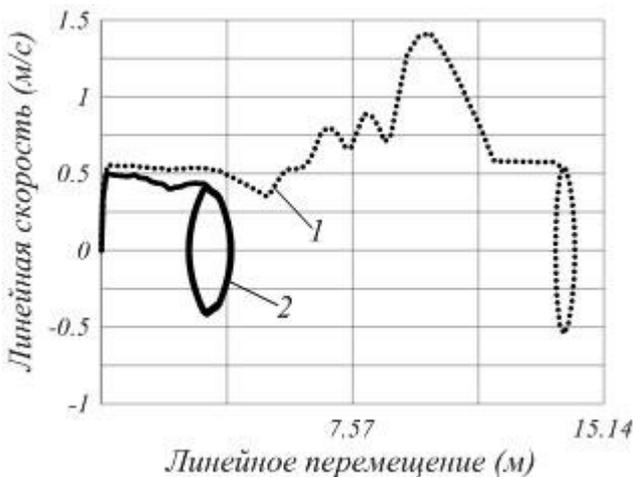


Рис. 9. Зависимость линейной скорости ведущего ролика приводной подвески от линейного перемещения при вариантах расчета 1 и 2

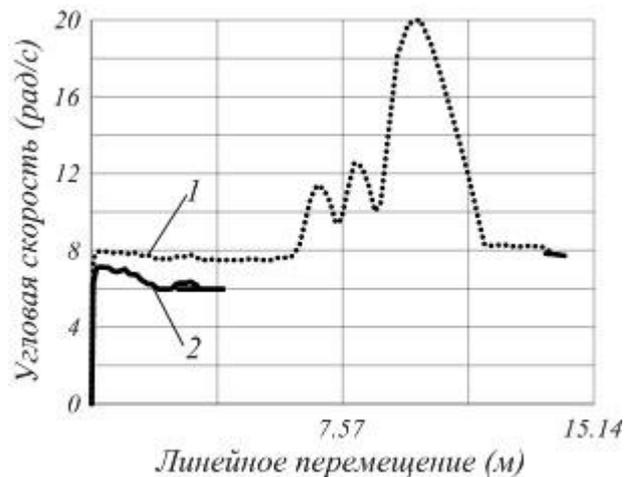


Рис. 10. Зависимость угловой скорости ведущего ролика приводной подвески от линейного перемещения при вариантах расчета 1 и 2

Из полученных результатов можно сделать вывод, что для обеспечения работоспособности дискретного участка необходимо увеличивать величину крутящего момента привода ведущей подвески, а также силу прижатия прижимного устройства подвески. Однако конвейер с подвесной лентой и распределенным приводом представляет собой замкнутую систему, в которой недостатки тяговой способности одних ведущих подвесок компенсируются ее излишками в других за счет перераспределения усилий между ними лентой.

Сформулированный вывод подтверждается результатами моделирования динамики конвейера с подвесной лентой при работе всех четырех дискретных участков (рис. 11 – 15). Основные технические параметры остались неизменными, а величина крутящего момента ведущих подвесок и сила прижатия ролика в них значительно уменьшилась (расчетный вариант 2 таблицы).

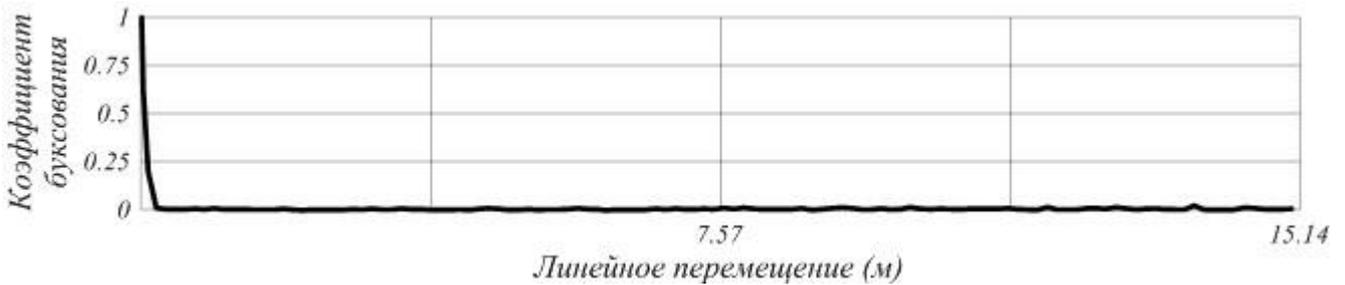


Рис. 11. Зависимость коэффициента буксования от линейного перемещения

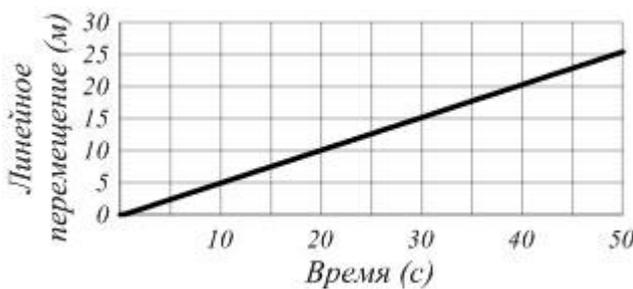


Рис. 12. Зависимость линейного перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени

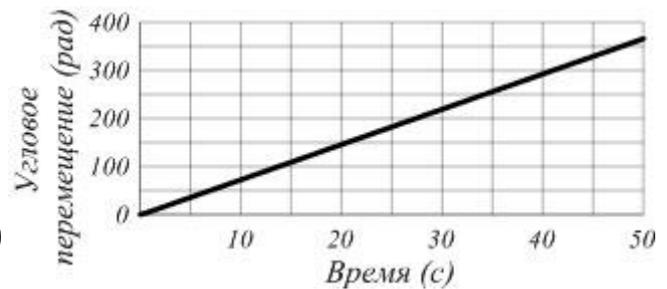


Рис. 13. Зависимость углового перемещения ведущего ролика приводной подвески от времени

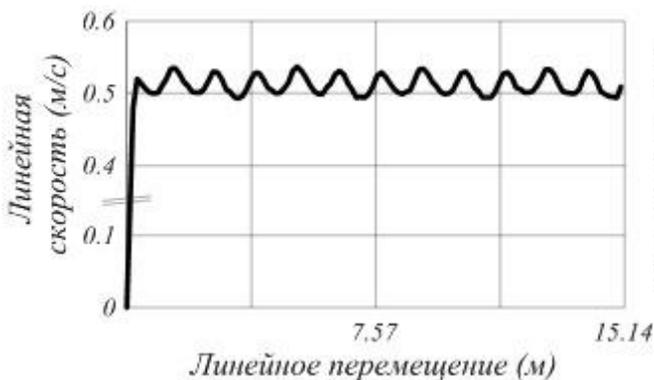


Рис. 14. Зависимость линейной скорости ведущего ролика приводной подвески от линейного перемещения

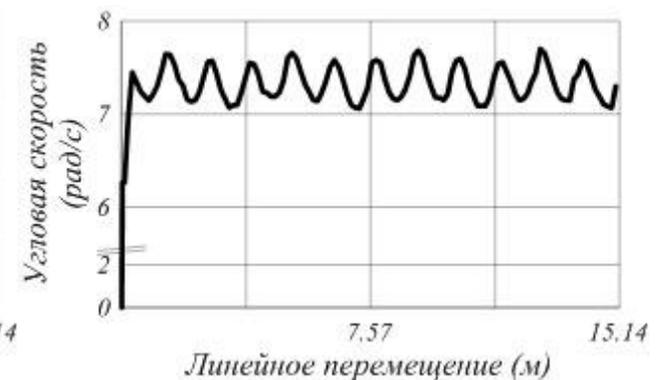


Рис. 15. Зависимость угловой скорости ведущего ролика приводной подвески от линейного перемещения

Как видно из представленных графических зависимостей движение ведущих подвесок при работе конвейера достаточно стабильно. Буксование роликов, приводящее к остановке

подвесок, отсутствует на всем протяжении трассы. Незначительное буксование возникает только лишь во время неустановившегося движения, что имеет место при такой кинематической схеме транспортирующей установки.

Таким образом, установлено, что расчет величины крутящего момента ведущих подвесок способом определения тяговой способности дискретных участков по максимально возникающим сопротивлениям приводит к образованию избыточной общей мощности. Поэтому расчет таких конвейеров целесообразно проводить на основе математического моделирования и оптимизации [8], на что направлены проводимые исследования.

### **Список литературы**

1. Аверченков, В.И. Конвейеры с подвесной лентой // В.И.Аверченков, С.В.Давыдов, В.П.Дунаев и др. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 256 с.
2. Спиваковский, А.О. Транспортирующие машины: Учеб. пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд., перераб. / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
3. Swinderman R.T. Foundations-3. The Practical Resource for Total Dust and Material Control / R.T. Swinderman, L.J. Goldbeck, A.D. Marti. – Martin Engineering Neponset, Illinois. USA, 2002. – 216 p.
4. Патент РФ № 2118285 Конвейер с подвесной лентой / Ю.А.Подопригора, Заворотнов Н.Г. и др. - Оpubл. 27.08.1998. – Бюл. № 32.
5. 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.
6. 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.
7. 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 – 365.
8. Лагерев, А.В. Оптимизация шага установки промежуточных опорных конструкций вдоль линии канатного метро / А.В. Лагерев, И.А. Лагерев // Вестник Брянского государственного университета. – 2014. – №1. – С. 22 – 30.

### **Сведения об авторе**

Толкачев Е.Н. – специалист отдела инновационного развития ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», *tolkachev\_en@mail.ru*.

## **ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF SUSPENSIONS OF DISCRETE SECTION OF THE CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT AND DISTRIBUTED DRIVE**

E.N. Tolkachev

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

Mathematical model of discrete section 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 presented. The dynamics of suspensions of discrete section and all of conveyor are analyzed. The modeling results are presented in the article.

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

### **References**

1. Averchenkov V.I., Davydov S.V., Dunaev V.P., Ivchenko V.N., Kurov S.V., Rytov M.Yu., Sakalo V.I. *Konveyery s podvesnoy lentoy* [Conveyors with hanging ribbon. Moscow, Mashinostroenie-1, 2004. 256 p.
2. Spivakovskiy A.O., D'uachkov B.K. *Transportiruyushchie mashiny* [Transporting machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1983. 487 p.
3. Swinderman R.T., Goldbeck L.J., Marti A.D. *Foundations-3. The Practical Resource for Total Dust and Material Control*. Martin Engineering Neponset, Illinois. USA, 2002. 216 p.
4. Patent RU 2118285. *Konveyer s podvesnoy lentoy* [Conveyor with suspended belt]. Podoprigora Yu.A., Zavorotnov N.G. Published 27.08.1998. Bulletin No.32.
5. Lagerev A.V., Dunaev V.P. Conveyors with suspension carrying belt – new type of continuous transport machines, *Inzhenernyy zhurnal. Spravochnik*, 2009, No.10, pp.9-14.
6. 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.
7. 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.
8. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Cable transport system “kanatnoe metro” towers distance optimisation, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, No.1, pp. 22 – 30.

### **Authors' information**

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