

УДК 621.87

**КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЗМА
ДЛЯ СЕГРЕГАЦИИ ГРУЗА**

**KINEMATICS OF THE MOVEMENT OF ELEMENTS OF THE MECHANISM
FOR THE SEGREGATION OF THE BULK CARGO**

Соколова Евгения Кузьминична¹,

канд. техн. наук, доцент, e-mail: eugenia.sokolova2013@yandex.ru

Sokolova Evgeniya K. ¹, C. Sc.in Engineering, Associate Professor

Захаров Александр Юрьевич²,

докт. техн. наук, профессор, e-mail: auzaharov@rambler.ru

Zaharov Alexander Yu. ², Dr. Sc.in Engineering, Professor

Ерофеева Наталья Валерьевна²,

канд. техн. наук, доцент, e-mail: nayka2009@rambler.ru

Erofeeva Natalya V. ², C. Sc.in Engineering, Associate Professor

¹Филиал Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева в г. Белово, 652644, Россия, Кемеровская обл., г. Белово, , пгт. Инской, ул. Ильича 32а

¹Branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in of Belovo, 32a street Ilicha, Inskoj, Belovo, 652644, Russian Federation

²Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

***Аннотация.** Добыча полезных ископаемых, как правило, связана с транспортированием крупнокусковых грузов. При использовании ленточных конвейеров лента подвергается воздействию динамических нагрузок при прохождении крупных кусков по роlikоопорам. Вследствие ударов кусков по ленте в ней формируются очаги ударно-усталостного разрушения. После многократных оборотов ленты новые очаги, взаимодействуя с появившимися ранее, со временем могут образовать потенциально опасное сечение, способное вызвать поперечный порыв ленты. Предложен механизм, создающий виброударное воздействие на транспортируемый груз, обеспечивающее сегрегацию и соответственно снижение динамических нагрузок на ленту. Получены аналитические выражения для определения кинематических параметров, позволяющие найти рациональные соотношения элементов механизма.*

***Abstract.** Mining is, as a rule, connected with transportation of lumpy bulkload. When using belt conveyors the belt is affected by dynamic loadings when passing large lump on rollers. The centers of shock fatigue failure are formed in a belt owing to blows of large lump to it. After repeated turns of a belt the new centers, interacting with appeared earlier, over time can form potentially dangerous section capable to cause a cross rush of a tape. Authors offered the mechanism creating vibroshock impact on the transported bulkload, the providing segregation and respectively decrease in dynamic loads of a belt. They received the analytical expressions for determination of kinematic parameters allowing to find rational ratios of elements of the mechanism.*

***Ключевые слова:** кинематика, конвейерная лента, сегрегация, скорость, ускорение, насыпной груз.*

***Keywords:** kinematics, conveyer belt, segregation, speed, acceleration, bulkload.*

Насыпные грузы, транспортируемые ленточными конвейерами, как правило, не сортированы. В общем потоке можно наблюдать фракции различной кусковатости: от 0-150 до 400-500 мм. Из литературных источников выявлено, что интервал прохождения кусков фракционного состава 300-500 мм составляет 1-2 м, а кусков свыше 500 мм – 50-80 м [1].

Крупнокусковый груз при прохождении через роlikоопору оказывает динамическое воздействие на ленту, которое, суммируясь по длине, способно вызвать повреждение рабочей обкладки ленты.

Одним из способов снижения величины ударных нагрузок является создание изолирующей подсыпки из мелкокускового груза под крупными кусками. Известно, что при транспортировании насыпного груза ленточными конвейерами происходит его естественная сегрегация по крупности [2]. Куски больших размеров начинают перемещаться вверх, а мелкая фракция ближе к поверхности ленты, однако процесс этот протекает весьма медленно. Поэтому в некоторых случаях, когда в транспортируемом грузе имеется куски большой массы с заостренными гранями, целесообразно

интенсифицировать процесс формирования подсыпки, например за счет установки сразу после загрузочного устройства механизма для сегрегации груза [3–5]. Один из вариантов такого устройства представляет собой диск с шарнирно установленными рычагами, на конце которых закреплены ролики [6]. При принудительном вращении диска ролики создают виброударное воздействие на нерабочую обкладку ленты, тем самым заставляя перераспределяться груз по крупности.

Кинематика движения элементов механизма для сегрегации по крупности насыпного груза на ленточном конвейере аналитически определяется следующим образом.

Положение точки по отношению к какой-либо системе координат полностью определяется координатами точки. Поэтому задание координат точки в виде известных функций времени дает возможность определить ее положение в любой момент времени [7]. Выберем прямоугольную декартовую систему координат, ось абсцисс которой идет параллельно оси конвейерной ленты и ось ординат, расположенную перпендикулярно к ней.

Схема механизма приведена на рис. 1. Ось 1 вращения ролика 2 и ось 3 крепления рычага 4 к диску 5 обозначим соответственно как точки В и А.

Тогда координаты соответствующих точек определяются как

$$\begin{cases} x_A = a \cos \omega t; \\ y_A = a \sin \omega t. \end{cases}$$

и

$$\begin{cases} x_B = a \cos \omega t + l \cos \psi; \\ y_B = a \sin \omega t + l \sin \psi. \end{cases} \quad (1)$$

где a – привязка оси крепления рычага к оси диска; l – длина рычага; ω – угловая скорость вращения диска; ψ – угол наклона рычага; t – текущее время.

Дифференцируя по времени уравнение (1), получим скорость движения оси ролика (т. В):

$$\begin{cases} \dot{x}_B = -a\omega \sin \omega t - l \sin \psi \cdot \dot{\psi}; \\ \dot{y}_B = a\omega \cos \omega t + l \cos \psi \cdot \dot{\psi}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\dot{\psi}$ – угловая скорость стержня.

Введем ограничение – лента условно не приподнимается и не деформируется под действием ударного воздействия ролика. Тогда после касания роликом ленты $\dot{y}_B = 0$, отсюда

$$\cos \psi \cdot \dot{\psi} = \frac{1}{l} (-a\omega \cos \omega t). \quad (3)$$

Из выражения (3) угловая скорость стержня при касании роликом ленты

$$\dot{\psi} = \frac{1}{l \cos \psi} (-a\omega \cos \omega t). \quad (4)$$

Угол наклона рычага к горизонту после соприкосновения с конвейерной лентой определим из условия

$$H = l \sin \psi + a \sin \phi + d_p / 2, \quad (5)$$

где H – расстояние от оси вращения диска до нерабочей обкладки ленты; d_p – диаметр ролика.

Из условия (5) выразим

$$\sin \psi = \frac{1}{l} (H - d_p / 2 - a \sin \omega t).$$

Используя тригонометрические зависимости, определим

$$\cos \psi = \sqrt{1 - \frac{(H - d_p / 2 - a \sin \omega t)^2}{l^2}}.$$

Данные выражения справедливы при касании роликом ленты, в противном случае $\sin \psi = \sin \phi$ и $\cos \psi = \cos \phi$.

Дифференцируя по времени уравнения (2) получим выражения для определения ускорения оси ролика

$$\begin{cases} \ddot{x}_B = -a\omega^2 \cos \omega t - l(\cos \psi \cdot \dot{\psi}^2 + \sin \psi \cdot \ddot{\psi}); \\ \ddot{y}_B = -a\omega^2 \sin \omega t + l(-\sin \psi \cdot \dot{\psi}^2 + \cos \psi \cdot \ddot{\psi}). \end{cases} \quad (6)$$

Для определения углового ускорения оси ро-

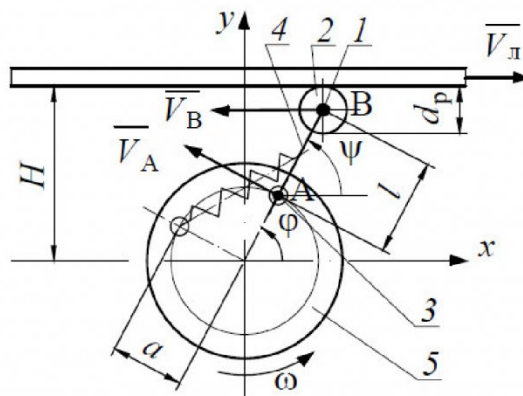


Рис. 1. Схема механизма для сегрегации груза
Fig. 1. The scheme of the mechanism for a segregation of a bulkload

лика при его касании с лентой продифференцируем выражение (4) по времени и получим

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{l} \left[-\frac{\sin \psi \cdot \dot{\psi}}{\cos^2 \psi} a \omega \cos \omega t + \frac{1}{\cos \psi} a \omega^2 \sin \omega t \right] \quad (7)$$

Пример расчета координат точек для $H = 0,19$ м, $l = 0,105$ м, $d_p = 0,051$ м, $a = 0,08$ м, $\omega = 20,9$ с⁻¹ представлен на рис. 2. В момент поворота диска на угол $\varphi = 62,4^\circ$ (рис. 2, б) происходит контакт ролика с лентой и изменение угла наклона рычага, при этом до момента выхода ролика из контакта с лентой $\psi < \varphi$.

При достижении углом φ значения $133,2^\circ$ рычаг под действием пружины (которая показана на рис. 1) и силы инерции разворачивается. Однако в конструкцию механизма введен ограничитель по-

ворота ролика, предотвращающий разворот рычага более угла φ . Таким образом, после выхода ролика из контакта с лентой происходит резкое выравнивание углов, т. е. $\psi = \varphi$.

Скорости движения оси ролика и оси крепления рычага к диску в зависимости от угла поворота последнего представлены на рис. 4.

Ускорения движения оси ролика и оси крепления рычага к диску в зависимости от угла поворота последнего представлены на рис. 5.

Варьируя параметрами управления (точкой крепления рычага, жесткостью пружины, частотой вращения вала, геометрическими размерами ролика, рычага, диска, расстоянием от оси вращения диска до нерабочей обкладки ленты), можно добиться требуемых показателей координат, скоростей и ускорений, а соответственно и значений

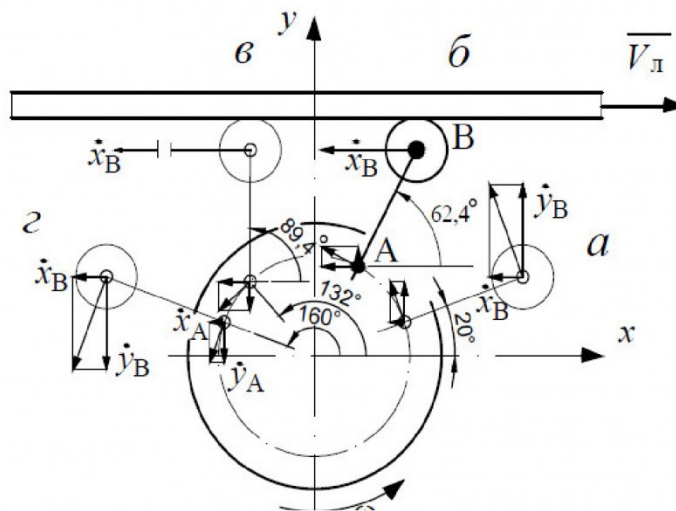


Рис. 2. Положение ролика в момент: а – $\varphi=20^\circ$; б – $\varphi=62,4^\circ$ (касания ролика с лентой); в – $\varphi=132^\circ$ (начала выхода из контакта с лентой); г – $\varphi=160^\circ$

Fig. 2. The provision of a roller at the moment: а – $\varphi=20^\circ$; б – $\varphi=62,4^\circ$ (roller contacts with a belt); в – $\varphi=132^\circ$ (he beginnings of an exit from contact with a belt); г – $\varphi=160^\circ$

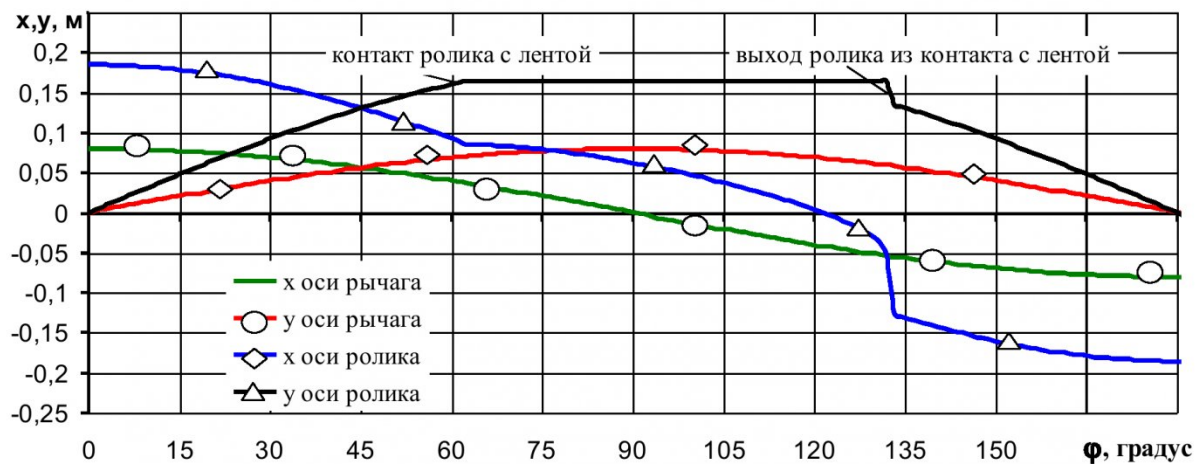


Рис. 3. Координаты движения точек крепления рычага и ролика
Fig. 3. Coordinates of the movement of points of fastening of the lever and roller

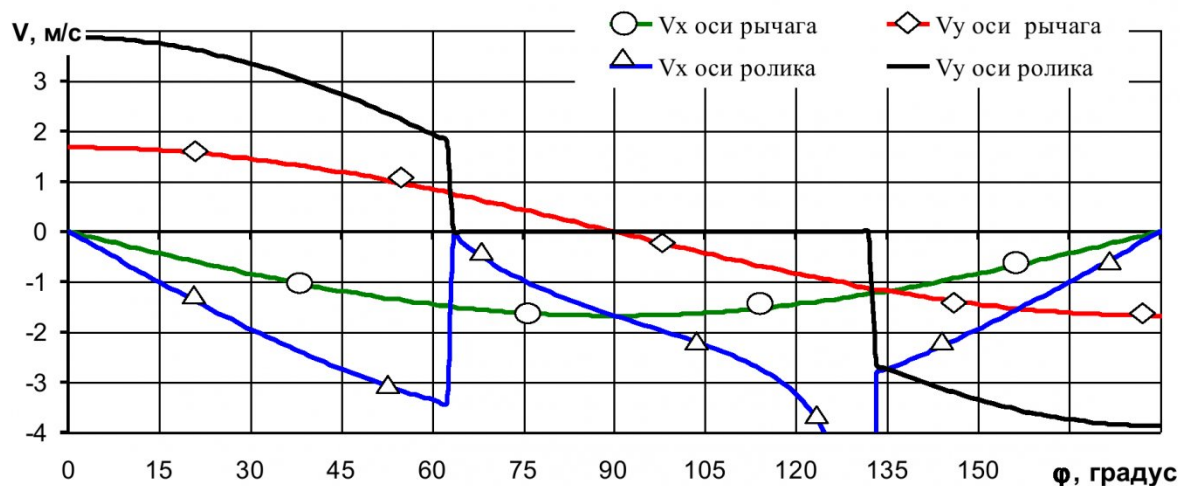


Рис. 4. Скорость движения точек крепления рычага и ролика
Fig. 4. Speed of the movement of points of fastening of the lever and roller

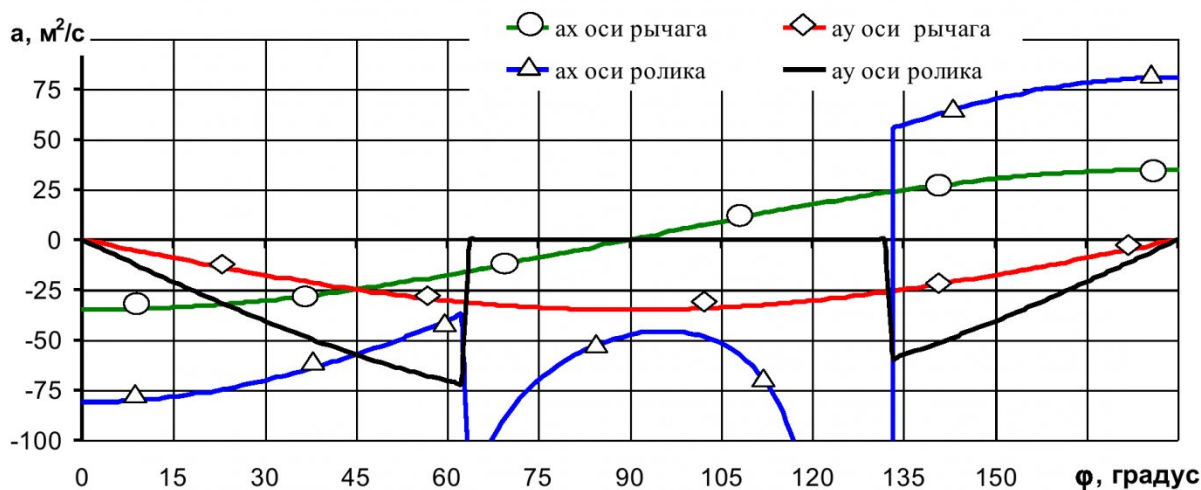


Рис. 5. Ускорения движения точек крепления рычага и ролика
Fig. 5. Accelerations of the movement of points of fastening of the lever and roller

усилия, частоты и формы ударно-вибрационного импульса. Параметры импульса зависят не только от характеристики конвейера и типа используемой конвейерной ленты, но и от характеристик насыпного груза: его кусковатости, влажности, плотности и т.д., а следовательно, в каждом конкретном случае возникает необходимость в уточнении параметров сегрегации груза.

Таким образом, получены аналитические вы-

ражения для определения в любой момент времени координат положения, скорости движения и ускорения элементов механизма для сегрегации груза, при помощи которых можно оптимизировать геометрические и кинематические параметры элементов механизма для достижения требуемого усилия воздействия ролика на ленту при прохождении его по нерабочей обкладке конвейерной ленты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монастырский В. Ф., Демин Г. К. О силе динамического воздействия потока крупнокусового груза с роликоопорами ленточного конвейера. – В кн.: Динамика и прочность горных машин. – Киев, 1975. – Вып. 3. – С. 112–118.
2. Захаров, А. Ю. Исследование естественной сегрегации насыпного груза на ленточном конвейере / А. Ю. Захаров, Н. В. Ерофеева // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: тез. докл. IX междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2012. – С. 124–126.
3. Захаров, А. Ю. Использование явления сегрегации насыпного груза для снижения динамических нагрузок при транспортировании крупнокусовых грузов / А. Ю. Захаров, Н. В. Ерофеева // Энергетиче-

ская безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности : тр. VI междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2004. – С. 111.

4. Захаров, А.Ю. Исследование интенсивности формирования прослойки из мелкой фракции между крупным куском и конвейерной лентой под действием устройства для сегрегации груза / А. Ю. Захаров, Н. В. Ерофеева // Вестник Кузбасского государственного технического университета – 2010. – № 1. – С. 134–136.

5. Захаров, А.Ю. Определение траектории движения крупного куска в среде насыпного груза на конвейерной ленте под ударным воздействием устройства для сегрегации груза / А. Ю. Захаров, Н. В. Ерофеева // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – №1. – С. 35–40.

6. Патент на полезную модель №82687 (RU) МПК В65G 27/10. Ленточный конвейер / Ерофеева Н. В. (RU), Захаров А. Ю. (RU) – №2008149346/22; – заявл. 15.12.2008; – опубл. 10.05.2009. – 5 с.

7. Горбач, Н. И. Теоретическая механика : краткий справочник / Н. И. Горбач, В. Д. Тульев. – М. : ИНФРА-М, 2004. – 192 с.

REFERENCES

1. Monastyrskij V. F., Demin G. K. O sile dinamicheskogo voz-dejstvija potoka krupnokuskovogo gruzа s rolіkooporami lentochного konvejera. V kn.: Dinamika i prochnost' gornyh mashin. Kiev, 1975. Vyp. 3. PP. 112–118.

2. Zaharov, A. Ju. Issledovanie estestvennoj segregacii nasypного gruzа na lentochном konvejere / A. Ju. Zaharov, N. V. Erofeeva // Prirodnye i intellektual'nye resursy Sibiri: tez. dokl. IX mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Kemerovo, 2012. PP. 124–126.

3. Zaharov, A. Ju. Ispol'zovanie javlenija segregacii nasypного gruzа dlja snizhenija dinamicheskikh nagruzok pri transportirovanii krup-nokuskovyh gruzov / A. Ju. Zaharov, N. V. Erofeeva // Jenergeticheskaja bezopasnost' Rossii. Novye podhody k razvitiju ugol'noj promyshlennosti : trudy VI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Kemerovo, 2004. P. 111.

4. Zaharov A. Ju., Erofeeva N. V. Issledovanie intensivnosti formirovanija proslojki iz melkoj frakcii mezhdu krupnym kuskom i konvejernoj lentoj pod dejstviem ustrojstva dlja segregacii gruzа // Vestn. Kuzbassкого gos. teh. univ. 2010. no 1. PP. 134–136.

5. Zaharov A. Ju., Erofeeva N. V. Opredelenie traektorii dvizhenija krupного kуска v srede nasypного gruzа na konvejernoj lente pod udarnym vozdejstviem ustrojstva dlja segregacii gruzа // Gornoe oborudovanie i jelektromehanika. 2011. no №1. PP. 35–40.

6. Patent na poleznuju model' №82687 (RU) MPK V65G 27/10. Lentochnyj konvejer / Erofeeva N. V. (RU), Zaharov A. Ju. (RU). No 2008149346/22; zajavl. 15.12.2008; opubl. 10.05.2009. 5 p.

7. Gorbach, N. I. Teoreticheskaja mehanika : kratkij spravochnik / N. I. Gorbach, V. D. Tul'ev. Moscow, 2004. 192 p.

Поступило в редакцию 4.12.2015

Received 4 December 2015