

V.P. Naduty, D.Sc. (Tech.), Professor,
V.F. Yagnyukov, Ph.D. (Tech.), Researcher,
I.V. Yagnyukova, Doctoral Student
(IGTM NAS of Ukraine)

**ABOUT SOME SPECIFIC MOTIONS OF MOVABLE OPERATING
ELEMENTS IN THE VIBROIMPACT ROLL CLASSIFIER**

В.П. Надутый, д-р техн. наук, професор,
В.Ф. Ягнюков, канд. наук, наук. співр.,
І.В. Ягнюкова, аспірант
(ІГТМ НАН України)

**ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РУХУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ВАЛКОВОГО
ВІБРОУДАРНОГО КЛАСИФІКАТОРА**

В.П. Надутый, д-р наук, професор,
В.Ф. Ягнюков, канд. наук, науч. сотр.,
И.В. Ягнюкова, аспирант
(ИГТМ НАН Украины)

**О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ВАЛКОВОГО ВИБРОУДАРНОГО
КЛАССИФИКАТОРА**

Annotation. Purpose of this study was to obtain more information on motion of movable operating elements in the vibroimpact classifier, and final purpose was to improve efficiency and productivity of the mineral processing. A considerable interest presents a kinematic scheme in which a vibrating roller made in the form of a circular cylinder rolls on the inner surface of a spring-loaded square tube all points of which move circularly under the action of unbalanced vibratory drive. The studies focused on creating an analytical function, which could describe a trajectory of the roller's mass center as close to its original as possible. Three variants of solving this problem are described. In the first variant, the analytical construction of the function is based on the integer function in a cylindrical coordinate system, in the second - on the inverse trigonometric functions such as $\arcsin(\sin \varphi)$ and $\arccos(\cos \varphi)$ in the Cartesian coordinate system, and in the third variant – on the sum of two trigonometric functions, one of which is an exponential. The obtained results can be used for qualitative and quantitative analysis of dynamics of the movable operating elements of vibroimpact roll classifier as they can reflect nay displacements, velocities and accelerations of the pendulum points. All of these three variants are also applicable for visualization and animation of the pendulum dynamics in any user-friendly graphical environment.

Keywords: roll vibroimpact classifier, non-linear pendulum, regular polygon in polar coordinate system, vibrating rolling, continuous motion.

Considering the problem of motion stability of executive elements of vibrating roller classifier as a pendulum with hetero-parametric excitation [1], it was concluded that the motion of a pendulum with parametric excitation is stable. This problem was

considered to justify the motion parameters of executive elements of vibrating roller classifier.

To extend the capabilities of this classifier for heavy-sieved bulk materials proposed [2] to extend the frequency range of the impact of the classifier executive elements on the material due to the additional percussion effects generated by the roller screening surface. There is an analysis of kinematics of embedded rings examined [3]. Following [1-3], but also to facilitate the understanding and description of the dynamics of motion of classifier's rollers under vibrating pulses generated on them it is beneficial to consider the following kinematic diagram, shown in Figure 1, wherein the roller is formed as a circular cylinder performing the vibrating roller burnishing on the inner surface of sprung square tube, all points of which carry out a circular motion. In this kinematic scheme, the center of mass of the square also implements a circular motion under the law:

$$\begin{cases} x = A \sin \omega t \\ y = A \cos \omega t \end{cases} \quad (1)$$

where A – the amplitude of circular (orbital) motion of all points of the square; ω – its angular velocity.

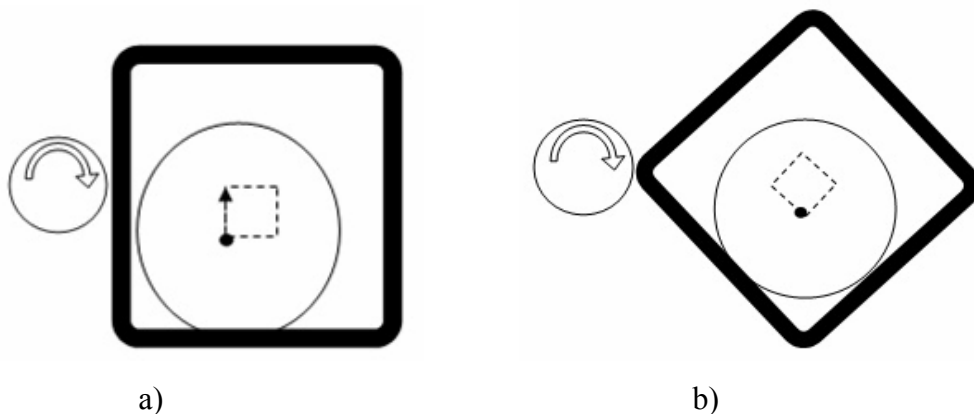


Figure 1 - The kinematic diagram of the roller assembly with various orientations of vibro-pulses:
a) square sides are parallel to the ground line; b) square sides are not parallel to the ground line

In general case, the mechanical system shown in Figure 1 should be considered as a nonlinear pendulum. Within this system, the pendulum - circle, interacting with the inner surface of the square, provides not an oscillating mode of motion but a rotational one. Investigation of the motion stability of the pendulum, discussed in [1], has a cumbersome nature of mathematical calculations and limitations for its wider perception and understanding, therefore, we will try to simplify the description of the dynamics of motion based on the following reasoning.

Obviously, during burnishing of the circle on the inner surface of the fixed square, the trajectory of the circle center is also a square, the size of which depends on the

geometry of the initial elements of the system. It is obvious that when a square implies a circular motion (Fig. 1) there is a centripetal force comes to take its place, as a reaction of interaction of the roller and the square tube. This force pushes the circle to the inner surface of the square during their interaction. This force is the basis of burnishing of circle on the inner vibrating surface of the square, thus it is the basis for the process of stable vibrating roller burnishing. It is also clear that if the vibrating roller burnishing of a circle on the inner surface of the square is implemented without interruption and without sliding motion the center of the circle represents the superposition of three motions - a circular motion, the motion discussed above for the square trajectory and rotational motion of the circle relatively to its center.

As a result, the complex motion of the center of the circle presents a closed piecewise continuous function of a tetrahedral, whose faces are convex with curvature depending on the geometry of the initial elements of the system and the amplitude of the input circular motion of a square.

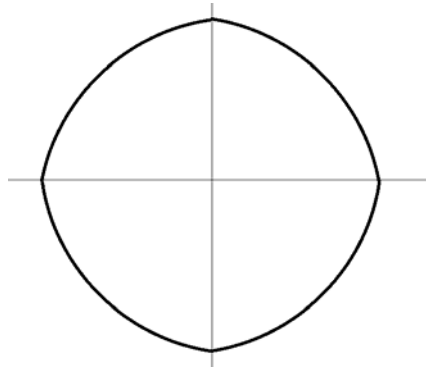


Figure 2 - The trajectory of the roller's mass center

The motion trajectory, shown in Fig. 2, of the center of the circle-roller has four points of inflection. In the transition from the displacement of the center of mass of the circle to the trajectory of the acceleration of the circle center of mass, it is obvious that the inflection points of trajectories correspond to peaks of acceleration and maximum values, respectively, arising from the interaction forces, meaning that there are additional mechanical vibroimpact pulses appear in this nonlinear system with parametric excitation.

To simplify the description of the motion of the pendulum, shown in Figure 2, we will try to describe the path of its center of mass represented by several cases due to elementary trigonometric functions in Cartesian or polar coordinates. There are three ways to build the analytical function describing the trajectory of the center of mass of the roller.

Case 1

Consider that the center of the circle performs a combination of complex motions and displacements of each point relatively to a fixed reference system. One of the motions produced is circular, due to the input force with vector acceleration in a circle, while the second motion is performed on the square with a certain side.

Square, as well as any polygon, in polar coordinate system can be described [4]

by the following function (Fig. 2):

$$\rho(\varphi) = R + \frac{r}{\cos\left(\varphi - \left[\frac{n\varphi}{2\pi}\right] \cdot \frac{2\pi}{n}\right)}, \quad (2)$$

where φ – angle; n – the number of polygon faces (in this case $n = 4$); r – the radius of an inscribed circle; R – the radius of curvature of polygon faces (in this case of a square); $\left[\frac{n\varphi}{2\pi}\right]$ – integer function for the braced expression; $|\rho(\varphi)|$ – is a periodic function of the following form; φ – periodic piecewise polygonal function (fig.3).

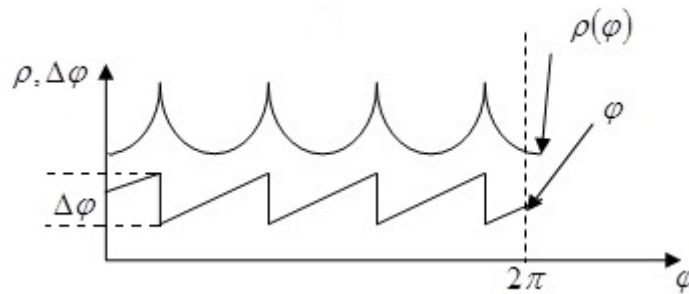


Figure 3 - Graphs of $|\rho(\varphi)|$ and φ in Cartesian reference system

The derivation of the dependence (2) is based on the fact that the line in the polar coordinate system is defined by the following function:

$$\rho(\varphi) = \frac{1}{\cos \varphi}, \quad (3)$$

Case 2

In a Cartesian coordinate system trigonometric functions $\arcsin(\sin \varphi)$ and $\arccos(\cos \varphi)$ are graphically described as curves in the form of triangles, but shifted relatively to each other with the period of $\frac{\pi}{2}$. For example, a square in the Cartesian coordinate system can be set by the following analytic system:

$$\begin{cases} x = \arcsin(\sin \varphi) \\ y = \arccos(\cos \varphi) \end{cases} \quad (4)$$

Case 3

If in polar coordinates the sum of two harmonic components is represented as:

$$\rho(\varphi) = R + \sin^{2n} \omega\varphi, \quad (5)$$

the first of which has a singular angular frequency and the second harmonic component has an even exponent and an angular frequency – ω , then a first approximation of this function (5) is also a regular polygon with $\frac{\omega}{2}$ faces with geometrical sizes determined by the amplitudes of the harmonic components.

Conclusions.

For all three described above cases of analytical representation of the dynamics of executive tools of vibroimpact roller classifier as a pendulum with hetero-parametric excitation a common base is a frequency of the radius vector describing the regular polygons, depending on the current steering angle φ of classifier's rollers.

Each of the three options proposed in various ways depending on the individual consideration case of required problem of nonlinear pendulum with hetero parametric excitation is convenient for qualitative and quantitative analysis of the dynamics of rollers of vibroimpact classifier, since they may reflect the displacements, velocities and accelerations of all points of roller screen surface of vibroimpact classifier. All three cases are also applicable for visualization and animation of the dynamics of considered classifier in any user-friendly graphical environment.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Надутый, В.П. Синтез параметров валковых классификаторов вибрационного типа: Монография / В.П. Надутый, В.А. Остапенко, В.Ф. Ягнюков. – К. : Наук. думка, 2006. – 188 с.
2. Надутый, В.П. Модернизация вибрационного валкового классификатора на основе использования виброударного режима / В.П. Надутый, А.И. Егурнов, И.В. Ягнюкова // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. - №57 (1030) – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 89-96.
3. Ягнюков В.Ф. Анализ кинематики движения рабочих органов валкового классификатора вибрационного типа / В.Ф. Ягнюков // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск. – Вып. 78. – 2008. – С. 261-264.
4. А.М. Белов. Уравнение правильных многоугольников в полярных координатах. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://stob2.narod.ru> – Загл. с экрана.
5. Остапенко, В.А. Механические виброударные системы / В.А. Остапенко - К. : Наук. думка, 1966. – 243с.
6. Pat. 4288320 USA, IPC7 B07B1/46, B07B1/54. Vibrating Screen with Screen Deck Unclogging Mechanism / Wilson Albert ; applicant Linton Systems Inc.. – № US19800146251; priority date 05.05.80; published 08.09.81.
7. Pat. 2424067 Russian Federation, IPC7 B07B1/40, B07B1/54. Two-hammer Impact Screen / Sizikov S.A., Sizikov V.S., Skripilov A.P, Vjatkin G.M.; applicant NI SKOE I P KB Strojtehnika AOZT. – № RU20100111988; priority date 29.03.10; published 20.07.11.
8. Pat. 2159603 Great Britain, IPC7 B07B1/28; B07B1/40; B07B1/46. Apparatus for the segregation of discrete materials / Maclean Francis Leckie; applicant Maclean Francis Leckie. – № GB19840013817; priority date 31.05.84; published 04.12.85.
9. Pat. 6250792 USA, IPC7 B01F11/00; B06B1/14; B06B1/16; B07B1/28; B60B1/14; B60B3/00; B01F; B06B. Integrated vibratory adapter device for providing multi-frequency oscillation of a vibratable working unit / Krush Iona, Obodan Yuri, Shifrin Leonid; applicant Vibtec Engineering Ltd. – № US19990331017; priority date 15.06.99; published 26.06.01.
10. Pat. 2012024764 USA, IPC7 B07B1/36. Multifrequency Sieve Assembly for Circular Vibratory Separator / Krush Iona, Obodan Yuri; applicant Krush Iona, Obodan Yuri – № US201113251397; priority date 03.10.11; published 02.02.12.

REFERENCES

1. Naduty, V.P., Ostapyenko, V.A. and Iagniuikov, V.F. (2006), *Sintez parametrov valkovykh klassifikatorov vibratsionnogo tipa* [The synthesis of parameters of vibrating roller classifiers], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
2. Naduty, V.P., Iegurnov, A.I. and Iagniuikova, I.V. (2013), "Modernization of the vibrating roller classifier based on the vibroimpact mode application", *Visnyk NTU «HPI», Ukraine, issue 57 (1030), Edition: Chemistry, Chemical Technology and Ecology*, pp. 89-96.
3. Iagniuikov, V.F. (2008), "The analysis of the kinematics of executive tools of vibrating roller classifier", *Geotechnical Mechanics*, no. 78, pp. 261-264.
4. Belov, A.M. "Regular polygon equations in polar coordinates", Internet resource, <http://stob2.narod.ru>
5. Ostapenko, V.A. (1966), *Mehanicheskie vibroudarnye sistemy*, [Mechanical vibro-impact systems], Naukova dumka, Kiev, SU.
6. Pat. 4288320 USA, IPC7 B07B1/46, B07B1/54. Vibrating Screen with Screen Deck Unclogging Mechanism / Wilson Albert ; applicant Linton Systems Inc.. – № US19800146251; priority date 05.05.80; published 08.09.81.
7. Pat. 2424067 Russian Federation, IPC7 B07B1/40, B07B1/54. Two-hammer Impact Screen / Sizikov S.A., Sizikov V.S., Skripilov A.P, Vjatkin G.M.; applicant NI SKOE I P KB Strojtehnika AOZT. – № RU20100111988; priority date 29.03.10; published 20.07.11.
8. Pat. 2159603 Great Britain, IPC7 B07B1/28; B07B1/40; B07B1/46. Apparatus for the segregation of discrete materials / Maclean Francis Leckie; applicant Maclean Francis Leckie. – № GB19840013817; priority date 31.05.84; published 04.12.85.
9. Pat. 6250792 USA, IPC7 B01F11/00; B06B1/14; B06B1/16; B07B1/28; B60B1/14; B60B3/00; B01F; B06B. Integrated vibratory adapter device for providing multi-frequency oscillation of a vibratable working unit / Krush Iona, Obodan Yuri, Shifrin Leonid; applicant Vibtec Engineering Ltd. – № US19990331017; priority date 15.06.99; published 26.06.01.
10. Pat. 2012024764 USA, IPC7 B07B1/36. Multifrequency Sieve Assembly for Circular Vibratory Separator / Krush Iona, Obodan Yuri; applicant Krush Iona, Obodan Yuri – № US201113251397; priority date 03.10.11; published 02.02.12.

About the authors

Naduty Volodymyr Petrovych, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipropetrovsk, Ukraine, nadutyvp@yandex.ua

Iagniuikov Volodymyr Fedorovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Researcher, Researcher of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipropetrovsk, Ukraine, astasdnepr@rambler.ru

Iagniuikova Iryna Volodymyrivna, Doctoral Student, Engineer of Department of Mechanics of Mineral Processing Machines and Processes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipropetrovsk, Ukraine, yagnyukova@gmail.com

Анотація. Метою даної статті є отримання більшої інформації про рух робочих органів віброударного класифікатора, кінцевою метою створення якого є підвищення ефективності та продуктивності обробки мінеральної сировини. Суттєвий інтерес представляє кінематична схема, де валок виконаний у вигляді круглого циліндра, що здійснює вібраційне обкатування по внутрішній поверхні підпружиненої квадратної труби, всі точки якої під дією дебалансного віброприводу здійснюють кругові рухи. Дослідження зосереджені на побудові аналітичної функції, яка максимально близько описує траєкторію руху центру мас валка. Таким чином, були запропоновані три підходи вирішення даної задачі. У першому випадку аналітична побудова функції заснована на функції виділення цілої частини виразу в циліндричній системі

координат, у другому - на зворотних тригонометричних функціях типу $\arcsin(\sin \varphi)$ та $\arccos(\cos \varphi)$ в декартовій системі координат, в третьому - на сумі двох тригонометричних функцій, одна з яких є показовою. Отримані результати можуть бути використані для якісного та кількісного аналізу динаміки робочих органів валкового віброударного класифікатора, так як можуть відображати переміщення, швидкості і прискорення точок маятника такого типу. Всі три варіанти також можуть бути застосовані для візуалізації та анімації динаміки розглянутого маятника в будь-якому зручному для користувача графічному середовищі.

Ключові слова: валковий віброударний класифікатор, нелінійний маятник, багатокутник в полярній системі координат, вібраційне обкатування, рух без відриву.

Аннотація. Цель этой статьи состоит в том, чтобы получить больше информации о движении рабочих органов виброударного классификатора, конечной целью создания которого является повышение эффективности и производительности переработки минерального сырья. Существенный интерес представляет кинематическая схема, где валок выполнен в виде круглого цилиндра, совершающего виброобкатывание по внутренней поверхности подпружиненной квадратной трубы, все точки которой под действием дебалансного вибропривода осуществляют круговые движения. Исследования сосредоточены на построении аналитической функции, максимально приближенной к описанию траектории движения центра масс вала. Таким образом, были исследованы три подхода решения данной задачи. В первом случае аналитическое построение функции основано на функции выделения целой части выражения в цилиндрической системе координат, во втором – на обратных тригонометрических функциях типа $\arcsin(\sin \varphi)$ и $\arccos(\cos \varphi)$ в декартовой системе координат, в третьем – на сумме двух тригонометрических функций, одна из которых является показательной. Полученные результаты могут быть использованы для качественного и количественного анализа динамики рассматриваемых рабочих органов валкового виброударного классификатора, так как могут отражать перемещения, скорости и ускорения точек такого типа маятника. Все три варианта также применимы для визуализации и анимации динамики рассматриваемого маятника в любой удобной для пользователя графической среде.

Ключевые слова: валковый виброударный классификатор, нелинейный маятник, многоугольник в полярной системе координат, виброобкатывание, безотрывное движение.

Статья поступила в редакцию 10.02.2014

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Б.А. Блюссом

УДК 622.281.001.2

С. И. Скипочка, д-р техн. наук, профессор,
В. Н. Трипольский, магистр,
Н. А. Буряк, магистр,
Т. Г. Войтович, аспирант
(ИГТМ НАН Украины)

АНАЛИЗ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ШТРЕКОВ

С. І. Скіпочка, д-р техн. наук, професор,
В. М. Трипольський, магістр,
М. П. Буряк, магістр,
Т. Г. Войтович, аспірант
(ІГТМ НАН України)

АНАЛІЗ ТА НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ ПІДТРИМКИ ВИІМОЧНИХ ШТРЕКІВ

S. I. Skipochka D. Sc. (Tech.), Professor,
V. N. Tripolski, M.S (Tech.),
N. A. Buriyk, M.S (Tech.),
T. G. Vojtovich, Doctoral Student
(IGTM NAS of Ukraine)

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF METHODS AND FACILITIES FOR SUPPORTING THE GATE ROADS

Аннотация. Объект исследований данной работы – поддержание выемочных штреков металлорамными крепями на угольных шахтах. На основе анализа способов и средств поддержания выемочных штреков сформулирована цель – анализ причин неудовлетворительной работы и рекомендации по улучшению работы арочной металлокрепей и крепления выемочных штреков в целом. Показано, что причиной неудовлетворительной работы металлорамной крепи является ее несоответствие требуемому параметру – податливость. Расчетным методом выполнена оценка работоспособности замкового соединения и желобчатой конструкции профиля. Сравнительный анализ параметров металлорамных крепей позволил сделать вывод о нецелесообразности применения в сложных горно-геологических условиях открытых желобчатых профилей. Сделан вывод о необходимости применения комбинированных способов поддержания выемочных штреков, в основе которого должен лежать симбиоз анкерной и металлорамной крепи нового поколения, а также охранной околоштрековой полосы. Определены технические требования для проектирования крепей нового поколения.

Ключевые слова: выемочный штрек, арочная податливая металлокрепь, замковые соединения.

Анализ способов охраны и поддержания выемочных штреков, показывает, что чаще всего в условиях Донбасса охрана выработок ведется целиками (42 % – вентиляционных и 32 % – откаточных штреков). Бутовыми полосами охраняется соответственно 21 % и 13 % штреков [1].