

водопоглощение, прочность на сжатие, обжиг.

UDC 666.72

**Peculiarities of influence of clay materials in different deposits of ukraine on the properties of the clinker ceramics / O.O. MYRSHAVKA, O.S. KHOMENKO, V.V. KOLEDA, V.S. TARAN // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 52 (1094). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 53 – 59. – Bibliogr.: 6 names. – ISSN 2079-0821.**

The article presents the results of ceramic mass investigation for clinker products production. It based on fusible clay and inferior refractory clay materials such as clay PLG-3 of the Polohivske deposit and kaolin МК-3 (КТs) of the Murzynske deposit of the Ukraine. Accounting all the data of the chemical, thermal differential and Phase X-Ray analyses it was selected ceramic compositions and studied physical-mechanical properties of the samples. It is determined a possibility to obtain clinker ceramic materials satisfying the requirements of the National Ukrainian Standard.

**Keywords:** inferior refractory clay materials, clinker products, clay, kaolin, water absorption, flexural strength, firing.

УДК 622.74.913.1

**В.П. НАДУТЫЙ**, д-р техн. наук, зав. отделом, ИГТМ НАН Украины,  
Днепропетровск,

**В.Ф. ЯГНЮКОВ**, канд. техн. наук, науч. сотруд., ИГТМ НАН Украины,  
Днепропетровск,

**И.В. ЯГНЮКОВА**, асп., ИГТМ НАН Украины, Днепропетровск

**АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ВИБРОУСКОРЕНИЙ РАБОЧИХ  
ОРГАНОВ ГРОХОТА ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ  
РАЗНОНАПРАВЛЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ**

Цель данной работы состоит в описании и анализе траектории перемещения центра масс нелинейного маятника с параметрическим возбуждением для реализации разнонаправленных виброударных импульсов. Исследованы нормальное, радиальное и трансверсальное ускорения для центра масс нелинейного маятника. Определены зависимости ускорений от входной частоты колебаний вибровозбудителя, амплитуды исходных круговых колебаний, количества граней применяемых многоугольников и зазора между ними.

**Ключевые слова:** виброударные импульсы, нормальное ускорение, радиальное ускорение, трансверсальное ускорение, полное ускорение, нелинейный маятник.

Исследования по применению виброударных импульсов для улучшения характеристик грохочения проводились и проводятся на сегодняшний день в ИГТМ НАН Украины [1 – 4]. Для создания виброударных воздействий на просеивающую поверхность используются различные нелинейные механические системы, в частности маятники с различными законами и режимами их движения [5, 6]. Эти виброударные механические системы, как правило, располагаются в непосредственной близости от сит грохотов. Но, ни одно из предложенных решений или устройств не предполагает использование циклически повторяющихся последовательностей пакетов трех и более виброударных импульсов для одновременного их распределения в пространстве и во времени. Наличие виброударных импульсов, меняющих более двух раз в пакете свое направление в пространстве или плоскости за один оборот дебалансного вала грохота, приводит к движению вектора перемещения точек просеивающей поверхности по замкнутой ломаной траектории. Очевидно, что справедливо и обратное утверждение, а именно – движение вектора перемещения, скорости по замкнутой  $n$ -ломаной траектории порождает  $n$ -вибро-

© В.П. Надутый, В.Ф. Ягнюков, И.В. Ягнюкова, 2014  
дарных импульсов за один оборот дебалансного вала.

Естественно, что при наличии  $n > 2$  распределенных в пространстве и времени виброударных импульсов за один оборот, приложенных к просеивающей поверхности, а, следовательно, и к частицам сыпучего материала, приводит к возникновению сил и моментов сил, способствующих деагломерации трудногрохотимой сыпучей горной массы и препятствующих застреванию трудных (иглообразных) частиц в просеивающей ячейке. В этом случае элементы поверхности ячейки  $n$  раз за период воздействуют на «трудную частицу» и создают не менее чем  $n$  разнонаправленных сил и моментов за один оборот дебалансного вала вибратора. Вероятность блокирования ячейки частицей уменьшается пропорционально количеству виброударных импульсов, величине их спектральной плотности, зависит от их распределе-

ния направлений в пространстве и свойств горной массы. Эта вероятность также снижается при наличии апериодической последовательности виброударных импульсов в пакете.

Для реализации пакетного режима разнонаправленных виброударных импульсов рассмотрим одно из устройств, позволяющее получить перемещение его точек по ломаной замкнутой траектории.

Схема предлагаемого устройства представлена на рис. 1.

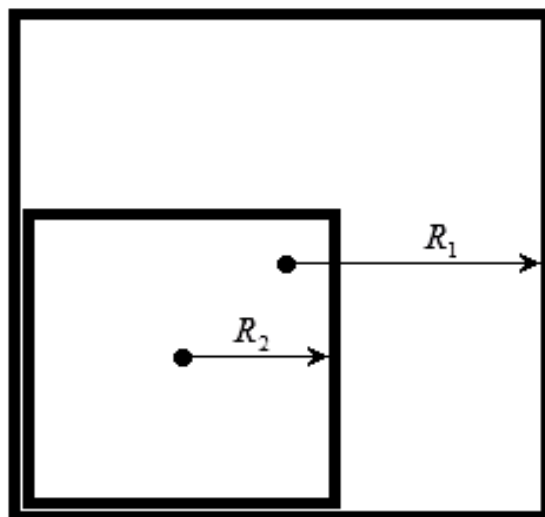


Рис. 1 – Схематическое изображение нелинейной механической системы

Кинематика этой механической системы представляет собой маятник с параметрическим возбуждением, у которого внутренний квадрат движется по внутренней поверхности внешнего квадрата, а входное воздействие в виде кругового перемещения, приложенное к внешнему квадрату, задается в декартовой системе координат как:

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

где  $\omega$  – угловая частота вращения дебалансной массы вибровозбудителя;  $A$  – амплитуда круговых колебаний входного воздействия.

Для определения закона движения данного маятника обычно составляют дифференциальное уравнение на основе расклада возникающих сил и моментов [7], но при наличии очевидных ограничений:

1. движение элементов системы безотрывно (предполагается наличие достаточной центростремительной силы);

2. трение скольжения элементов между собой достаточно малó;
3. моменты сил при взаимодействии элементов системы отсутствуют.

Допустим, что при неподвижном внешнем квадрате, внутренний квадрат циклически и безотрывно перемещается против часовой стрелки по внутренней поверхности внешнего квадрата. Очевидно, что при таком движении траектория центра масс внутреннего квадрата будет представлять также квадрат с радиусом вписанной окружности  $\delta$ . Используя тривиальный геометрический расчет, радиус вписанной окружности траектории внутреннего квадрата определяется разностью радиусов вписанных окружностей внешнего и внутреннего квадратов  $\delta = R_1 - R_2$ .

Соответственно, при приложении внешнего кругового воздействия (1) к внешнему квадрату и при соблюдении перечисленных выше условий, центр маятника (внутренний квадрат), как и любая его точка, будет совершать плоскопараллельное движение по траектории в виде квадрата с выпуклыми гранями.

Характеристики этой траектории определены геометрическими размерами этого маятника, а также параметрами входного воздействия. Частично такая траектория рассмотрена в [8, 9]. Эта траектория движения представляет собой следующую зависимость в полярной системе координат:

$$\rho(\varphi) = A(\varphi) + \delta \cdot \sec\left(\frac{1}{n} \cdot \arccos(\cos n\omega\varphi)\right), \quad (2)$$

где  $\varphi$  – полярный угол радиус-вектора;  $R_1$  – радиус вписанной окружности для внешнего квадрата;  $R_2$  – радиус вписанной окружности для внутреннего квадрата;  $\delta = R_1 - R_2$  – зазор между гранями квадратов при совпадении их центров;  $A$  – амплитуда круговых колебаний входного воздействия;  $n$  – количество граней внешнего и внутреннего многоугольника (в случае квадрата  $n = 4$ );  $\omega$  – угловая частота вращения дебалансной массы вибровозбудителя.

Также следует отметить, что в выражении (2)

$$\rho = \sqrt{(\rho(\varphi) \cdot \sin \varphi)^2 + (\rho(\varphi) \cdot \cos \varphi)^2}$$

является модулем радиус-вектора  $\rho(\varphi)$ .

Для упрощения анализа движения, в рамках этой статьи, мы не рассматриваем свойства вязкоупругого взаимодействия элементов рассматриваемой динамической системы.

Траектория движения центра масс внутреннего квадрата (2) является

функцией векторной, она представлена на рис. 2 (а) формой квадрата с выпуклыми гранями и состоит из суммы двух движений (рис. 2 (б)):

– первое обусловлено входным круговым движением внешнего квадрата с радиус–вектором  $A(\varphi)$ ;

– второе обусловлено наличием нелинейной зависимости между перемещением внешнего и внутреннего квадратов  $\delta \cdot \sec\left(\frac{1}{n} \cdot \arccos(\cos n\omega\varphi)\right)$ .

При этом как первое, так и второе слагаемое траектории движения являются векторными величинами. Обозначим, что точка  $O$  для каждой из описанных траекторий движения является центром (полярной системы координат). Первый радиус-вектор с постоянным модулем, равным  $A$ , совершает вращение в неподвижной системе координат относительно точки  $O$  (рис. 2(б)). Второй радиус-вектор (рис. 2 (б)) также совершает вращательное движение в неподвижной системе координат относительно точки  $O$ , но его конец перемещается по квадрату, радиус вписанной окружности которого равен  $\delta$ . Как первый, так и второй радиус-векторы синхронно вращаются с угловой частотой входного воздействия  $\omega$ .

В свою очередь, движение радиус-вектора по траектории в виде правильного многоугольника, в частности квадрата [10], можно представить как векторную сумму двух движений относительно точки  $O$ :

– движение одного радиус-вектора  $\delta(\varphi)$  по окружности (рис. 2(в));

– движение второго радиус-вектора  $\delta \cdot \sec\left(\frac{1}{n} \cdot \arccos(\cos n\omega\varphi) - 1\right)$  по лепестковой траектории (рис. 2(в)).

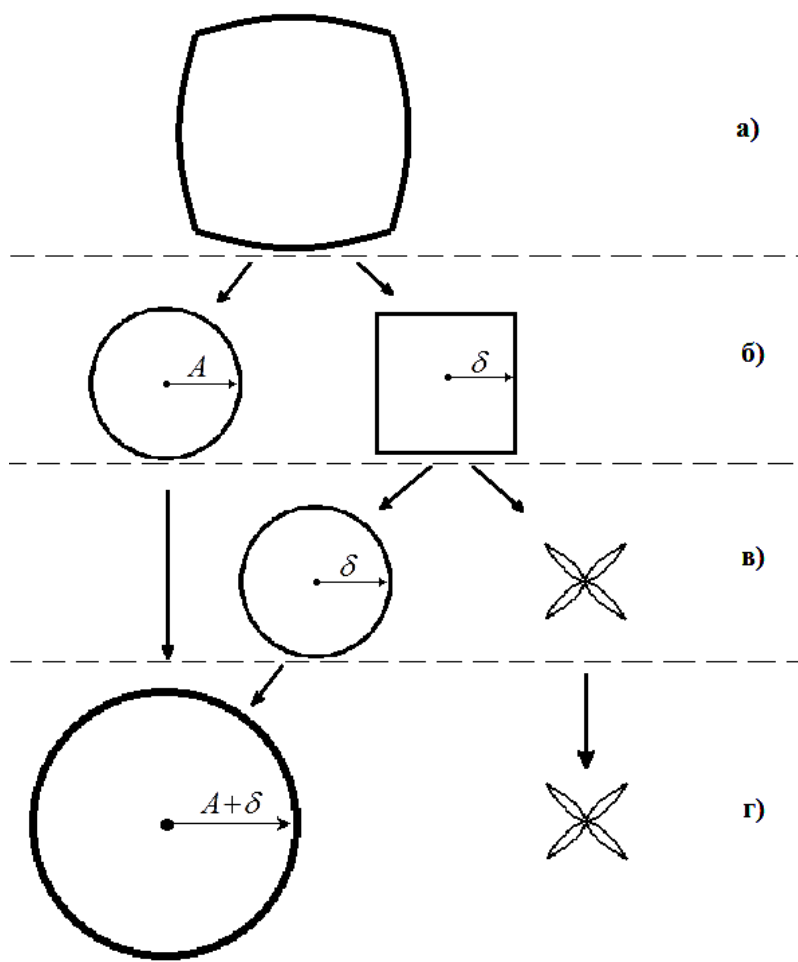


Рис. 2 – Алгоритм анализа траектории движения центра масс внутреннего квадрата

При этом отношение модулей этих радиус–векторов для квадрата с прямыми гранями равно  $(\sqrt{2} - 1)$ . Первый и второй радиус-векторы также синхронно вращаются с угловой частотой входного воздействия  $\omega$ .

Теперь, в соответствии с алгоритмом, представленном на рис. 2(г), осуществим векторное сложение двух радиус-векторов круговой траектории. Так как эти вектора вращаются синхронно и синфазно, то модуль суммарного радиус-вектора естественно будет равен  $A + \delta$ .

В результате, используя алгоритм, иллюстрация которого приведена на рис. 2, мы разложили исходное движение центра масс маятника на круговое с радиус-вектором  $(A + \delta)$  и виброударное с экстремальным значением амплитуды перемещения виброударных импульсов равным:

$$A_{\max} = |\bar{r}_{\max}| = \max \left\{ \delta \cdot \sec \left( \frac{1}{n} \cdot \arccos(\cos n \omega \varphi) - 1 \right) \right\} = \delta \cdot (\sqrt{2} - 1). \quad (3)$$

Для виброударных импульсов (рис. 3) характерно:

– пространственно-временное распределение их экстремальных значений, то есть за каждый период частоты  $\omega$  циклически изменяется их направление в пространстве;

– за каждый оборот дебалансного вала с частотой  $\omega$  количество виброударных импульсов в пакете равно  $n$ , то есть частота повторения виброударных импульсов в пакете в  $n$  раз превышает частоту вращения дебалансного вибратора  $\omega$ .

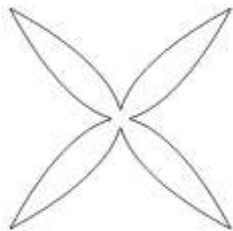


Рис. 3 – Траектория движения виброударных импульсов, создаваемых на просеивающей поверхности грохота с направленными виброударными колебаниями

Для оценки силовых характеристик воздействия на сыпучую горную массу от просеивающей поверхности, движущейся в режиме пространственно-распределенных направленных виброударных колебаний, рассмотрим, как вычисляется ускорение точки при задании ее движения в полярных координатах.

Пусть будет задано уравнение движения точки в виде:  $r = r(t)$  [11],  $\varphi = \varphi(t)$ .

В этом случае вектор ее ускорения  $\bar{a}$  определяется по его проекциям на взаимно перпендикулярные подвижные оси  $(r)$  и  $(\varphi)$ , имеющие начало в точке  $P$  и движущиеся вместе с нею (рис. 4).

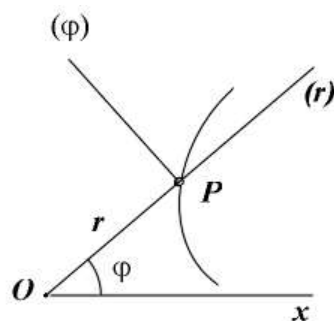


Рис. 4 – Задание движения точки в полярной системе координат

Эти оси направлены следующим образом:

– ось  $(r)$  направлена по радиусу-вектору точки в направлении от полюса  $O$  к точке  $P$ ;

– ось  $(\varphi)$  получается путем поворота вокруг точки  $P$  оси  $(r)$  на прямой

угол в положительном направлении отсчета угла  $\varphi$ , то есть против хода часовой стрелки.

Вектор ускорения  $\bar{a}$  точки направлен в сторону вогнутости траектории и определяется своими проекциями  $\bar{a}_r$  и  $\bar{a}_\varphi$  на оси  $(r)$  и  $(\varphi)$  по формулам:

$$\bar{a}_r = \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = \ddot{r} - r\dot{\varphi}^2, \quad (4)$$

$$\bar{a}_\varphi = r \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + 2 \left( \frac{dr}{dt} \right) \left( \frac{d\varphi}{dt} \right) = r\ddot{\varphi} + 2\dot{r}\dot{\varphi}. \quad (5)$$

Величины  $\bar{a}_r$  и  $\bar{a}_\varphi$  соответственно называются радиальным и тангенциальным ускорениями точки.

Радиальное и тангенциальное ускорения могут быть как положительными, так и отрицательными (на рис. 5 показан случай, когда радиальное ускорение положительное, а тангенциальное – отрицательное).

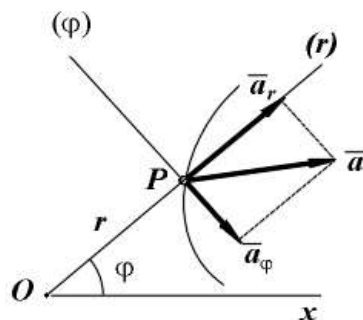


Рис. 5 – Проекции ускорений материальной точки на оси  $(r)$  и  $(\varphi)$

Модуль ускорения:

$$|a| = \sqrt{(\bar{a}_r)^2 + (\bar{a}_\varphi)^2}. \quad (6)$$

Рассмотрим расчет ускорений центра масс маятника системы (рис. 1) при следующих исходных данных:

$$\omega = 25 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$A_{кр} = 0.005\text{м}; \quad \delta = 0.005\text{м};$$



$$\rho = \rho_{kp}(t) + \rho_{y\partial}(t) = (A + \delta)(t) + \delta \left( \frac{1}{4} \cdot \sec(\arccos(\cos 4t)) - 1 \right). \quad (7)$$

Тогда, нормальное ускорение точки для круговой составляющей траектории  $\rho_{kp}(t)$ , при  $\omega = const$ , равно:

$$\bar{a}_n = \omega^2 \cdot \rho_{kp} = (2\pi \cdot 25)^2 \cdot (0,005 + 0,005) = 246,5 \text{ м/с}^2. \quad (8)$$

Радиальное ускорение для виброударной составляющей траектории  $\rho_{y\partial}(t)$  равно:

$$\begin{aligned} \bar{a}_r &= \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = \frac{d^2}{dt^2} \cdot \left( 0,005 \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot \sec(\arccos(\cos 25 \cdot 4t)) - 1 \right) \right) - \\ &- 0,005 \cdot \left( \frac{1}{4} \cdot \sec(\arccos(\cos 25 \cdot 4t)) - 1 \right) \cdot (2\pi \cdot 25)^2 = \\ &= 0,005 \cdot \left( \frac{625 \sin^2(100t) \sec^3 \left( \frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right)}{1 - \cos^2(100t)} + \right. \\ &+ \frac{2500 \cos(100t) \operatorname{tg} \left( \frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) \sec \left( \frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right)}{\sqrt{1 - \cos^2(100t)}} + \\ &+ \frac{625 \sin^2(100t) \operatorname{tg}^2 \left( \frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) \sec \left( \frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right)}{1 - \cos^2(100t)} - \\ &\left. - \frac{2500 \sin^2(100t) \cos(100t) \operatorname{tg} \left( \frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) \sec \left( \frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right)}{(1 - \cos^2(100t))^{\frac{3}{2}}} \right) + \\ &+ 123,371 \cdot \left( \sec \left( \frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) - 1 \right) \text{ м/с}^2. \quad (9) \end{aligned}$$

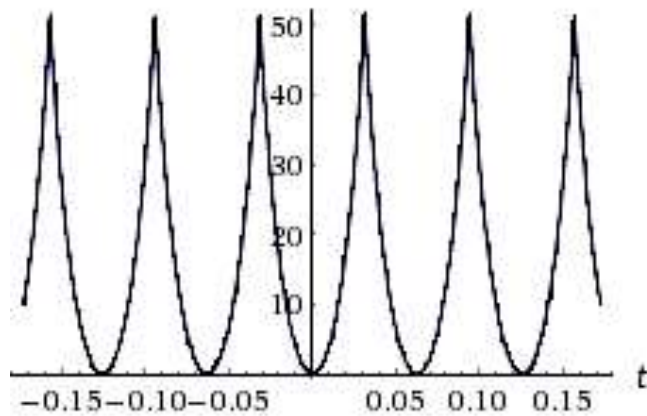


Рис. 6 – Радиальное ускорение для виброударной составляющей траектории  $\rho_{y\partial}(t)$

Трансверсальное ускорение для виброударной составляющей траектории  $\rho_{y\partial}$  равно:

$$\begin{aligned} \bar{a}_\varphi &= r \frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2 \left( \frac{dr}{dt} \right) \left( \frac{d\varphi}{dt} \right) = \\ &= (0) + \frac{d}{dt} \left( 2 \cdot 0,005 \cdot \left( \sec \left( \arccos \frac{1}{4} (\cos(25 \cdot 4t)) \right) - 1 \right) (2\pi \cdot 25) \right) = \\ &= 39,27 \sqrt{\sin^2(100t)} \operatorname{cosec}(100t) \operatorname{tg} \left( \frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) \cdot \\ &\quad \cdot \sec \left( \frac{1}{4} \cos^{-1}(\cos(100t)) \right) \text{ м/с}^2. \end{aligned} \tag{10}$$

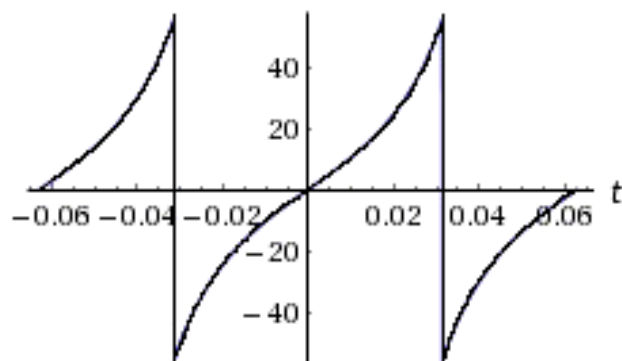


Рис. 7 – Трансверсальное ускорение для виброударной составляющей траектории  $\rho_{y\partial}$

Полное ускорение системы (рис. 1) определяется векторной суммой круговой и ударной составляющей ускорений центра масс маятника движущего-

ся по рассмотренной траектории:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_r^2 + a_\varphi^2}. \quad (11)$$

### **Выводы.**

На основании исходных параметров системы можно рассчитать и качественно оценить формируемые на просеивающей поверхности ускорения пространственных виброударных импульсов.

В конкретном примере виброударная система формирует за каждый оборот дебалансного вибропривода грохота пакет в виде циклической последовательности четырех виброударных импульсов сдвинутых на период  $\frac{\pi}{2}$ .

При этом, *радиальное* и *трансверсальное* ускорения центра масс маятника пропорциональны зазору между внешним и внутренним квадратами  $\delta$ , а *модуль полного* ускорения центра масс маятника пропорционален амплитуде круговых колебаний  $A$  входного воздействия и зазору между внутренним и внешним квадратами  $\delta$  рассмотренной механической системы, а также квадратично зависит от частоты входного воздействия  $\omega$ .

**Список литературы:** 1. *Надутый В.П.* Определение динамических параметров грохота с виброударным возбуждением рассеивающей поверхности / *В.П. Надутый, Е.С. Лапишин, В.П. Краснопер* // Науковий вісник НГУ. – 1998. – № 3. – С. 73 – 75. 2. *Надутый В.П.* Особенности конструкции и обоснование расчетной схемы грохота с виброударным режимом возбуждения сита/ *В.П. Надутый, Е.С. Лапишин, В.П. Краснопер* // Динамика машин и механизмов: Междунар. конф. посвященная 75-летию со дня рождения академика М.В. Хвингия, 7-10 апреля 1999 г.: тезисы докл. – Тбилиси, 1999. – С. 72 – 73. 3. *Надутый В.П.* Математическое моделирование виброударного движения сита грохота / *В.П. Надутый, Е.С. Лапишин, И.П. Хмеленко* // Вібрації в техніці та технологіях – 2009. – Вип. 1 (53). – С. 36 – 39. 4. *Надутый В.П.* Анализ виброударного движения просеивающей поверхности грохота / *В.П. Надутый, Е.С. Лапишин, И.П. Хмеленко* // Вібрації в техніці та технологіях – 2009. – Вип. 2 (54). – С. 69 – 72. 5. Пат. 2424067 Российская Федерация, МПК В07В1/40, В07В1/54. Двухмассный виброударный грохот / *Сизиков С.А., Сизиков В.С., Скрипчиков А.П., Вяткин Г.В.*; заявитель и патентообладатель ЗАО Научн.-исслед. и проект.-конструкт. бюро «Стройтехника». – № 2010111988/03; заявл. 29.03.10; опубл. 20.07.11, Бюл. № 20. 6. Пат. 2478445, Российская Федерация, МПК В07В1/40, В07В1/46. Многочастотная ситовая сборка для кругового вибрационного сепаратора / *Круш И., Ободан Ю.*; заявитель и патентообладатель Круш Текнолоджиз ЛТД. – № 2011137201/03; заявл. 09.09.11; опубл. 10.04.13., Бюл. № 10. 7. *Надутый В.П.* Синтез параметров валковых вибрационных классификаторов: монография / *В.П. Надутый, В.А. Остапенко, В.Ф. Ягнюков.* – К. : Наук. думка, 2006. – 188 с. 8. *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. 9. *Белов А.М.* Уравнение правильных

многоугольников в полярных координатах / Белов А.М. // Информационный сайт А.М. Белова. – Режим доступа: <http://stob2.narod.ru/27s.htm>. **10.** Надутый В.П. О некоторых особенностях движения рабочих органов валкового виброударного классификатора / В.П. Надутый, В.Ф. Ягнюков, И.В. Ягнюкова // Геотехнічна механіка. – 2014. – Вип. 115. – С. 102 – 108. **11.** Мельников Г.И. Теоретическая механика [Электронный ресурс]: электронный учебник по дисциплине: "Теоретическая механика" / Г.И. Мельников, А.Г. Кривошеев. – С.-Пб.: Центр ДО СПбГУ ИТМО. – Режим доступа к журн.: [http://de.ifmo.ru/bk\\_netra/page.php?dir=4&tutindex=29&index=31&layer=2](http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?dir=4&tutindex=29&index=31&layer=2).

**Referens:** **1.** Nadutyj V.P. Opredelenie dinamicheskikh parametrov grohota s vibroudarnym vozbuзhdeniem rasseivajushhej poverhnosti / V.P. Nadutyj, E.S. Lapshin, V.P. Krasnoper // Naukovyy visnyk NHU. – 1998. – № 3. – S. 73 – 75. **2.** Nadutyj V.P. Osobennosti konstrukcii i obosnovanie raschetnoj shemy grohota s vibroudarnym rezhimom vozbuзhdenija sita / V.P. Nadutyj, E.S. Lapshin, V.P. Krasnoper // Dinamika mashin i mehanizmov: mezhdunar. konf. posvjashhennaja 75-letiju so dnja rozhdenija akademika M.V. Hvingija, 7-10 apr. 1999 g.: tezisy dokl. – Tbilisi, 1999. – S. 72 – 73. **3.** Nadutyj V.P. Matematicheskoe modelirovanie vibroudarnogo dvizhenija sita grohota / V.P. Nadutyj, E.S. Lapshin, I.P. Hmelenko // Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh – 2009. – № 1 (53). – S. 36 – 39. **4.** Nadutyj V.P. Analiz vibroudarnogo dvizhenija proseivajushhej poverhnosti grohota / V.P. Nadutyj, E.S. Lapshin, I.P. Hmelenko // Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh – 2009. – № 2 (54). – S. 69 – 72. **5.** Pat. 2424067 Rossijskaja Federacija, MPK B07B1/40, B07B1/54. Dvuhmassnyj vibroudarnyj grohot / Sizikov S.A., Sizikov V.S., Skripilov A.P., Vjatin G.V.; zajavitel' i patentoobladatel' ZAO Nauchn.-issled. i proekt.-konstrukt. bjuro «Strojtehnika». – № 2010111988/03; zajavl. 29.03.10; opubl. 20.07.11, Bjul. № 20. **6.** Pat. 2478445, Rossijskaja Federacija, MPK B07B1/40, B07B1/46. Mnogochastotnaja sitovaja sborka dlja krugovogo vibracionnogo separatora / Krush I., Obodan Ju.; zajavitel' i patentoobladatel' Krush Teknologhiz LTD. – № 2011137201/03; zajavl. 09.09.11; opubl. 10.04.13., Bjul. № 10. **7.** Nadutyj V.P. Sintez parametrov valkovykh vibracionnykh klassifikatorov: monografija / V.P. Nadutyj, V.A. Ostapenko, V.F. Jagnjukov – Kiev: Nauk. dumka, 2006. – 188 s. **8.** Nadutyj V.P. Modernizacija vibracionnogo valkovogo klassifikatora na osnove ispol'zovanija vibroudarnogo rezhima / V.P. Nadutyj, A.I. Egunov, I.V. Jagnjukova // Visnyk NTU «KhPI». – 2013. – № 57 (1030) – (Seriya: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ekolohiya). – S. 89 – 96. **9.** Belov A.M. Uravnenie pravil'nyh mnogougol'nikov v poljarnykh koordinatah / Belov A.M. // Informacionnyj sajt A.M. Belova. – Rezhim dostupa: <http://stob2.narod.ru/27s.htm>. **10.** Nadutyj V.P. O nekotorykh osobennostjakh dvizhenija rabochih organov valkovogo vibroudarnogo klassifikatora / V.P. Nadutyj, V.F. Jagnjukov, I.V. Jagnjukova // Geotekhnichna mehanika. – 2014. – № 15. – S. 102 – 108. **11.** Mel'nikov G.I. Teoreticheskaja mehanika [Jelektronnyj resurs]: jelektronnyj uchebnik po discipline: "Teoreticheskaja mehanika" / G.I. Mel'nikov, A.G. Krivosheev. – St.-Peterburg: Centr DO SPbGU ITMO. – Rezhim dostupa k zhurn.: [http://de.ifmo.ru/bk\\_netra/page.php?dir=4&tutindex=29&index=31&layer=2](http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?dir=4&tutindex=29&index=31&layer=2).

*Поступила в редколлегию (Received by the editorial board) 11.07.14*

УДК 622.74.913.1

**Анализ зависимости виброускорений рабочих органов от последовательности разнонаправленных механических импульсов / В.П. НАДУТЫЙ, В.Ф. ЯГНЮКОВ, И.В. ЯГНЮКОВА // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 52 (1094). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 60 – 71. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-0821.**

Мета даної роботи полягає в описі та аналізі траєкторії переміщення центру мас нелінійного

маятника з параметричним збудженням для реалізації різноспрямованих віброударних імпульсів. Досліджено нормальне, радіальне і трансверсальне прискорення для центру мас нелінійного маятника. Визначено залежності прискорень від вхідної частоти коливань віброзбуджувача, амплітуди вихідних кругових коливань, кількості граней застосовуваних багатокутників і зазору між ними.

**Ключові слова:** віброударні імпульси, нормальне прискорення, радіальне прискорення, трансверсальне прискорення, повне прискорення, нелінійний маятник.

UDC 622.74.913.1

**The analysis of dependence of executive tools' vibroaccelerations from multidirectional mechanical pulse sequence / V. P. NADUTYY, V. F. IAGNIUKOV, I. V. IAGNIUKOVA // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 52 (1094). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 60 – 71. – Bibliogr.: 11 names. – ISSN 2079-0821.**

The research on the application of vibroimpact pulses have been widely studied in recent years because of the fact that such pulses are able to improve the screening performance. There is a new mechanical model of the nonlinear pendulum with parametric excitation is proposed in this paper for the implementation of directed vibroimpact pulses in the plane or space on the screening surface of the screen. The main objective of the study is to describe and analyze the trajectory of the center of mass of the pendulum. Normal, radial and transversal accelerations of the mass center of the nonlinear pendulum are studied; in particular the parameters often used in practice are applied in calculations. The dependencies of the acceleration on the input frequency oscillation exciter, the initial amplitude of circular oscillations, number of polygons' faces used in and the gap between them are defined.

**Keywords:** vibro-impact pulses, normal acceleration, radial acceleration, transversal acceleration, full acceleration, nonlinear pendulum.

УДК 621.926.5:539.215

**Ю.В. НАУМЕНКО**, д-р техн. наук, доц., НУВГП, Рівне

## **КОНЦЕПЦІЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ТОНКОГО ПОДРІБНЕННЯ В БАРАБАННИХ МЛИНАХ**

Розглянуто механізм взаємодії робочих органів барабанних млинів із частинками подрібнюваного матеріалу. Виявлено резерви підвищення ефективності роботи млинів за рахунок організації раціональних режимів руху завантаження при реалізації принципу енергетичної селективності подрібнення. Створено нові робочі процеси багатостадійного подрібнення в барабанних млинах.

**Ключові слова:** барабанні млини, режими роботи, внутрішньокамерне завантаження, енергетична селективність подрібнення, багатостадійність помелу.

**Найрозповсюдженішим методом диспергування є механічне подрібнення. Більша частина витрат енергії припадає на тонке подрібнення.**

© Ю.В. Науменко, 2014