



Надутый В. П.  
Перехрест В. И.  
Ягнюкова И. В.

*Институт  
геотехнической  
механики  
им. Н.С. Полякова  
НАН Украины*

Nadutyu V. P.  
Perekhrest V. I.  
Iagnyukova I. V.

*M.S. Polyakov Institute of  
Geotechnical Mechanics  
under the NAS of Ukraine*

УДК 622.74.913.1

## ГЕОМЕТРИЯ И КИНЕМАТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «ВАЛОК – ОСЬ ВАЛКА» С УДАРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В данной статье рассматривается конструкция валкового виброударного классификатора. В частности, в работе выделена идеализированная система «валок – ось валка» с ударными элементами, которые позволяют получить дополнительное воздействие на частицы трудногροхотимого материала. Цель этих исследований состоит в определении конструктивных параметров классификатора, влияющих на устойчивый режим классификации, и в получении зависимостей геометрических параметров. Существенный интерес представляет поиск зависимости зазора между осью валка и самим валком от их радиусов. В ходе исследования были получены расчетные формулы для зазора между валком и осью валка, когда ось валка содержит в себе четыре, шесть и восемь ударных элементов. Полученные результаты могут быть использованы для расчета необходимых геометрических параметров рабочих органов в процессе создания конструкции валкового виброударного классификатора.

**Ключевые слова:** валковый виброударный классификатор, зазор, ударные элементы, геометрические параметры, трудногροхотимое минеральное сырье, кинематика обкатывания, вложенные кольца.

В данной статье рассматривается валковый виброударный классификатор, валки которого не снабжены специальными приводами. Общий вид исследуемого классификатора показан на рис. 1.

Физико-механические свойства

трудногροхотимого минерального сырья содействуют появлению сложных по своей природе и значительных по своей величине сил вязкоупругого взаимодействия между частицами сырья и рабочими органами классифицирующих машин.

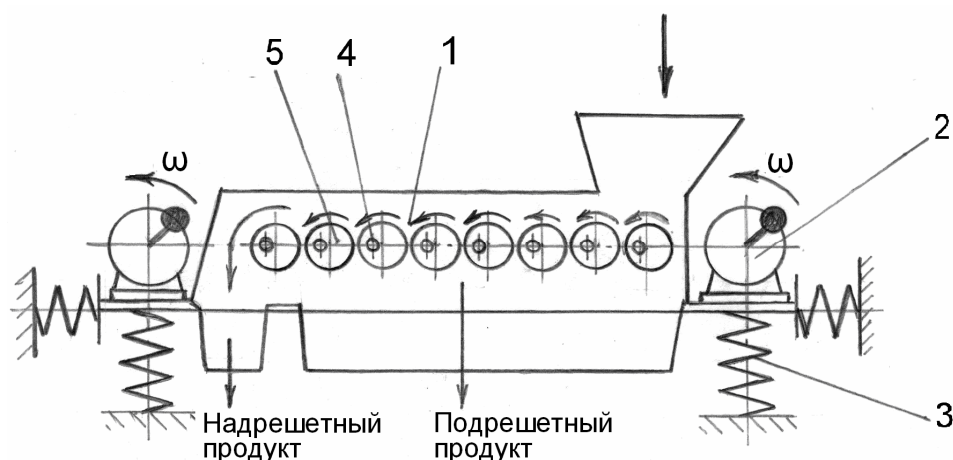


Рис. 1. Схема валкового виброударного классификатора:  
1 – жесткая рама; 2 – инерционный вибровозбудитель; 3 – упругие связи;  
4 – эксцентриситет валков; 5 – рабочие валки



Для эффективной классификации труднопроходимых сыпучих материалов необходимо создать такие действующие силы, которые действуют со стороны элементов просеивающей поверхности на частицы сыпучего материала, и которые бы превышали силы сцепления между частицами исходного минерального сырья. По нашему мнению, введение ударных элементов внутри механической системы «валок – ось валка» способно обеспечить возникновение сил, достаточных для разрушения вязкоупругих связей между частицами труднопроходимого сырья, тем самым увеличить эффективность его классификации.

Создание новой конструкции естественно сопровождается решением комплексной задачи о целесообразности создания машины в целом, эффективности работы, теоретического и экспериментального подтверждения положительного результата выполнения требуемой работы данной конструкции. В состав этой комплексной задачи обязательно включается анализ зависимости эффективности и продуктивности работы конструкции от конструктивных параметров, в частности от геометрических параметров, внутри механической системы.

В данной работе ставится задача определения зависимости зазора между валком и осью валка от внешнего радиуса оси валка и радиуса валка для эффективной работы данной конструкции. Также в процессе исследования необходимо выявить необходимое соответствие радиусов оси валка и самого валка для подбора рациональных параметров в дальнейшем.

Также следует отметить, что в этой статье рассматривается лишь математическое описание средствами геометрии движения идеализированной системы «валок – ось валка» с ударными элементами без рассмотрения причин движения. Условно принимается, что обкатывание внешнего валка по оси валка уже выполняется. Кинематика этой системы предсказывает необходимость существования центростремительного ускорения без уточнения, какую природу имеет сила, его порождающая. Причины возникновения механического движения, то есть динамика такого движения, выявлены в предыдущих работах [1-4] и будут описаны в дальнейших исследованиях.

Итак, для наглядности, на рис. 2 представлена схема поперечного сечения одной из многочисленных систем «валок – ось валка» с ударными элементами, установленных в качестве просеивающей

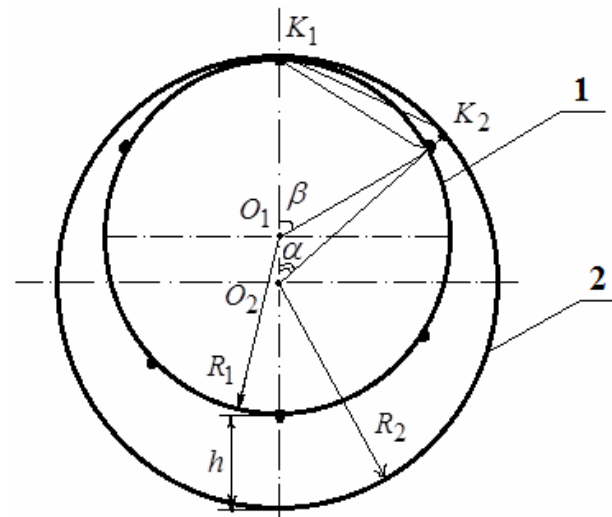
поверхности на валковом вибрационном классификаторе. Показаны основные геометрические параметры валкового виброударного классификатора, участвующие в выборе, которые влияют на устойчивость процесса обкатывания валка по оси валка с ударными элементами.

Для того, чтобы оценить зазор между осью валка и валком, необходимо выполнить следующие вычисления. Пусть  $\beta$  – текущий угол точек на оси валка, а  $\alpha$  – угол точек на валке; оба угла отсчитываются от вертикали.

Если  $n$  – количество ударных элементов на оси валка, тогда

$$\Delta\beta = \frac{2\pi}{n}, \quad (1)$$

что является углом-сектором между ударными элементами (рис. 2).



**Рис. 2. Схема системы «валок – ось валка» с ударными элементами:  
1 – ось валка; 2 – валок**

Предполагая, что точка контакта валка и оси валка  $K_1$  в данный момент времени совпадает с точкой ударного элемента на оси валка, вычисляем длины соответствующих дуг. Длина дуги от точки контакта  $K_1$  к следующему ударному элементу на оси:

$$\cap S_1 = \frac{2\pi}{n} \cdot R_1, \quad (2)$$

а длина дуги от точки контакта  $K_1$  к условно определенной точке  $K_2$  на валке:

$$\cap S_2 = \Delta\alpha \cdot R_2. \quad (3)$$



Хорда  $K_1K_2$ , опираючись на дугу  $\cap S_2$ , равняется хорде, которая опирается на дугу  $\cap S_1$ :

$$\cap S_1 = \cap S_2.$$

Поэтому,

$$\frac{2\pi}{n} \cdot R_1 = \Delta\alpha \cdot R_2. \quad (4)$$

Из последнего равенства выразим  $\Delta\alpha$ :

$$\Delta\alpha = \frac{2\pi}{n} \cdot \frac{R_1}{R_2}. \quad (5)$$

Введем некоторые параметры и выразим  $\Delta\alpha$  иным образом. Итак, если  $m$  – целое число; количество полных оборотов валка вокруг своего геометрического центра, необходимых для того, чтобы обозначенная точка валка возвратилась в исходное положение;  $n^*$  – целое число; количество дуг  $\cap S_2$ , которые можно вписать в валок непрерывно и без остатка, таким образом, что

$$\Delta\alpha = m \cdot \frac{2\pi}{n^*}, \quad (6)$$

причем,

$$n^* > n, \quad (7)$$

$$n^* = n + n_1, \quad (8)$$

$$\frac{n^*}{n} = \frac{n + n_1}{n} = 1 + \frac{n_1}{n}. \quad (9)$$

Теперь приравняем два выражения для  $\Delta\alpha$ :

$$\Delta\alpha = \frac{2\pi}{n} \cdot \frac{R_1}{R_2} = m \cdot \frac{2\pi}{n^*}, \quad (10)$$

и выразим  $R_1$ , пользуясь предыдущими преобразованиями введенных параметров:

$$R_1 = mR_2 \cdot \frac{n}{n^*} = mR_2 \cdot \frac{1}{1 + \frac{n_1}{n}}. \quad (11)$$

То есть, конечная формула для  $R_1$  в выражении через  $R_2$  выглядит следующим образом:

$$R_1 = mR_2 \cdot \frac{1}{1 + \frac{n_1}{n}}. \quad (12)$$

Теперь, пользуясь полученной формулой (12), сможем определить зазор между валком и осью валка в зависимости от их радиусов  $R_1$  и  $R_2$ , а также от их конструктивных параметров  $m$ ,  $n$  и  $n_1$ :

$$h = 2R_2 - 2R_1 = 2R_2 \cdot \left( 1 - \frac{m}{1 + \frac{n_1}{n}} \right). \quad (13)$$

Пусть  $m = 1$ , тогда:

$$h = 2R_2 - 2R_1 = 2R_2 \cdot \left( \frac{\frac{n_1}{n}}{1 + \frac{n_1}{n}} \right). \quad (14)$$

Таким образом, получена общая формула для зазора  $h$  (при  $m = 1$ ):

$$h(n) = 2R_2 \cdot \left( \frac{\frac{n_1}{n}}{1 + \frac{n_1}{n}} \right). \quad (15)$$

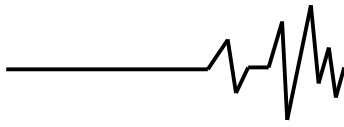
Если же нас интересует зависимость зазора  $h$  от величины радиуса оси валка  $R_1$ , то такое выражение нетрудно получить благодаря прямой зависимости  $R_1$  от  $R_2$  из формулы (12):

$$h(n) = \frac{2R_1 \cdot n_1}{n}. \quad (16)$$

Пусть  $n_1 = 1$ , тогда:

$$h(4) = 2R_2 \cdot \left( \frac{\frac{1}{4}}{1 + \frac{1}{4}} \right) = \frac{2}{5} R_2, \quad (17)$$

$$h(6) = 2R_2 \cdot \left( \frac{\frac{1}{6}}{1 + \frac{1}{6}} \right) = \frac{2}{7} R_2, \quad (18)$$



$$h(8) = 2R_2 \cdot \left( \frac{\frac{1}{8}}{1 + \frac{1}{8}} \right) = \frac{2}{9} R_2 \text{ и т.д.} \quad (19)$$

Также отметим, что при  $n \rightarrow \infty$  ось валка будет приближаться к гладкому кругу, то есть к модели, описанной в [3].

Из анализа кинематики движения рабочих органов валкового вибрационного классификатора [4] стало ясно, что угловое ускорение вращательного движения валка не зависит от его массы и от амплитуды кругового движения оси валка, а зависит только от отношений их радиусов.

Кинематика движения вложенных колец [4], по сути, отображает динамику ротационного режима маятника с подвижной точкой подвеса [5] или точнее маятника с параметрическим возбуждением [6].

**Выводы.** Выведена зависимость радиусов валка и оси валка в формуле (12) и зазора между ними от радиуса валка в формуле (15) и радиуса оси валка в формуле (16). Для примера расчета вычислен необходимый зазор для системы с четырьмя, шестью и восемью ударными элементами в формулах (17)-(19), соответственно.

Суммируя итоги данного исследования и [4], можно сказать, что геометрические параметры внутри рассмотренной системы существенно влияют на эффективность работы валкового вибрационного классификатора.

Практическая значимость рассмотренного способа получения одновременного колебательного, вращательного и ударного движения с помощью механизма вложенных колец и ударных элементов, установленных на внутреннем кольце, состоит в простоте его реализации и оказывает содействие снижению материалоемкости горных машин.

#### Список использованных источников

1. 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.

2. Надутый, В.П. Условия периодичности виброударного режима валкового вибрационного классификатора с ударными элементами / В.П. Надутый, В.Ф. Ягнюков, И.В. Ягнюкова // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т

геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 116.

3. 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.

4. 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, 2008. – Вып. 78. – С. 261–264.

5. Капица, П.Л. Динамическая устойчивость маятника при колеблющейся точке подвеса / Журнал эксперим. и теор. физики. – Т. 21, Вып. 5. – 1951.

6. Caughey, T.K. Hula-Hoop: An Example of Heteroparametric Excitation // American Journal of Physics, Vol. 28, Issue 2, 1960, pp. 104–109.

#### Список источников в транслитерации

1. Naduty V.P. Modernizatsiya vibratsionnogo valkovogo klassifikatora na osnove ispolzovaniya vibroudarnogo rejima / V.P. Naduty, A.I. Yegurnov, I.V. Iagnyukova // Visnyk NTU «HPІ». – 2013. – №57 (1030) – (Seriya: Himiya, himichna tehnologiya ta ekologiya). – pp. 89–96.

2. Naduty V.P. Usloviya periodichnosti vibroudarnogo rejima valkovogo vibratsionnogo klassifikatora s udarymi elementami / V.P. Naduty, V.F. Iagnyukov, I.V. Iagnyukova // Geotechnical Mechanics: Mijvid. zb. nauk. pr. IGTM NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk. – № 116. – 2014.

3. Naduty V.P. Sintez parametrov valkovykh klassifikatorov vibratsionnogo tipa: Monography / V.P. Naduty, V.A. Ostapenko, V.F. Iagnyukov. – Kyiv: Nauk. dumka, 2006. – 188 p.

4. Iagnyukov V.F. Analiz kinematiki dvijeniya rabochih organov valkovogo klassifikatora vibratsionnogo tipa / V.F. Iagnyukov // Geotechnical Mechanics: Mijvid. zb. nauk. pr. IGTM NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk. – № 78. – 2008. – pp. 261–264.

5. Kapitsa P.L. Dinamicheskaya ustoychivost mayatnika pri kolyebliushchey toчке podvesa // Jurnal eksper. i teor. fiziki. – Vol. 21, № 5. – 1951.

6. Caughey T.K. Hula-Hoop: An Example of Heteroparametric Excitation // American Journal of Physics. – Volume 28, Issue 2. – 1960. – pp. 104–109.

**ГЕОМЕТРИЯ І КІНЕМАТИКА ВЗАЄМОДІЇ В  
СИСТЕМІ «ВАЛОК – ВІСЬ ВАЛКА» З  
УДАРНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ****THE GEOMETRY AND KINEMATICS OF THE  
INTERACTION IN THE SYSTEM “ROLLER –  
ROLLER SHAFT” WITH THE IMPACTORS**

**Анотація.** В даній статті розглядається конструкція валкового віброударного класифікатора. Зокрема, в роботі виділена ідеалізована система «валок - вісь валка» з ударними елементами, які дозволяють отримати додатковий вплив на частинки важкогροхотимого матеріалу. Мета цих досліджень полягає у визначенні конструктивних параметрів класифікатора, що впливають на стійкий режим класифікації, і в отриманні залежностей геометричних параметрів. Істотний інтерес представляє пошук залежності зазору між віссю валка і самим валком від їх радіусів. У ході дослідження були отримані розрахункові формули для зазору між валком і віссю валка, коли вісь валка містить в собі чотири, шість та вісім ударних елементів. Отримані результати можуть бути використані для розрахунку необхідних геометричних параметрів робочих органів у процесі створення конструкції валкового віброударного класифікатора.

**Ключові слова:** валковий віброударний класифікатор, зазор, ударні елементи, геометричні параметри, важкогροхотима мінеральна сировина, кінематика обкатування, вкладені кільця.

**Annotation.** This article examines the design of the roller vibro-impact classifier. In particular, there is an idealized system "roller - roller shaft" with the impactors has been highlighted, which allows to get an additional affection on the particles of hard-to-sieve material. The purpose of these studies is to determine the design parameters of the classifier, which are able to influence on the stable and effective classification process, and to obtain dependencies of the geometrical parameters. There is a considerable interest in finding the gap between the roller shaft and the roller by itself depending on their radii. During the study there were formulas for the gap between the roller and the roller shaft obtained including the cases when the roller shaft contains four, six and eight impactors. The results of the research can be used for computation of the required geometrical parameters of executive tools during the process of design creating of the roller vibro-impact classifier.

**Key words:** roller vibro-impact classifier, gap, impactors, geometrical parameters, hard-to-sieve minerals, burnishing kinematics, nested rings.