

3. Москалев А.Н., Пигида Е.Ю., Керекилица Л.Г., Вахалин Ю.Н. Разрушение горных пород при термоциклическом воздействии. – К.: Наук. думка, 1987. – 248 с.

4. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Смуров Н.Ю. – Расчет нелинейных задач лазерного нагрева металлов – воздействие концентрированных потоков энергии на материалы. – М.: Наука, 1985 – С.20-36.

5. Структура и прочность материалов при лазерных воздействиях / М.С. Бахарев, Л.И. Миркин, С.А. Шестериков и др. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 224 с.

© Ганкевич В.Ф., Курнат Н.Л., Ливак О.В., 2018

*Надійшла до редколегій 20.04.2018 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П. Надутим*

УДК 622.73

А.С. ДРЕШПАК

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ Национальный технический университет "Днепропетровская политехника")

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ФИГУРНЫХ ДИСКОВ ВАЛКОВО-ПАЛЬЦЕВОГО ГРОХОТА

В Украине разрабатывается большое количество карбонатных месторождений. Высококачественные флюсовые известняки для металлургии традиционно разрабатывались и расположены во временно недоступных регионах материковой Украины и Крымском полуострове. Остальные карбонатные месторождения, находящиеся на территории Украины, имеют низкие физико-механические свойства и химический состав. Такая структура месторождений при проведении традиционных горно-добычных работ и технологических производственных линий обуславливает накопление некондиционных продуктов переработки с крупностью 0-20 мм в отвалы предприятий. За десятилетия работы таких предприятий накоплено в отвалы более 50 млн т. Из таких отвалов возможно выделять несколько классов крупности, пригодных для дальнейшего использования в металлургической и цементной промышленности.

Валковые грохоты часто используются при просеивании частиц горной массы с высокой влажностью или высоким содержанием липких или глинистых частиц [1-3]. В литературе слабо отражены методы выбора ячеек грохота, а также расчеты возможности их самоочистки. Для решения задачи по разделению известняка с глинистыми примазками предлагается использование валково-пальцевого грохота, общий вид которого приведен на рис. 1.

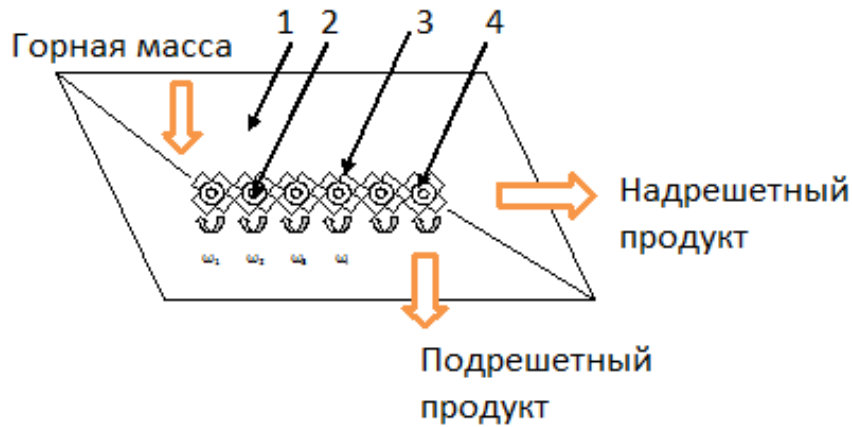


Рис. 1. Схематическое изображение валково-пальцевого грохота

Грохот состоит из короба 1, в котором горизонтально расположены стальные валки 2. На них закреплены фигурные элементы (пальцы или звездочки) из полиуретана 3, между ними расположены полиуретановые цилиндрические элементы футеровки валков меньшего диаметра 4.

Фигурные элементы одного валка размещены напротив цилиндрических элементов соседнего валка меньшего диаметра. Валки вращаются в одном направлении, а вращение направлено в сторону разгрузки грохота, при этом соблюдается условие:

$$\omega_1 \geq \omega_2 \geq \dots \geq \omega_i, \quad (1)$$

где $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i$ – угловые скорости валков, начиная с первого, который принимает горную массу.

Рис. 2 иллюстрирует минимальный объем при просеивании валково-пальцевого грохота, который показан в первом критическом положении (в момент перехода единичного зерна материала из потока в пространство просеивания). Все необходимые размеры указаны на рис.1.2. Определим условия и объем зоны для просеивания единичного зерна.

Для упрощения расчета примем, что фигурный элемент состоит из 4 «пальцев» высотой z , равный размеру ячейки. «Пальцы» расположены под прямым углом один к одному, а элементы футеровки имеют радиус R . Торцы «пальцев» квадратные с размером $z^2/4$, а зазоры $z/4$, образующиеся с обеих боков фигурного элемента необходим для просеивания мелких частиц материала, а ширина элемента футеровки составит z . Просеивающее отверстие сита равно z^2 .

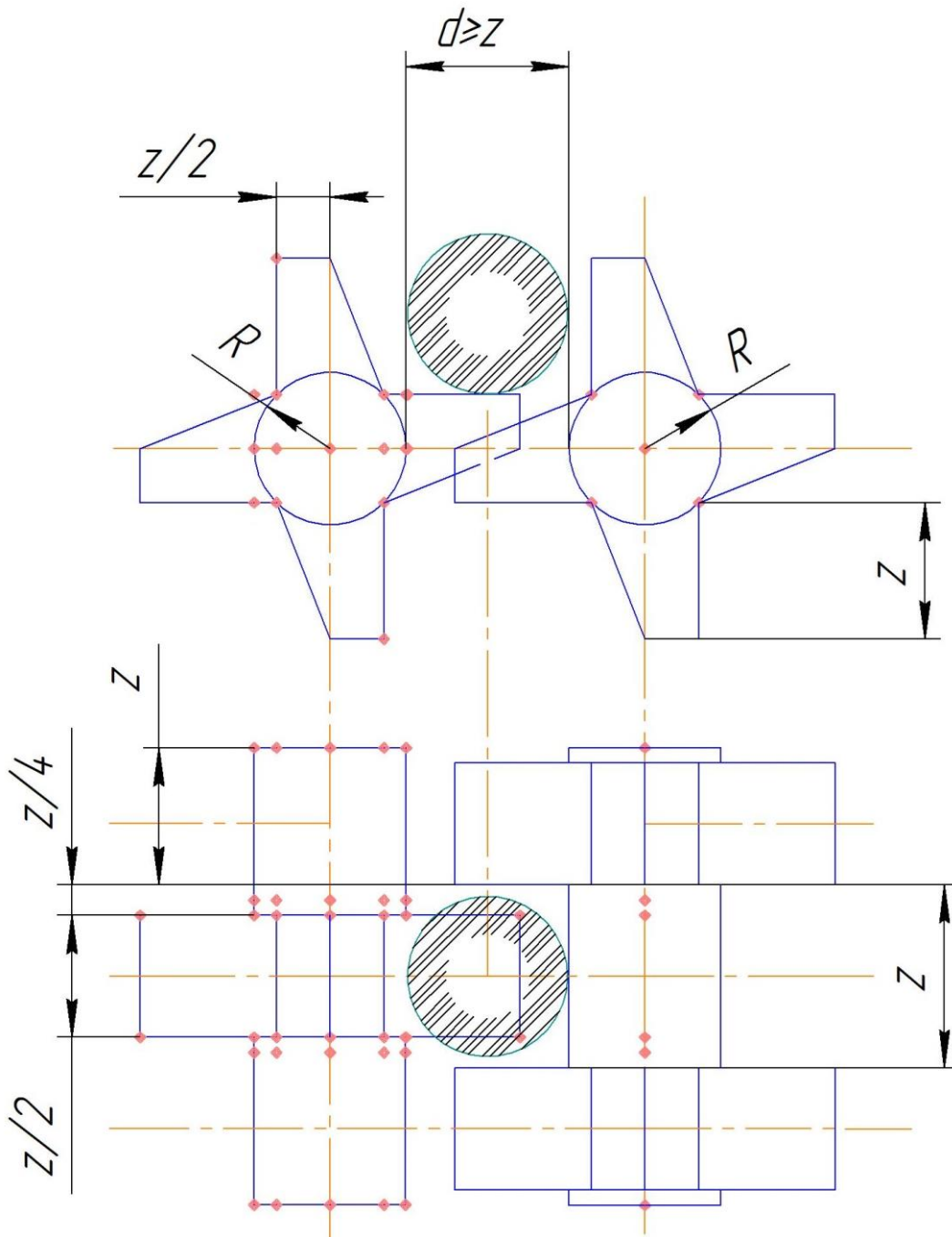


Рис. 2. Расположение единичного зерна при просеивании в положении 1

Начальное положение валков, показанное на рис. 3 показывает, что пространство между валками в положении 1 подходит для первоначального выделения единичного зерна материала из потока в зону просеивания. Максимальный объем при положении можно представить в виде параллелепипеда, из которого убраны элементы «пальца» и части футеровочного валков.

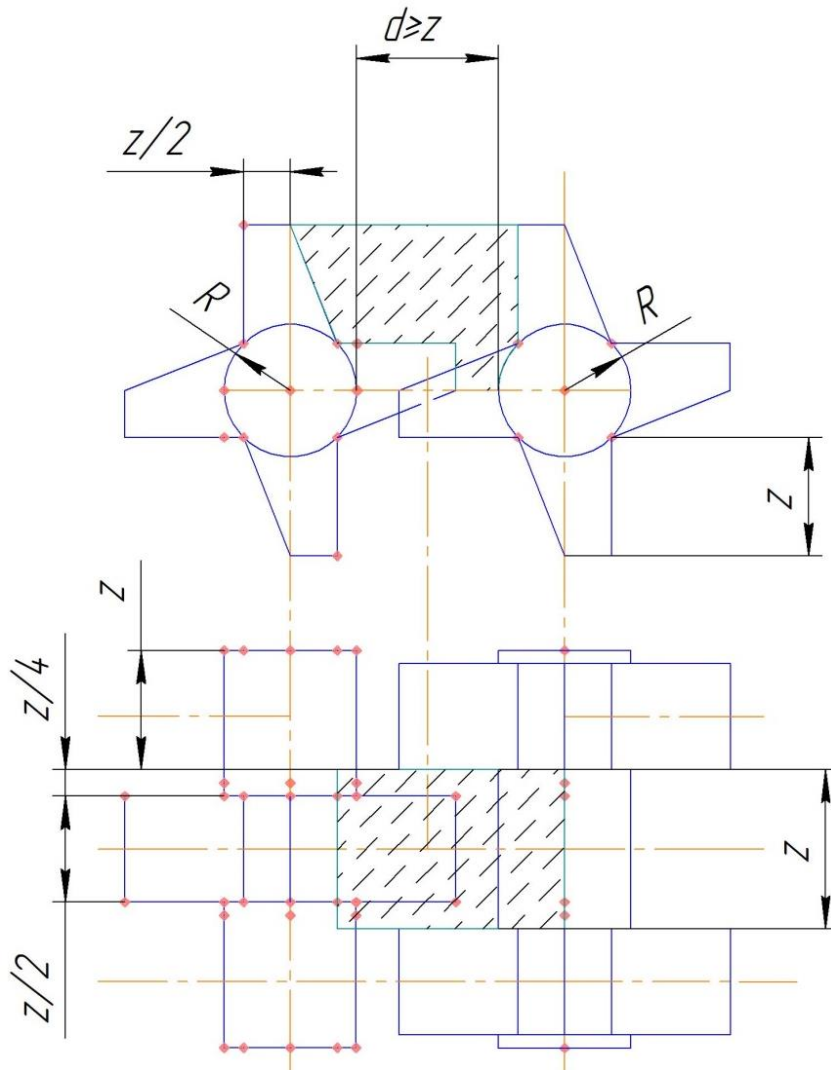


Рис. 3. Объем зоны просеивания в положении 1

Общий объем параллелепипеда можно записать:

$$V_{\text{общ}} = z(2R + z)(R + z) = (2R + z)(z^2 + Rz). \quad (2)$$

А зоны замещения «пальца» V_1 и футеровального валка V_2 , учитывая, что основание скошенной части «пальца» равно $(R/\sqrt{2})$, соответственно равны:

$$V_1 = \left(\frac{z}{2}\right)^2 (R + z) + \frac{1}{2} \left(\frac{zR}{\sqrt{2}}\right), \quad (3)$$

$$V_2 = 6(\pi R^2/4)(z/4) = 6\pi R^2 z/16 = 3\pi R^2 z/8. \quad (4)$$

А искомый объем пространства между валками в положении 1 будет равен:

Підготовчі процеси збагачення

$$V_{иск1} = V_{общ} - V_1 - V_2 = (2R + z)(z^2 + Rz) - \left[\left(\frac{z}{2}\right)^2 (R + z) + \frac{1}{2} \left(\frac{zR}{\sqrt{2}}\right) \right] - \left[\frac{3\pi R^2 z}{8} \right]. \quad (5)$$

Второе критическое положение валков изображено на рис. 4 и соответствует обороту соседних валков на угол 45° и перемещению единичного зерна материала к ячейке просеивающей поверхности грохота. Если у зерна материала размеры значительно больше $d_{омт}$, то один или оба фигурных элемента соседних валков вытесняют его из зоны просеивающей поверхности в надрешетное пространство.

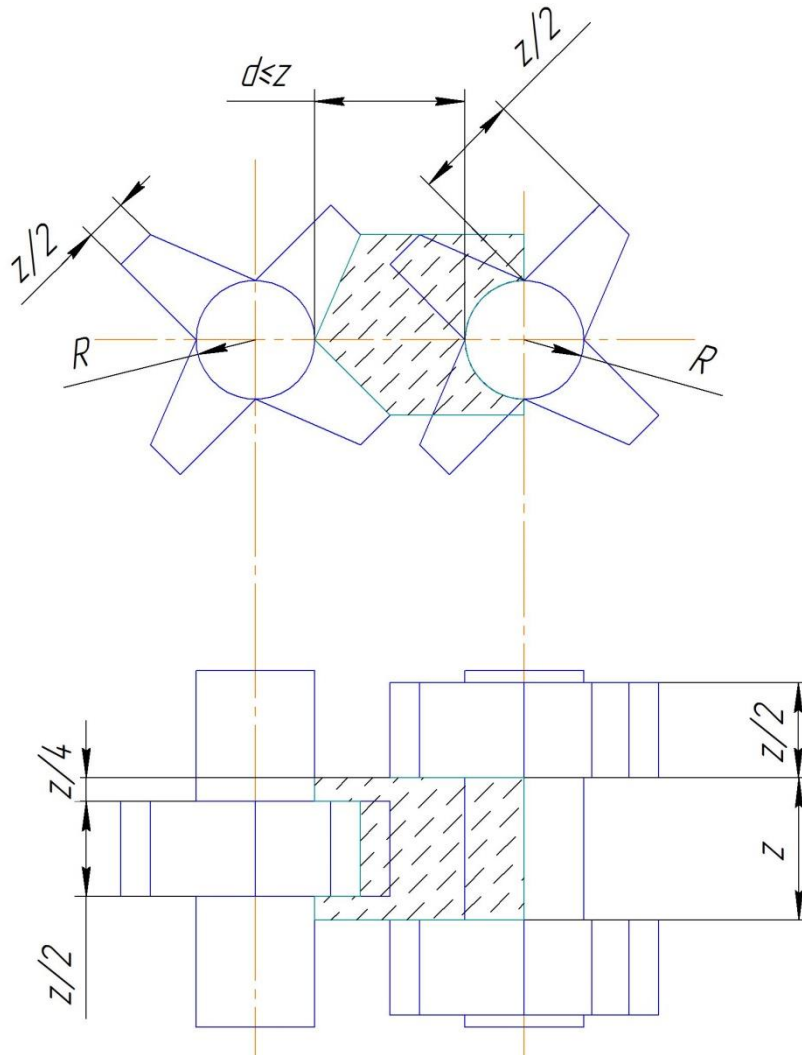


Рис. 4. Расположение единичного зерна при просеивании в положении 2

Определение свободного объема во втором положении осложнено тем, что верхняя и нижняя части относительно просеивающей поверхности части пространства не равны между собой. Поэтому для нахождения объема разобьем заданную зону на четыре части, показанные на рис. 5. Для расчета общего объема пространства для прохождения единичного зерна материала сначала найдем объем зоны между «пальцами» валка, который состоит из двух треугольников

(надрешетний V_1 и подрешетный V_2) разной площади. Прямоугольники, которые образуются вместе с ними, обозначим соответственно (надрешетный V_3 и подрешетный V_4) разной площади.

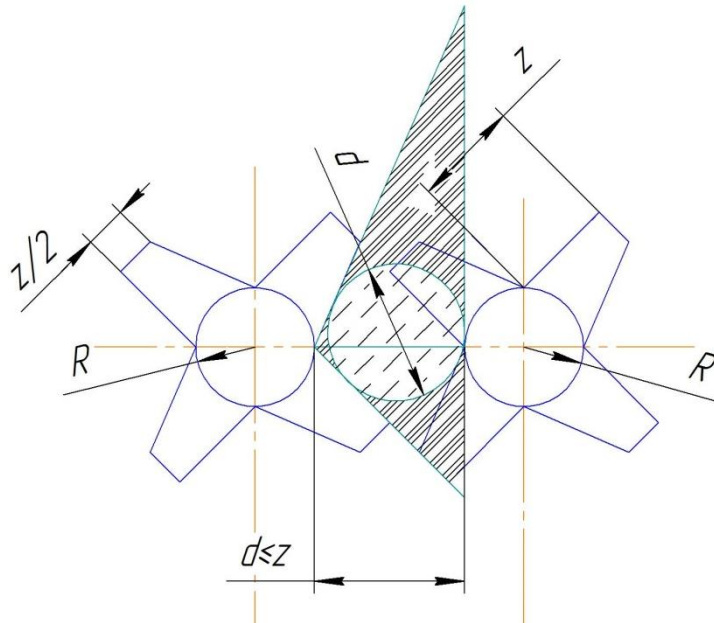


Рис. 5. Объем зоны просеивания в положении 2

Поскольку треугольник V_1 – это зеркальное отражение наклонной части «пальца», то его объем возьмем из (3).

$$V_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{zR}{\sqrt{2}} \right) z = \frac{Rz^2}{2\sqrt{2}}. \quad (6)$$

А остальную часть надрешетного пространства можно выразить как параллелепипед без футеровальной части вала. Высота его составит z , длина – $(R + z - R/\sqrt{2})$, ширина – z .

$$V_3 = z^2 \left(R + z - \frac{R}{\sqrt{2}} \right) - \frac{\pi R^2 z}{4}. \quad (7)$$

Треугольник подрешетного пространства имеет гипотенузу z , соответственно катеты будут равны $z/\sqrt{2}$.

$$V_2 = \frac{1}{2} z \left[\frac{z}{\sqrt{2}} \right]^2 = \frac{z^3}{4}. \quad (8)$$

А остальную часть подрешетного пространства также можно выразить как параллелепипед без футеровальной части вала. Высота его составит $z/\sqrt{2}$, дли-

Підготовчі процеси збагачення

на $-(R+z - z/\sqrt{2})$, ширина $-z$.

$$V_4 = z^2 \left(R + z - \frac{z}{\sqrt{2}} \right) - \frac{\pi R^2 z}{4}. \quad (9)$$

Общий объем составит:

$$V_{иск2} = \frac{Rz^2}{2\sqrt{2}} + \frac{z^3}{4} + z^2 \left[\left(R + z - \frac{R}{\sqrt{2}} \right) + \left(R + z - \frac{z}{\sqrt{2}} \right) \right] - \frac{\pi R^2 z}{2}. \quad (10)$$

Сравнивая объемы $V_{иск1}$ и $V_{иск2}$, можно прийти к выводу, что объем $V_{иск2}$ всегда будет меньше $V_{иск1}$. Значит, наиболее стесненные условия для просеивания частицы будут наблюдаться в положении 2. Рассмотрев оба объема, можно утверждать, что в положении 1 благодаря большому объему пространства, зерна материала (т.н. «затрудняющие» зерна) с размерами $1,0 \dots 1,25z$ будут попадать в пространство грохочения вместе с зернами размера меньше z . В положении 2 будет происходить сжатие объема и выдавливание этих зерен в надрешетный продукт.

Для расчета максимального диаметра зерна материала, способного пройти сквозь отверстие z^2 при решении данного случая с четырьмя «пальцами», следует рассмотреть площадь, которая образуется между двумя соседними пальцами и футеровальным валком в положении 2. Эта площадь есть треугольник, катеты которого образуются линиями, совпадающими со сторонами «пальцев» фигурного валка, а гипотенуза является касательной в точке фигурного валка и представлена на рис. 6.

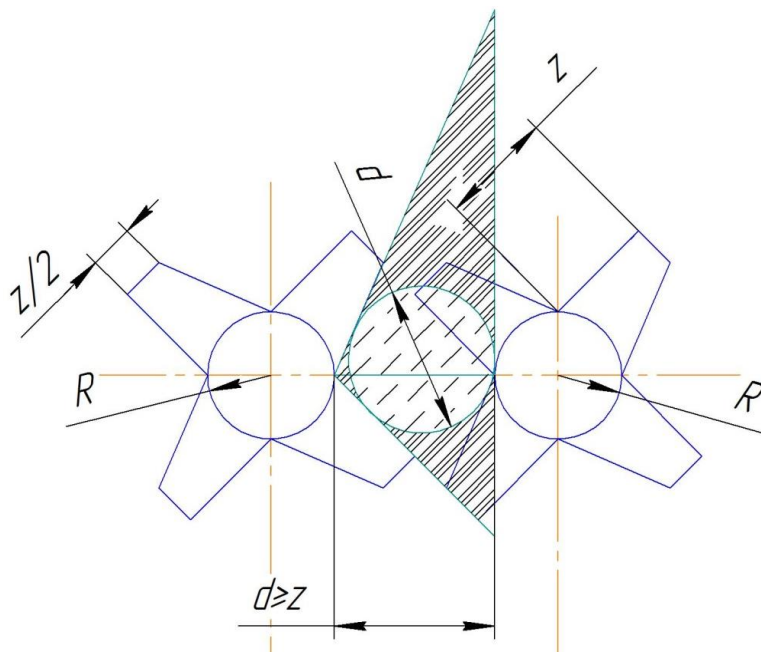


Рис. 6. Эквивалентный диаметр зерна, вписанный в треугольник в положении 2

Для нахождения эквивалентного диаметра зерна необходимо узнать стороны треугольника, в который вписан круг. Одна из высот равна z , соединяющей диаметры валков и образующая отверстие между валками, она же и разделяет этот треугольник на два меньших, но имеющих прямые углы.

Катеты треугольника подрешетного пространства будут равны z , а гипотенуза – $\sqrt{2}z$, так как треугольник имеет острые углы по 45° .

Для поиска сторон треугольника надрешетного пространства необходимо узнать угол между отверстием z и гипотенузой, простирающейся вдоль рабочей стороны срезанного «пальца» ($z + R/\sqrt{2}$). Соотношение этих сторон есть косинус угла:

$$\cos \alpha = \frac{z}{z + R/\sqrt{2}}. \quad (11)$$

Значит, гипотенуза φ и второй катет ψ искомого треугольника надрешетного пространства равны:

$$\varphi = \frac{z}{\cos \alpha} = \frac{z}{\cos\left(\frac{z}{z + R/\sqrt{2}}\right)}. \quad (12)$$

$$\psi = z \tan\left(\frac{z}{z + R/\sqrt{2}}\right). \quad (13)$$

Длина гипотенузы общего треугольника тогда можно выразить:

$$\sigma = z + z \tan\left(\frac{z}{z + R/\sqrt{2}}\right). \quad (14)$$

Найдя все стороны треугольника, можем найти радиус вписанной окружности, а значит и эквивалентного диаметра зерна, через площадь этого треугольника.

$$r = \frac{S}{p} = \frac{z(z + z \tan\left(\frac{z}{z + R/\sqrt{2}}\right))}{2z + \frac{z}{\cos\left(\frac{z}{z + R/\sqrt{2}}\right)} + z \tan\left(\frac{z}{z + R/\sqrt{2}}\right)}, \quad (15)$$

где S – площадь искомого треугольника; p – полупериметр искомого треугольника.

$$d = 2r = \frac{2z(z + z \tan(\frac{z}{z+R/\sqrt{2}}))}{2z + \frac{z}{\cos(\frac{z}{z+R/\sqrt{2}})} + z \tan(\frac{z}{z+R/\sqrt{2}})}. \quad (16)$$

Видно, что диаметр частицы d меньше размера просеивающего отверстия z , значит и ширины просеивающего отверстия z . Таким образом, можно утверждать, что при грохочении на валково-пальцевом грохоте следует учитывать то, что размер частиц при просеивании будет меньше отверстия, как видно из выражения (16).

Кроме определения необходимого диаметра частиц, необходимо доказать отсутствие забивания частицами пространства грохочения. Необходимость изучения кинематики частиц в валково-пальцевом грохоте обусловлена тем, что вследствие конструктивного исполнения дисков грохота возможен вариант зажатия частицы материала между футеровочным валком и пальцем грохота. Такой режим в процессе работы грохота не должен возникать, так как его появление приводит к прекращению вращательного движения валков и прерыванию режима грохочения. Определение условий возникновения такого режима важно, так как речь идет о работоспособности установки.

Определенное влияние на кинематику частиц в грохоте оказывает форма вращающихся дисков. Форма дисков, выполненных в виде эллипса, способствует исключению зажатия частиц, однако для полного исключения этого явления необходим дополнительный анализ сил, действующих на частицу, с учетом свойств материала, подлежащего грохочению.

Рис. 7 иллюстрирует общую картину расположения пальца 1 относительно футеровочного вала 2, а также частицы горной породы (известняка) 3, имеющей форму шара диаметром d . При верхнем расположении пальца 1 (на рисунке поз.1) между валками образуется отверстие размером d , позволяющее частице материала проникнуть в подрешетную область грохота. После поворота пальца (поз. 2) частица материала оказывается расположенной между пальцем 1 и футеровочным валом 2. Ясно, что движение частиц диаметром d в направлении отверстия исключено, так как размер отверстия уменьшался и стал меньшим значения d . Очевидно, что для исключения заклинивания частицы ее движение должно осуществляться в противоположном направлении (частица должна быть возвращена в надрешетную область). Определим условие, при котором это реализуется.

Рассмотрим силы, действующие на частицу горной породы, расположенную между валками грохота.

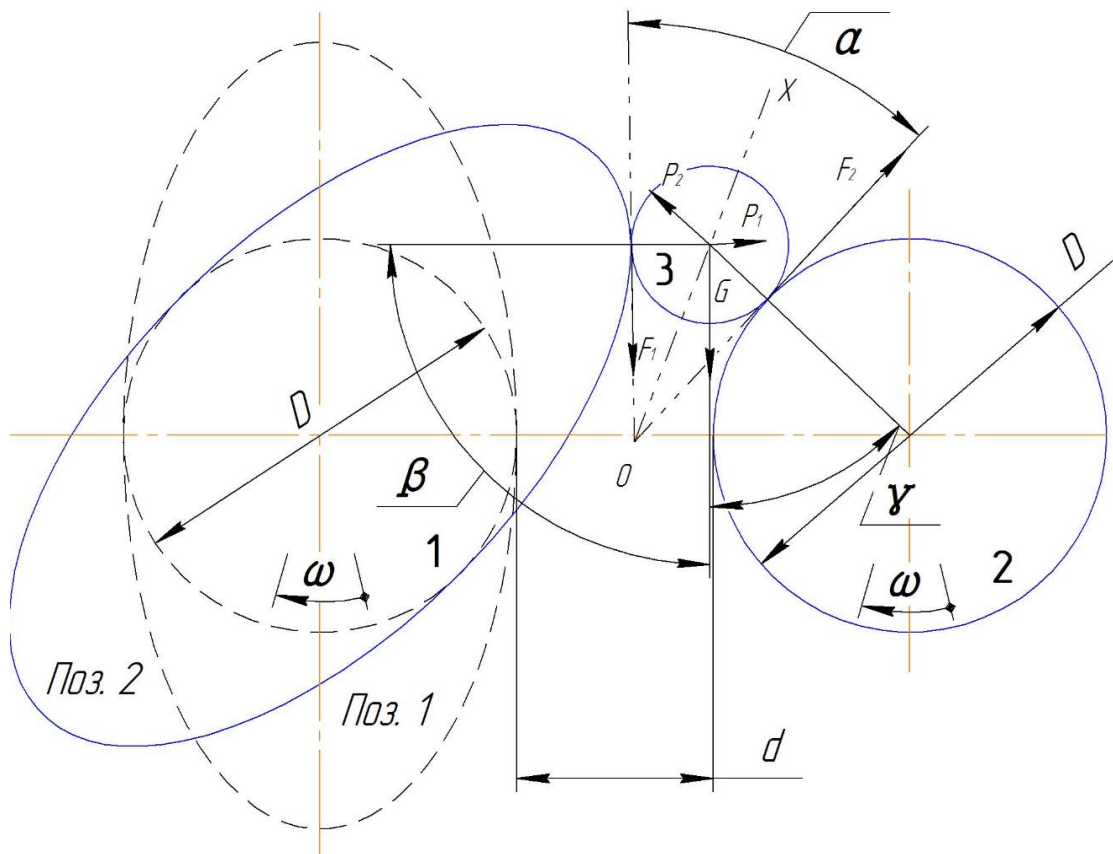


Рис. 7. Силы, действующие на частицу материала

Восстановим перпендикуляры к поверхностям пальца и вала в точках их соприкосновения с частицей материала. Очевидно, что в этих направлениях на частицу действуют силы P_1 и P_2 , приложенные как со стороны пальца, так и вала. Эти силы непосредственно связаны с действующей на частицу силой тяготения G .

$$P_1 = G \cos \beta, \quad (17)$$

$$P_2 = G \cos \gamma. \quad (18)$$

Действие этих сил определяет возникновение сил трения, приложенных к частице

$$F_1 = fP_1, \quad (19)$$

$$F_2 = fP_2, \quad (20)$$

где f – коэффициент трения скольжения между материалом частицы, пальцем и валом грохота (считаем, что палец и вал выполнены из одного и того же материала). Для возвращения частицы в надрешетную область необходимо, чтобы равнодействующая всех сил, действующих на частицу, была направлена в сторону, противоположную расположению закрывающегося отверстия. Определив проекции сил на ось OX , получим условие выталкивания частицы в надрешетную область (условие исключения зажатия частицы):

$$P_1 \sin \frac{\alpha}{2} + P_2 \sin \frac{\alpha}{2} + F_1 \cos \frac{\alpha}{2} > F_1 \cos \frac{\alpha}{2} + G \cos \left[\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) \right]. \quad (21)$$

где α – угол захвата, образованный касательными к поверхностям пальца и вала в точках их соприкосновения с куском материала.

Обратим внимание на тот факт, что используемый в литературе (например, в [4]) термин «угол захвата» имеет отношение к задаче втягивания частицы материала в зазор между валками. В рассматриваемой задаче использование этого термина приобретает иной смысл, так как связан с выталкиванием частицы из зазора между пальцем и валом.

С учетом (1) и (2) получим:

$$\frac{\cos \beta \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \cos \gamma \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - \cos \left[\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) \right]}{\cos \beta \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - \cos \gamma \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} > f, \quad (22)$$

Можно выразить угол γ через углы β и α

$$\gamma = \pi - \beta - \alpha. \quad (23)$$

Тогда левая часть неравенства (4) может быть представлена в функции двух углов (α и β).

Выводы

1. Обосновано конструктивное исполнение фигурных валков грохота для переработки сырья неоднородных карбонатных месторождений. Показано, что использование валково-пальцевого грохота является приемлемым вариантом для реализации комбинированного устройства, осуществляющего как отделение глинистых покрытий от кусков горной породы (известняка), так и разделение частиц по крупности (включая условия повышенной влажности перерабатываемого сырья).

2. Вследствие особенностей конструктивного исполнения дисков валково-пальцевого грохота возможен вариант зажатия частицы материала между футеровочным валом и пальцем грохота, что приводит к нарушению режима грохочения. Для исключения таких режимов исследована кинематика движения частиц материала.

3. Определены силы, действующие на частицу материала и получена аналитическая зависимость, определяющая условие исключения режима зажатия частиц. Показано, что такой режим не зависит от уровней сил, действующих на частицу, а определяется значениями угла захвата α и угла β , характеризующего положение точки соприкосновения частицы материала с пальцем. Определение аналитической зависимости позволяет проектировщикам грохотов осуществлять проверку предлагаемой конструкции на исключение режима зажатия частиц.

Список литературы

1. Обзор работы валкового грохота на влажном компосте: <https://neuenhauser.de/presse-aktuelles/presse-aktuelles/detail/news///einfach-gut/>.
2. Обзор работы валкового грохота Sandvik для известняка: http://www.zkg.de/en/artikel/zkg_2010-7-8_Sandvik_SR_roller_screen_in_the_lime_processing_plant_964277html;
3. Обзор работы валкового грохота HAZEMAG для известняка: <https://na.hazemag.com/rollerscreens/>;
4. Перов Н.А., Андреев Е. Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1990. –301 с.

© Дрешпак А.С., 2018

*Надійшла до редколегій 22.04.2018 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*

УДК 622.24

В.Ф. ГАНКЕВИЧ, О.А. ПАЩЕНКО, кандидати техн. наук,

Н.Л. КУРНАТ, В.Я. КІБА

(Україна, Дніпро, Державний ВНЗ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»)

УЛЬТРАЗВУК В ГІРНИЧОРУДНІЙ ТА МЕТАЛУРГІЙНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

В сучасний час гостро постає проблема зниження енергоємності технологічних процесів в металургійної та гірничорудній промисловості при підвищенні продуктивності та надійності обладнання [3, 5].

Це стало особливо відчуватись при відсутності антрацитів з Донбасу.

Одним з таких шляхів є застосування ультразвуку.