



Засельский В. И.

Зайцев Г. Л.

*Криворожский
металлургический
институт ГВУЗ
«Криворожский
национальный
университет»*

Учитель С. А.

ТОВ «КВМШ ПЛЮС»

Zaselskiy V. I.

Zaitsev G. L.

*Krivoi Rog Metallurgical
Institute «Krivoi Rog
National University»*

Uchitel S. A.

ТОВ «KVMSH PLUS»

УДК 621.723: 621.928.23.001.5

ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ НА КРУТОНАКЛОНЕННОМ ВИБРАЦИОННОМ ГРОХОТЕ С УЧЕТОМ ЗАБИВАЕМОСТИ ПРОСЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

В настоящее время существуют технологические процессы, в которых из-за отсутствия необходимых производственных площадей нет возможности использовать традиционные грохоты. В этих случаях используют машины с крутонаклоненными просеивающими поверхностями, движение материала на которых, с учетом их забиваемости, мало изучено, что не позволяет рассчитать необходимые колебания короба из условия эффективной работы машины.

Несмотря на большое количество научных работ в области перемещения материала, забиваемости просеивающих поверхностей на вибрационных грохотах, в них рассматриваются процессы, связанные с сортировкой сырья при угле наклона просеивающих поверхностей, не превышающих угол естественного откоса материала, в то время как для вибрационных крутонаклоненных машин эти вопросы изучены недостаточно.

В статье рассмотрены особенности движения частиц материала на крутонаклоненном вибрационном грохоте с учетом забиваемости его просеивающей поверхности. Получены аналитические зависимости, позволяющие определить параметры движения частиц и подобрать необходимые колебания короба.

Ключевые слова: *крутонаклоненный вибрационный грохот, просеивающая поверхность, забиваемость, частица, скорость, ускорение, амплитуда, угол наклона короба.*

Постановка проблемы. В настоящее время существует ряд технологических процессов [1], в которых, из-за отсутствия необходимых производственных площадей, нет возможности использовать традиционные грохоты. В этих случаях используют машины с крутонаклоненными просеивающими поверхностями, движение материала на которых, с учетом их забиваемости, мало изучены, что не позволяет рассчитать необходимые колебания короба из условия эффективной работы машины.

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретическому и экспериментальному изучению процесса грохочения посвящено значительное количество работ. Эти исследования позволили выявить ряд феноменов процесса

грохочения и разработать некоторые рекомендации для проектирования и выбора грохотов, у которых угол наклона просеивающих поверхностей не превышает угла естественного откоса материала [2-6]. Установлено, что эффективность грохочения зависит от соотношения интенсивности протекания в конкретных условиях следующих трех процессов:

- первый – доставка подрешетных фракций через слой материала на контакт с просеивающей поверхностью;
- второй – прохождение мелких фракций через имеющиеся отверстия просеивающей поверхности;
- третий – забивание частицами материала отверстий просеивающей поверхности.



Не останавливаясь на подробном их анализе и справедливости полученных авторами результатов, следует отметить, что все они рассмотрены для машин, работающих со значительным слоем материала при незначительных углах наклона просеивающих поверхностей. В случае крутонаклоненной просеивающей поверхности слой отсутствует, и материал на ней не скапливается, тогда первый из трех процессов, влияющих на эффективность грохочения, отсутствует. Следует отметить, что формулы, описывающие второй и третий процессы, полученные разными авторами, отличаются друг от друга, поскольку рассматривались для различных материалов и условий грохочения и требуют экспериментальной проверки. На наш взгляд, достаточно полно вопросы забиваемости были рассмотрены в работах [7-9]. Так, в работе [7] показано, что процесс заклинивания зерен в отверстиях просеивающей поверхности аналогичен по кинетике процессу извлечения флотуруемых частиц. Полученные в [7] зависимости нельзя использовать для определения забиваемости, из-за неопределенности входящих в формулы коэффициентов пропорциональности, являющихся сложными функциями многих факторов - свойств материала, динамических параметров колебаний, конструктивных особенностей сеющей поверхности, условий грохочения. Кроме того, полученные в [7] зависимости в ряде случаев качественно неверно описывают процесс забиваемости, а именно: из них следует, что при наличии заклинившихся частиц забиваемость с течением времени монотонно возрастает, достигая единицы, то есть через определенное время все отверстия просеивающей поверхности окажутся забитыми, и эффективность грохочения будет равна нулю. Это противоречит известному факту [8], что при определенных условиях забиваемость просеивающей поверхности может стабилизироваться на некоторой величине, отличной от 1, несмотря на наличие в материале забивающих частиц. Такое явление связано с созданием условий динамического равновесия между процессами забиваемости и самоочистки просеивающей поверхности.

Под забиваемостью δ , как правило, понимают величину, равную отношению суммарной площади отверстий, закрытых застрявшими в них частицами к площади «живого» сечения просеивающей поверхности.

В работах [8, 9] показано, что число частиц заклинившихся за время dt в

отверстиях просеивающей поверхности возрастает с увеличением высоты слоя H и уменьшается с увеличением скорости транспортирования слоя v . Влияние высоты слоя для классических грохотов связано, очевидно, с увеличением заклинивающих сил, действующих на частицу. Влияние скорости перемещения слоя объясняется изменением времени пребывания частицы над отверстием при движении материала по просеивающей поверхности. На основании этого в расчетах было принято допущение, что число заклинившихся за время dt частиц,

пропорционально величине $\frac{H}{d_{cp}}$ (d_{cp} - средний диаметр частиц смеси) и обратно пропорционально величине $\frac{(A\omega + v)2\pi}{d_{отв}\omega}$,

где $\frac{d_{отв}\omega}{2\pi}$ - скорость, при которой частица

за время периода колебаний $T = \frac{2\pi}{\omega}$ прошла

бы расстояние, равное величине отверстия $d_{отв}$; A - амплитуда колебаний короба; ω - угловая скорость колебаний короба.

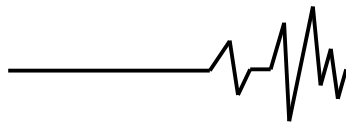
Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Несмотря на большое количество научных работ в области перемещения материала, забиваемости просеивающих поверхностей на вибрационных грохотах, в них рассматриваются процессы, связанные с сортировкой сырья при угле наклона просеивающих поверхностей, не превышающих угол естественного откоса материала, в то время как для вибрационных крутонаклоненных машин эти вопросы изучены недостаточно.

Цель исследований: изучение особенностей движения частиц материала на вибрационной крутонаклоненной просеивающей поверхности с учетом ее забиваемости.

Основные результаты исследований. Так как для крутонаклоненного грохота отсутствует высота слоя, то отношение

$\frac{H}{d_{cp}}$ можно принять равным 1, тогда число

заклинившихся за время dt частицами материала отверстий сита обратно



пропорционально величине $\frac{(A\omega + \nu)2\pi}{d_{\text{отв}}\omega}$ и в соответствии с [8,9] равно:

$$dn_3 = K_3 \frac{d_{\text{отв}}\omega}{(A\omega + \nu)2\pi} K_{\text{ж}}(1 - \delta) \frac{\omega}{2\pi} \sqrt[3]{N_3^2} dt, \quad (1)$$

где K_3 – коэффициент пропорциональности, зависящий лишь от типа материала и конструкции сита; $K_{\text{ж}}$ – коэффициент живого

сечения; N_3 – число заклинившихся частиц в единице объема приконтактного слоя.

Если $d\delta$ – приращение забиваемости за время dt , то число заклинившихся за это время отверстий единицы площади сита равно:

$$dn_3 = \frac{K_{\text{ж}}d\delta}{d_{\text{отв}}^2}. \quad (2)$$

Следует отметить, что формула (2) пригодна для квадратного отверстия или щели просеивающей поверхности

Приравняв правые части выражений (1) и (2) и решая полученное уравнение относительно забиваемости δ , получим:

$$\delta = 1 - \exp\left(K_3 \frac{d_3^3 \omega^2}{(A\omega + \nu)4\pi^2} \sqrt[3]{N_3^2 t} \right). \quad (3)$$

Полученное выражение (3) определяет изменение забиваемости во времени, но не учитывает влияние на условия заклинивания частицы в отверстии характера ее движения по вибрирующей плоскости. Учтем это влияние на основе допущений, обоснованных в работах [10, 11]: частица не заклинивается в отверстии сита, если высота ее подбрасывания h над плоскостью сита будет равна или больше величины h_c – высоты сегмента, отсекаемого у частицы плоскостью (рис. 1), тогда, с учетом принятого допущения, число забивающих частиц будет равно:

$$N_3 = \frac{6}{\pi} (1 - m_{\text{см}}) \sum_{i=i_{3,В}}^{i=i_{3,Н}} \frac{C_i}{K_H d_i^3} \left(1 - \frac{h}{h_{c_i}} \right), \quad (4)$$

где $h_{c_i} = 0,5 \left(d_i - \sqrt{d_i^2 - d_{\text{отв}}^2} \right)$ – высота

сегмента; d_i – диаметр i -той фракции в смеси;

$m_{\text{см}}$ – порозность смеси; $i_{3,Н}$ – номер

фракции, диаметр которой равен величине отверстия; $i_{3,В}$ – номер фракции, диаметр которой равен 1,5 величины отверстия; C_i – долевое содержание (концентрация) i – той фракции; K_H – коэффициент несферичности материала.

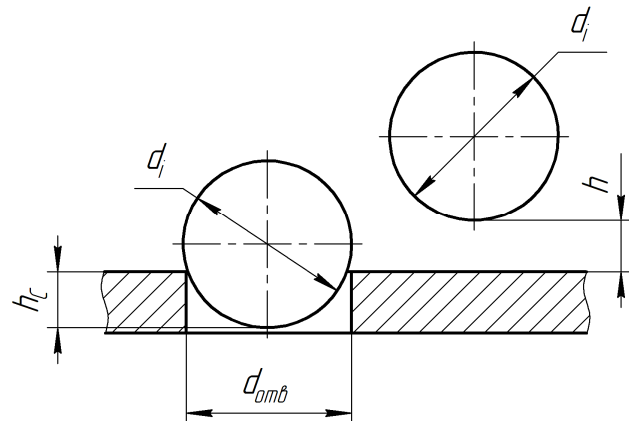


Рис. 1. К расчету вероятности заклинивания частицы в отверстии

Из формулы (4) следует, что если $h = h_c$, то число заклинившихся частиц будет стремиться к нулю, тогда в соответствии с расчетной схемой, представленной на рис. 2, если ускорение короба больше g , можно определить искомую величину h подбрасывания материала, который периодически пролетает расстояние s .

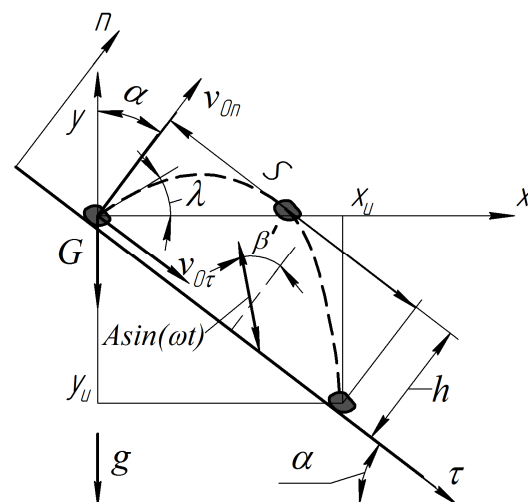


Рис. 2. Расчетная схема движения частицы с отрывом по крутонаклонной вибрирующей поверхности, совершающей прямолинейные гармонические колебания



Вылет частицы примем происходящим с начальной скоростью, вектор которой можно определить двумя характерными проекциями: вдоль касательного $v_{0\tau}$ и нормального v_{0n} направления к просеивающей поверхности, которые соответственно равны: $v_{0\tau} = v$ и $v_{0n} = A\omega$, тогда модуль начальной скорости частицы определится величиной:

$v_0 = \sqrt{A^2\omega^2 + v^2}$, а угол вылета частицы по отношению к горизонту составит:

$$\lambda = \arctg\left(\frac{A\omega}{v}\right) - \alpha.$$

Дифференциальное уравнение свободного движения частицы под действием силы тяжести удобно представить в виде системы в осях координат x, y :

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = 0; \\ \frac{d^2y}{dt^2} = -g. \end{cases} \quad (5)$$

Последовательно дифференцируя выражение (5) получим:

$$\begin{cases} v_x = \sqrt{A^2\omega^2 + v^2} \cos\left(\arctg\left(\frac{A\omega}{v}\right) - \alpha\right); \\ v_y = \sqrt{A^2\omega^2 + v^2} \sin\left(\arctg\left(\frac{A\omega}{v}\right) - \alpha\right) - gt_{\Pi}, \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} x = \sqrt{A^2\omega^2 + v^2} \cos\left(\arctg\left(\frac{A\omega}{v}\right) - \alpha\right)t_{\Pi}; \\ y = \sqrt{A^2\omega^2 + v^2} \sin\left(\arctg\left(\frac{A\omega}{v}\right) - \alpha\right)t_{\Pi} - 0,5gt_{\Pi}^2. \end{cases} \quad (7)$$

Тогда величина h в соответствии с расчетной схемой (рис. 2) определится как:

$$h = y \cos(\alpha) = \left[\sqrt{A^2\omega^2 + v^2} \sin\left(\arctg\left(\frac{A\omega}{v}\right) - \alpha\right)t_{\Pi} - 0,5gt_{\Pi}^2 \right] \cos \alpha. \quad (8)$$

где t_{Π} – время полета частицы до момента касания просеивающей поверхности, которое из системы (7) будет равно:

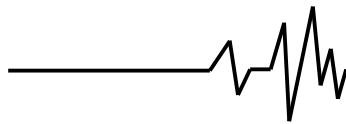
$$t_{\Pi} = \frac{2}{g} \sqrt{A^2\omega^2 + v^2} \left\{ \operatorname{tg} \alpha \cos\left[\arctg\left(\frac{A\omega}{v}\right) - \alpha\right] + \sin\left[\arctg\left(\frac{A\omega}{v}\right) - \alpha\right] \right\}. \quad (9)$$

Кроме искомой величины h необходимо найти и расстояние пролета частицы над просеивающей поверхностью (что позволяет охарактеризовать общее число контактов по всей длине просеивающей поверхности), которое может быть определено как гипотенуза треугольника, построенного на проекциях

координат: $S = \sqrt{x_u^2 + y_u^2}$, где x_u и y_u –

координаты точки приземления частицы на просеивающую поверхность, определенные в соответствии с системой уравнений (7).

Вывод. Получены аналитические зависимости, позволяющие подобрать необходимые колебания короба крутонаклоненного вибрационного грохота и определить параметры движения частицы из условия минимальной забиваемости его просеивающей поверхности.

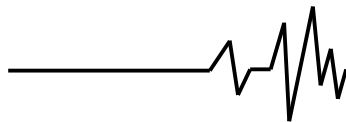
**Список использованных источников**

1. Лялюк В. П. Организация рационального дробления угольной шихты – путь к повышению качества кокса для доменной плавки / В. П. Лялюк, В. А. Шеремет, А. В. Кекух, П. И. Оторвин, С. А. Писарь, А. Д. Учитель, И. А. Ляхова, Д. А. Кассим // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 2. – С. 48–52.
2. Надутый В. П. Вероятностные процессы вибрационной классификации минерального сырья / В.П. Надутый, Е. С. Лапшин. – К. : Наукова думка, 2005. – 180 с.
3. Потураев В. Н. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах / В. Н. Потураев, В. П. Франчук, В. П. Надутый. – Днепропетровск : НГА Украины, 2002. – 186 с.
4. Учитель А. Д. Сортировка минерального сырья и шихт на вибрационных грохотах / А. Д. Учитель, В. В. Севернюк., В. П. Лялюк., В. А. Большаков.– Дніпропетровськ : Пороги, 1998. – 194 с.
5. Вайсберг Л. А. Вибрационное грохочение сыпучих материалов: моделирование процесса и технологический расчет грохотов / Л. А. Вайсберг, Д. Г. Рубисов. – Санкт-Петербург : Механобр, 1994. – 47 с.
6. Вайсберг Л. А. Проектирование и расчет вибрационных грохотов / Л. А. Вайсберг. – М. : Недра, 1986. – 144 с.
7. Иткин Г. Е. Процесс засорения просеивающей поверхности грохотов и ее очистка / Г. Е. Иткин, А. Д. Рудин, В. А. Цукерман // *Обогащение руд*. – 1970. – № 2. – С. 80–82.
8. Зелов Е. А. Разработка и внедрение высокопроизводительных шихтовых грохотов с неоднородным полем траекторий : дис. ... канд. тех. наук : 05.04.04 / Зелов Евгений Александрович. – Кривой Рог, 1986. – 208 с.
9. Учитель А.Д. Создание высокоэффективных вибрационных машин для подготовки металлургической шихты : дис. ... доктора тех. наук : 05.04.04 / Учитель Александр Давидович. – Днепропетровск, 1992. – 643 с.
10. Андреев С. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учебник для вузов / С. Е. Андреев, В. В. Зверевич, В. А. Перов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1966. – 395 с.
11. Бегагоен И. А. О засорении рабочей поверхности з грохотов при расसेве агломерированных концентратов / И. А. Бегагоен, А. Д. Учитель, Е. А. Зелов, Е. Г. Батуров, И. П. Хаустова // *Обогащение*

полезных ископаемых. – К., 1982. – Вып. 31. – С. 80–83.

Список источников в транслитерации

1. Lyalyuk V. P. Organizatsiya ratsionalnogo drobleniya ugolnoy shihty – put k povyisheniyu kachestva koksa dlya domennoy plavki / V. P. Lyalyuk, V. A. Sheremet, A. V. Kekuh, P. I. Otorvin, S. A. Pisar, A. D. Uchitel, I. A. Lyahova, D. A. Kassim // *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyishlennost*. – 2010. – № 2. – S. 48–52.
2. Nadutyiy V.P. Veroyatnostnyie protsessyi vibratsionnoy klassifikatsii mineralnogo syirya / V.P. Nadutyiy, E. S. Lapshin. – K. : Naukova dumka, 2005. – 180 s.
3. Poturaev V. N. Vibratsionnaya tehnik a i tehnologii v energoemkih proizvodstvah / V. N. Poturaev, V. P. Franchuk, V. P. Nadutyiy. – Dnepropetrovsk : NGA Ukrainyi, 2002. – 186 s.
4. Uchitel A. D. Sortirovka mineralnogo syirya i shiht na vibratsionnyih grohotah / A. D. Uchitel, V. V. Severnyuk., V. P. Lyalyuk., V. A. Bolshakov.– Dnlpropetrovsk : Porogi, 1998. – 194 s.
5. Vaysberg L. A. Vibratsionnoe grohochenie syipuchih materialov: modelirovanie protsessa i tehnologicheskiiy raschet grohotov / L. A. Vaysberg, D. G. Rubisov. – Sankt-Peterburg : Mehanobr, 1994. – 47 s.
6. Vaysberg L. A. Proektirovanie i raschet vibratsionnyih grohotov / L. A. Vaysberg. – M. : Nedra, 1986. – 144 s.
7. Itkin G. E. Protsess zasoreniya proseivayuschey poverhnosti grohotov i ee ochistka / G. E. Itkin, A. D. Rudin, V. A. Tsukerman // *Obogaschenie rud*. – 1970. – № 2. – S. 80–82.
8. Zelov E. A. Razrabotka i vnedrenie vyisokoproizvoditelnyih shihtovyih grohotov s neodnorodnym polem traektoriy : dis. ... kand. teh. nauk : 05.04.04 / Zelov Evgeniy Aleksandrovich. – Krivoy Rog, 1986. – 208 s.
9. Uchitel A.D. Sozdanie vyisokoeffektivnyih vibratsionnyih mashin dlya podgotovki metallurgicheskoy shihty : dis. ... doktora teh. nauk : 05.04.04 / Uchitel Aleksandr Davidovich. – Dnepropetrovsk, 1992. – 643 s.
10. Andreev S. E. Droblenie, izmelchenie i grohochenie poleznyih iskopaemyih: uchebnik dlya vuzov / S. E. Andreev, V. V. Zverevich, V. A. Perov. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Nedra, 1966. – 395 s.
11. Begagoen I. A. O zasoreanii rabochey poverhnosti z grohotov pri rasseve aglomerirovannyih kontsentrato v / I. A. Begagoen, A. D. Uchitel, E. A. Zelov, E. G. Baturov, I. P.



Haustova // Obogaschenie poleznyih iskopaemyih.
– K., 1982. – Vip. 31. – S. 80–83.

РУХ ЧАСТИНОК НА КРУТОНАХИЛЕНОМУ ВІБРАЦІЙНОМУ ГРОХОТІ З УРАХУВАННЯМ ЗАХАРАЩЕНОСТІ ПРОСІВАЮЧОЇ ПОВЕРХНІ

Анотація. На теперішній час існують технологічні процеси, у яких через відсутність необхідних виробничих площ немає можливості використовувати традиційні грохоти. У цих випадках використовують машини з крутонахиленими просіваючими поверхнями, рух матеріалу на яких, з урахуванням їх захаращеності, мало вивчений, що не дозволяє розрахувати необхідні коливання короба з умови ефективною роботи машини.

Незважаючи на велику кількість наукових робіт у галузі переміщення матеріалу, захаращеності просіваючих поверхонь на вібраційних грохотах, всі вони розглядають процеси, пов'язані з сортуванням сировини при куті нахилу просіваючих поверхонь, які не перевищують кут природного укосу матеріалу, в той час як для вібраційних крутонахилених машин ці питання вивчені недостатньо.

У статті розглянуто особливості руху частинок матеріалу на крутонахиленому вібраційному грохоті з урахуванням захаращеності його просіваючої поверхні. Отримано аналітичні залежності, що дозволяють визначити параметри руху частинок і підібрати необхідні коливання короба.

Ключові слова: крутонахилений вібраційний грохот, просіваюча поверхня, захаращеність, частинка, швидкість, прискорення, амплітуда, кут нахилу короба.

THE MOVEMENT OF PARTICLES ON STRONGLY INCLINED VIBRATING SCREEN TAKING INTO ACCOUNT CLOGGING OF SCREENING SURFACE

Annotation. There are technological processes in which due to the lack of production areas is impossible to use traditional screens. In these case machines with strongly inclined screening surfaces are in use mostly. The movement of material taking into account clogging of screening surface is not studied good in such cases so it's hard to calculate an optimal vibrations needed for efficient operation of the machine.

Despite the large number of scientific papers in the field of material transportation and clogging of screening surface of vibrating screens they consider the processes associated with sorting of the raw material when the angle of inclination of screening surfaces not exceeding the angle of repose of the material, while for strongly inclined screens these questions were not been studied adequately.

The aim of this work is to study the characteristics of the movement of the material particles on strongly inclined screening surface taking into account its clogging. Based on analytical research methods there were considered especially the movement of the material particles on strongly inclined vibrating screen taking into account clogging of screening surface.

The obtained results allow to define the parameters of the particle motion and to select the necessary oscillation of the screen.

Key words: strongly inclined vibrating screen, screening surface, clogging, particle, velocity, acceleration, amplitude, box angle.