

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФРАКЦИЙ НА КОЛОСНИКОВОЙ ПРОСЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ С ОТКРЫТОЙ ЩЕЛЬЮ

ЮДИН А. В.

Особенностью вибрационных грохотов с колосниковой просеивающей поверхностью является то, что щель между колосниками – открытая и в большинстве случаев расходящаяся (расстояние между колосниками на входе и выходе щели различное). При этом просеивающая поверхность может быть линейного или каскадного исполнения. Экспериментально и в промышленных условиях установлено, что на таких поверхностях процесс (вероятность) извлечения фракций горной массы в подгрохотный продукт имеет свои особенности. Принятая на практике методика расчета вероятности извлечения для колосниковых просеивающих поверхностей нуждается в корректировке. В статье предложена модель оценки вероятности извлечения заданных фракций с учетом особенностей колосниковой просеивающей поверхности, параметров конструкции и характеристики кусков извлекаемых фракций. Выполнен численный пример расчета вероятности извлечения фракций. Показано, что величина вероятности извлечения зависит от входного параметра щели, угла раскрытости щели, длины расчетного участка, среднего размера заданных к извлечению фракций.

Ключевые слова: грохот; колосник; просеивающая поверхность; вероятность извлечения; выход фракций; каскад; коэффициент повышения вероятности извлечения.

При лабораторных исследованиях и промышленных испытаниях вибрационных питателей-грохотов с колосниковой просеивающей поверхностью (ПП) установлено, что основное извлечение подгрохотных фракций происходит на первой трети длины грохотильной секции, на этом участке извлекаются «легкие» фракции размером до $0,8T_{\text{вх}}$, где $T_{\text{вх}}$ – расстояние между колосниками на входе. На остальном участке, равном половине длины грохотильной секции, извлекаются в основном «трудные» фракции и оставшаяся часть подгрохотных фракций [1]. Введение каскадов на ПП позволяет создать условия для принудительной переориентации кусков горной массы (ГМ) относительно ПП и обеспечить дополнительное извлечение «трудных» фракций. Движение кусков ГМ на второй половине длины грохотильной секции представляет собой разобщенный поток с ограниченным влиянием кусков друг на друга. На рис. 1 приведена схема колосниковой ПП вибрационного грохота, включающая пять расчетных участков.

Общая модель вероятности извлечения фракций записывается в виде:

$$P = P_{1,2} K_{\text{п}} K_{\text{в}} K_{\text{к}}, \quad (1)$$

где $P_{1,2}$ – вероятность извлечения фракций на участках 1 и 2 ПП; $K_{\text{п}}$ – коэффициент снижения вероятности в зависимости от положения куска на ПП; $K_{\text{в}}$ и $K_{\text{к}}$ – коэффициенты повышения вероятности при виброперемещении кусков по участкам 3, 4, 5 и при введении каскадов ПП соответственно.

Условно можно принять, что на участках ПП 1 и 2 длиной l и площадью F_i каждый происходит прямое падение кусков ГМ на ПП через приемную плоскость, и для оценки вероятности извлечения справедлива принятая методика [2]:

$$P_i = \frac{F_{pi}}{F_{ti}},$$

где F_{ti} и F_{pi} – теоретическая и расчетная площади i -го участка ПП.

Выделим на ПП участок длиной l (рис. 2) и рассмотрим межколосниковую щель, которая представляет собой равнобедренную трапецию, характеризуемую входными размерами $T_{вх.т}$, $T_{вх.р}$ и выходными размерами $T_{вых.т}$, $T_{вых.р}$. За F_p принята площадь, при которой куски ГМ проходят в щель беспрепятственно, не касаясь краев головок смежных колосников. При этом будем учитывать возможное касание только в поперечной плоскости ПП, так как щель между колосниками открытая.

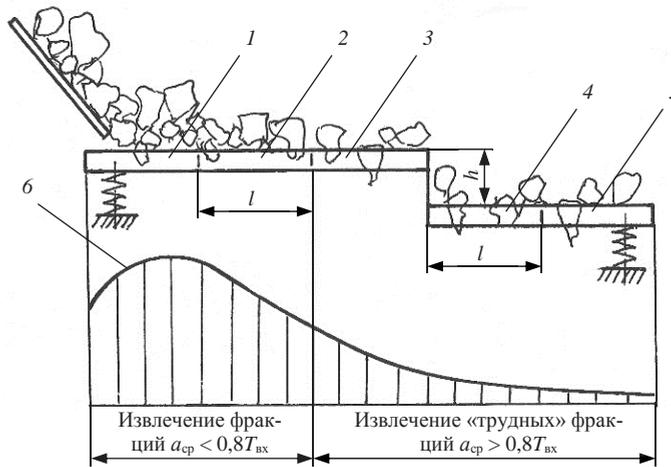


Рис. 1. Модель колосниковой просеивающей поверхности вибрационного грохота:

1–5 – расчетные участки; б – ориентировочное распределение подгрохотных фракций; h – высота каскада; l – длина участка; a_{cp} – средний размер куска

В соответствии со схемой рис. 2 значения F_t и F_p для участков 1 и 2 ПП соответственно рассчитываются

$$\begin{aligned} \text{для участка 1: } F_{t1} &= (T_{вх} + l \operatorname{tg} \alpha)l; \\ F_{p1} &= (T_{вх} - d + l \operatorname{tg} \alpha)l, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{для участка 2: } F_{t2} &= (T_{вх} + 3l \operatorname{tg} \alpha)l; \\ F_{p2} &= (T_{вх} - d + 3l \operatorname{tg} \alpha)l, \end{aligned}$$

где d – средний размер извлекаемых на участке фракций.

Значения вероятностей извлечения ГМ в подгрохотный продукт на соответствующих участках рассчитываются

$$\text{для участка 1: } P_1 = \frac{F_{p1}}{F_{t1}} = \frac{T_{вх} - d + l \operatorname{tg} \alpha}{T_{вх} + l \operatorname{tg} \alpha};$$

$$\text{для участка 2: } P_2 = \frac{F_{p2}}{F_{T2}} = \frac{T_{\text{вх}} - d + 3l \operatorname{tg} \alpha}{T_{\text{вх}} + 3l \operatorname{tg} \alpha}.$$

Расчетные значения площадей F_i и вероятностей P_i приведены в таблице.

Общая площадь открытой щели между колосниками, включающая n расчетных участков одинаковой длины l определяется

$$\text{для теоретической щели: } F_{\text{т.о}} = nl(T_{\text{вх}} + nl \operatorname{tg} \alpha);$$

$$\text{для фактической щели: } F_{\text{п.о}} = nl(T_{\text{вх}} - d + nl \operatorname{tg} \alpha).$$

Общая площадь межколосникового пространства может быть определена по формуле «трапеций» [3] из условия: если одну из сторон щели принять за ось абсцисс с координатой $l = 0-1$, то другая сторона может быть выражена кривой функции $f(l)$ при изменении пределов интегрирования l от 0 до 1 и с наклоном кривой под углом 2α к горизонту. Формулы «трапеций» $F_{\text{т.о}}$ и $F_{\text{п.о}}$ при этом имеют вид

для теоретической щели:

$$F_{\text{т.о}} = \int_0^1 (T_{\text{вх}} + l_i \operatorname{tg} 2\alpha) dl = \frac{1-0}{n} \left[\frac{T_{\text{вх}} + T_{\text{вых}i}}{2} + \sum_1^4 T_{\text{вых}i} \right];$$

для фактической щели:

$$\begin{aligned} F_{\text{п.о}} &= \int_0^1 [(T_{\text{вх}} - d) + (l_i - d) \operatorname{tg} 2\alpha] dl = \\ &= \frac{1-0}{n} \left[\frac{(T_{\text{вх}} - d) + [(T_{\text{вх}} - d) + l_i \operatorname{tg} 2\alpha - d]}{2} \right] + \sum_1^4 T_{\text{вых}i}. \end{aligned}$$

Производительность грохота зависит от коэффициента живого сечения просеивающей поверхности M_0 . Для колосниковых просеивающих поверхностей значения M_0 не превышают 50–60%. Для поверхностей с открытой щелью значения коэффициентов M_0 с постоянной и расходящейся щелями соответственно записываются:

$$M_{\text{о.п}} = \frac{1}{1 + (B/T)} \cdot 100 \%; \quad M_{\text{о.р}} = \frac{1}{1 + (B_{\text{ср}}/T_{\text{ср}})} \cdot 100 \%,$$

где T и $T_{\text{ср}}$ – ширина и средняя ширина расходящейся щели; B и $B_{\text{ср}}$ – размер головки колосника в поперечном сечении.

В практике принято куски ГМ столбчатой формы представлять в виде условного параллелепипеда с усредненным соотношением сторон [1]:

$$l : a : b = 1 : 0,67 : 0,43,$$

где l , a , b – соответственно длина, ширина, толщина куска.

При падении куска на ПП он может занять относительно щели грохота одно из шести вероятных положений 1–6 (рис. 2) [1]. От положения куска на ПП зависит

величина вероятности его извлечения. Наиболее высокая вероятность достигается при положении куска в позициях 3 и 6, наименьшая – в позициях 1 и 2, промежуточное – в положениях 4 и 5, когда параметр щели T_i соизмерим со средним размером куска a_{cp} , для определения которого используется несколько методик [1]. При этом будем считать, что кусок может занять как устойчивое положение (позиции 1 и 2 на рис. 2), так и смещенное относительно оси с возможностью изменения ориентации в пространстве (позиции 1' и 2'). Таким образом, из возможных восьми позиций положения куска на ПП две позиции способствуют снижению вероятности извлечения фракций. Это снижение можно учитывать с помощью коэффициента K_{Π} . При этом значение K_{Π} целесообразно увязать со значением превышения Δ максимального размера куска с размером параметра $T_{вх}$. Чем больше значение Δ , тем чаще кусок на ПП займет позицию 1 или 2. Можно принять: при значении $\Delta \geq 0,3-0,4$ кусок более вероятно займет две возможные неблагоприятные позиции, при $\Delta \leq 0,3$ – одну позицию.

В этом случае K_{Π} соответственно принимает значения:

$$K_{\Pi} = 1 - (2/8) = 0,75 \text{ при } \Delta \geq 0,3; \quad K_{\Pi} = 1 - (1/8) = 0,87 \text{ при } \Delta \leq 0,3.$$

В качестве примера в таблице приведены результаты расчета параметров просеивающей поверхности на участках 1 и 2 колосников при следующих исходных параметрах: $l = 0,2$ м; $\text{tg}\alpha = 0,017$; $T_{вх} = 0,05$ м при изменении размера фракций a_{cp} , извлекаемых в подгрохотный продукт.

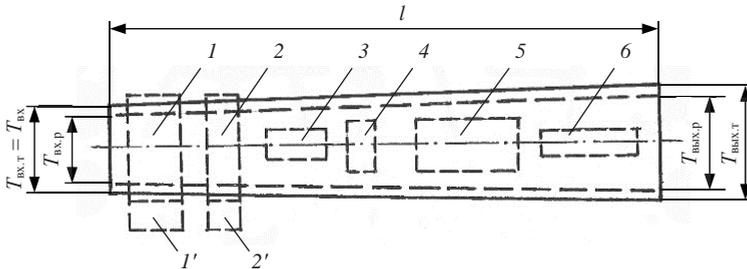


Рис. 2. Фрагмент расходящейся щели между колосниками просеивающей поверхности

По результатам моделирования можно заключить, что при входном параметре щели $T_{вх} = 0,05$ м фракции ГМ с размерами $a_{cp} \leq 10$ мм будут извлечены в подгрохотный продукт с вероятностью до 85 %, фракции с $a_{cp} \leq 30$ мм – до 50 %, фракции с $a_{cp} \leq 40$ мм – до 30 %, фракции с $a_{cp} \leq 50$ мм – не более 15 %. Не извлеченные на участке 1 и 2 фракции посредством вибропривода перемещаются на участки ПП 3, 4, 5. Установлено, что фракции с $a_{cp} = 10-40$ мм на этих участках с вероятностью до 90–95 % извлекаются в подгрохотный продукт. Основная задача при этом заключается в том, чтобы извлечь в подгрохотный продукт «трудные» фракции с размерами $a_{cp} \leq 45-55$ мм. Вычислительное моделирование показало, что при вибрационном разделении ГМ на ПП с открытой щелью достигается большая эффективность процесса, и «трудные» фракции начинают извлекаться в подгрохотный продукт при соотношении $a_{cp}/T_{вх} = 0,85-0,90$. Вероятность извлечения кусков снижается и близка к нулю при $a_{cp}/T_{вх} \geq 1,3$. Можно считать, что при соотношении $a_{cp}/T_{вх} = 0,8-0,9$ вероятность разделения близка к единице, при $a_{cp}/T_{вх} = 1,0$ $P = 0,6-0,65$, при $a_{cp}/T_{вх} = 1,1$ $P = 0,15-0,20$, при $a_{cp}/T_{вх} = 1,2$ $P = 0,06-0,10$ [1]. Расширяющаяся щель и вибрационный способ пе-

ремещения ГМ способствуют повышению вероятности в среднем на 30–35 %. Таким образом, можно принять, что на участках 3, 4, 5 (рис. 1) фракции с размерами кусков 10–40 мм извлекаются с вероятностью до 0,9, а «трудные» фракции – до 0,15. Определено значение коэффициента K_B по формуле (1): для кусков с $a_{cp} = 0,05$ $K_B = 1,05$ («трудные» фракции), с $a_{cp} = 0,04$ $K_B = 3,05$, с $a_{cp} = 0,03$ $K_B = 1,85$, с $a_{cp} = 0,01$ $K_B = 1,05$.

Результаты моделирования

Размер извлекаемых на грохоте фракций, м			Площадь щели между колосниками, м ²				Вероятность извлечения фракций на участках			Показатель K_n
			участок 1		участок 2					
l	a_{cp}	b	F_{r1}	F_{p1}	F_{r2}	F_{p2}	P_1	P_2	P_{cp}	
0,074	0,05	0,032	0,01	0,0007	0,012	0,002	0,07	0,16	0,150	0,75
0,059	0,04	0,025	0,01	0,0026	0,012	0,004	0,26	0,33	0,295	0,87
0,040	0,03	0,019	0,01	0,0046	0,012	0,006	0,46	0,50	0,480	1,00
0,014	0,01	0,006	0,01	0,0083	0,012	0,010	0,83	0,84	0,835	1,00

Введение каскадов на колосниковой ПП повышает извлечение «трудных» фракций. Экспериментально установлено, что при размере щели 0,06 м и наличии одного каскада в подколосниковый продукт извлекается на 4, 8 и 30 % больше фракций размерами 0,06, 0,07 и 0,08 м соответственно по сравнению с ПП без каскада. В среднем величину прироста извлечения «трудных» фракций можно принимать до 4–5 % на каждый каскад [4]. Повышение вероятности извлечения фракций с учетом каскадов на ПП можно учитывать введением коэффициента $K_k = 1,1$.

Итак, предложена методика расчета вероятности извлечения заданных фракций ГМ на виброгрохоте с колосниковой просеивающей поверхностью с открытой щелью между колосниками. Методика учитывает, что функциональная связь между размером щели и размером заданных к извлечению фракций ГМ в подгрозотный продукт специалистам известны. Показано, что извлечение фракций по длине ПП происходит с разной вероятностью. Количественное значение вероятности зависит от соотношения параметров $a_{cp}/T_{вх}$, от размещения кусков на ПП, от конструктивного исполнения ПП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдин А. В. Карьерные комплексы и оборудование для разделения карбонатного сырья и глинистых пород. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 337 с.
2. Перов В. А., Андреев Е. Г., Биленко Л. Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учеб. пособие. М.: Недра, 1990. 301 с.
3. Демидович Б. П., Кудрявцев В. А. Краткий курс высшей математики: учеб. пособие. М.: Астрель, 2007. 654 с.
4. Юдин А. В. Результаты экспериментальных исследований грохочения крупнокусковых материалов на колосниковых вибрационных грохотах // Тр. ИГД Минчермета. 1972. № 34. С. 105–116.

Поступила в редакцию 27 октября 2016 года

PROBABILITY SIMULATION OF THE PROCESS OF FRACTIONS EXTRACTION AT BAR SCREENING SURFACE WITH AN OPEN SLOT

Iudin A. V. – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: gpt2004@mail.ru

A distinctive feature of vibrating screens with bar screening surface is the fact that a slot between the bars is open and in most cases splayed (distance between the bars at the inlet and at the outlet varies). At that screening surface can be of a linear and cascade fulfillment. By experiment and in production it has been determined that at such surfaces the process

(probability) of rock mass fractions extraction in throughproduct has its own distinctive features. Generally accepted methods of calculating the probability extraction for bar screening surfaces needs updating. The article suggests a model of estimating the probability of extracting the given fractions with the account of features of bar screening surface, construction parameters and characteristics of the lumps of the extracted fractions. Numerical example of fractions extraction probability calculation is fulfilled. It has been showed that the value of the probability of extraction depends on the inlet parameter of a slot, the angle of the slot opening, length of the rated section, average value of fractions assigned to extraction.

Key words: screen; bar; screening surface; extraction probability; fractions outlet; cascade; coefficient of improving the extractions probability.

REFERENCES

1. Iudin A. V. *Kar'ernye komplekсы i oborudovanie dlia razdeleniia karbonatnogo syr'ia i glinistykh porod* [Open pit complexes and equipment for the separation of calcareous raw materials and argillaceous rock]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2015. 337 p.
 2. Perov V. A., Andreev E. G., Bilenko L. F. *Droblenie, izmel'chenie i grokhochenie poleznykh iskopaemykh: ucheb. posobie* [School book "Minerals crushing, grinding, and screening"]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 301 p.
 3. Demidovich B. P., Kudriavtsev V. A. *Kratkii kurs vysshei matematiki: ucheb. posobie* [School book "Short course in higher mathematics"]. Moscow, Astrel' Publ., 2007. 654 p.
 4. Iudin A. V. [The results of experimental investigations of screening rough materials at bar vibration screens]. *Tr. IGD Minchermeta – Proceedings of the Institute of Mining Engineering of the USSR Ministry of Iron and Steel Industry*, 1972, no. 34, pp. 105–116. (In Russ.)
-