

В. Г. Григорьева /к. т. н./,
В. В. Батареев /к. т. н./, Р. П. Шайда

Криворожский металлургический институт
Национальной металлургической академии
Украины
Днепропетровский металлургический завод

И. В. Пелых

Определение скорости загрузки высокого слоя шихты на агломашину

V. G. Grigor'eva /Cand. Sci. (Tech.)/,
V. V. Batareev /Cand. Sci. (Tech.)/, R. P. Shaida
I. V. Pelyh

Krivoy Rog Metallurgical Institute of the National
Metallurgical Academy of Ukraine
Dneprovskiy Metallurgical Plant

Determination of high sinter layer's velocity on sinter machine

Цель. Оптимизация целевых функций процесса агломерации, в частности прочности агломерата, содержания в нем некондиционных фракций, достигается путем повышения высоты слоя шихты на аглоленте. Однако закономерности загрузки высокого слоя ($h_{сл}/B_{ам} > 0,15$, где $h_{сл}$ – высота слоя, $B_{ам}$ – ширина паллет агломерата) на аглоленту ранее не исследовались. Не исследовались также закономерности движения высокого слоя по днищу загрузочного устройства.

Целью настоящей работы является создание метода определения скорости загрузки шихтой агломерационной машины с использованием сил, действующих в слое шихты.

Методика. Определение основного уравнения движения высокого слоя шихты по днищу загрузочного устройства (вибрационного питателя); определение средних значений сил, действующих в слое и на этой основе, путем интегрирования основного уравнения, определение скорости движения высокого слоя.

Результаты. В статье приведено основное уравнение движения высокого слоя шихты по днищу вибропитателя, снабженного высокими бортами, позволяющими сформировать высокий слой шихты и осуществить загрузку агломашины таким слоем. Приведены выражения сил, действующих в слое, что позволяет определить скорость движения высокого слоя, т. е. при заданной высоте слоя – производительность загрузочного устройства.

Научная новизна. Получены выражения для определения сил, действующих в высоком слое, формируемым загрузочным устройством агломашины, что, в свою очередь, позволит назначить геометрические и кинематические параметры загрузочного устройства, обеспечивающего загрузку агломашины высоким слоем.

Практическая значимость. В статье приведены результаты аналитических исследований возможности загрузки агломашины высоким слоем шихты, что является первым шагом в решении задачи агломерации высокого слоя металлургической шихты. (Библиогр.: 3 назв.)

Ключевые слова: загрузочное устройство; силы, действующие в высоком слое шихты.

Постановка проблемы. На ряде агломерационных фабрик СНГ принято решение о замене барабанных питателей для укладки шихты на аглоленту вибрационными питателями, позволяющими формировать на аглоленте высокий слой шихты с рациональным профилем, что обеспечивает резкое снижение содержания некондиционных фракций в агломерате и кардинальное уменьшение пылевых выделений при агломерации и подготовке спека к плавке дроблением.

Загрузочное устройство (вибропитатель) устанавливается под выпускным отверстием загрузочного бункера.

Короб загрузочного устройства совершает прямолинейные, под углом к грузонесущей плоскости, однородные (одинаковые для всех точек короба по его длине) колебания.

Формулировка цели. Известно, что увеличение высоты слоя и оптимизация его профиля позволяет без изменения его газодинамического сопротивления существенно снизить содержание фракции (-5 мм) в агломерате и пылеобразование в процессе его производства [3].

Загрузка агломашины высоким слоем шихты потребует разработки методов определения скорости перемещения высокого слоя по днищу загрузочного устройства. Методика определения скорости высокого слоя, перемещаемого по днищу вибрационного загрузочного устройства, является целью настоящего аналитического исследования.

Изложение основных результатов исследования. Рассмотрим силы, действующие на слой материала, движущегося по днищу загрузочно-

го устройства, наклоненному под углом α к горизонту. Рассмотрим случай, когда короб совершает прямолинейные колебания, направление которых составляет угол β с его днищем.

При таких колебаниях уравнения движения слоя материала относительно днища записываются в виде:

$$\begin{aligned} m\ddot{X} &= P \sin \alpha + I_x + F_D + F_{\delta, x}, \\ m\ddot{Y} &= P \cos \alpha + I_y + N + F_{\delta, y} \end{aligned} \quad (1)$$

где m – приведенная масса слоя [1]; I_x, I_y – проекции сил инерции на оси OX и OY ; P – сила тяжести; N – нормальная реакция короба или нижележащего слоя на вышележащий слой материала; F_D – сила трения материала о днище короба или нижележащий слой материала; $F_{\delta, x}, F_{\delta, y}$ – проекции силы трения материала о боковые поверхности (стенки) короба на оси OX и OY .

Нормальная реакция N и сила трения F_D определяются для плоскости днища короба (или плоскостей, параллельных днищу), силы тяжести и инерции – для всего объема материала, а силы трения о стенки – по высоте всего слоя. Относительные ускорения \ddot{X} и \ddot{Y} определяются как средние ускорения слоя.

При условии отсутствия отрыва материала от вибрирующей плоскости вертикальная составляющая абсолютного ускорения материала в точке, расположенной на высоте h , будет равна $A\omega^2 \cdot e^{-\gamma_B h} \cdot \sin \beta_T \cdot \sin \omega t$, а горизонтальная составляющая $A\omega^2 \cdot e^{-\gamma_e h} \cdot \cos \beta_T \cdot \cos \omega t$, где A – амплитуда, ω – частота колебаний короба, β_T – угол наклона прямолинейной траектории точки к плоскости короба, γ_B, γ_e – коэффициенты затуханий плоских волн напряжений сжатия и сдвига по высоте слоя [1; 2].

При этом уравнения для определения нормальной реакции и силы трения о днище записываются в виде [2]:

$$\begin{aligned} N + F_{\delta, y} &= mg \cos \alpha - \frac{mA\omega^2}{(H-h)\beta_B} \sin \beta_T \times \\ &\times \sin \omega t (e^{-\gamma_e h} - e^{-\gamma_e H}) + F_D + F_{\delta, x} \end{aligned} \quad (2)$$

При неподвижных стенках короба удельная сила трения о стенки на высоте слоя h равна:

$$F_{\delta, yd} = 2f_1 n \frac{N(h)}{B}, \quad (3)$$

где $N(h)$ – нормальная реакция плоскости, параллельной днищу короба на высоте h , f_1 – коэффициент трения слоя о стенки короба, B – ширина слоя, равная ширине короба.

Коэффициент бокового давления n определяется по формуле:

$$n = \frac{1}{1 + 2f^2 + 2\sqrt{(1+f^2)(f^2-f_1^2)}}, \quad (4)$$

где f – коэффициент внутреннего трения материала.

Угол β_T , который составляет сила трения о стенки короба с горизонтом, меняется с высотой слоя, так как горизонтальная и вертикальная составляющие этой силы уменьшаются неодинаково для продольной и поперечной волн сжатия.

$$\operatorname{tg} \beta_T = \frac{\sin \beta \cdot e^{-\gamma_B h}}{\cos \beta \cdot e^{-\gamma_e h}}, \quad (5)$$

Полная сила трения о стенки, возникающая на единице длины короба и стенок, определяется как интегральное значение переменной по высоте слоя удельной силы трения:

$$F_{\delta, \beta} = 2N \int_h^H f_1 \frac{n}{B} dh, \quad (6)$$

Сила тяжести материала на единице длины короба составляет $mg = (H-h)B\gamma$, где γ – насыпная плотность шихты.

Направления ускорения короба определяются знаком выражения $\sin \omega t$, т. е. для значений $\omega t = 0 \div \pi$ ускорение положительно, а для значений $\omega t = \pi \div 2\pi$ – отрицательно. Сила же трения о стенки меняет знак в другие моменты цикла вибрации. Так, при движении рабочего органа вперед-вверх, т. е. при $\omega t = -\frac{\pi}{2} \div \frac{\pi}{2}$, сила F_{δ} отрицательна, а при $\omega t = \frac{\pi}{2} \div \frac{3}{2}\pi$ – положительна.

Нормальная реакция для промежутка времени $\omega t = -\frac{\pi}{2} \div \frac{\pi}{2}$ определяется с использованием выражения:

$$\begin{aligned} N &= \frac{B\gamma \cos \alpha}{a} \cdot (e^{a(H-h)} - 1) + \\ &+ \frac{B\gamma A\omega^2 \sin \beta_T \sin \omega t}{g(a-\beta_B)} \left[e^{-\gamma_B h} - e^{-a(H-h)-\gamma_B H} \right], \end{aligned} \quad (7)$$

где $a = \frac{2f_1 n \cdot \sin \beta_T}{B}$.

Вертикальную проекцию силы трения материала о стенки короба для промежутка $\omega t = -\frac{\pi}{2} \div \frac{\pi}{2}$ вычисляем:

$$\begin{aligned} F_{\delta, \beta} &= \frac{B\gamma \cos \alpha}{a} \left[e^{a(H-h)} - 1 - a(H-h) \right] + \\ &+ \frac{B\gamma A\omega^2 \sin \beta_T \cdot \sin \omega t}{g(a-\beta_B)} \left[\frac{a}{\beta_B} e^{-\gamma_B h} - \frac{a-\beta_B}{\beta_B} e^{\gamma_B H} - \right. \\ &\left. - e^{a(H-h)-\gamma_B H} \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Для промежутка $\omega t = \frac{\pi}{2} \div \frac{3}{2}\pi$ получаем соответственно:

$$N = -\frac{B\gamma \cos \alpha}{a}(e^{-a(H-h)} - 1) - \frac{B\gamma A\omega^2 \sin \beta_T \sin \omega t}{g(a - \beta_B)}(e^{-\beta_B h} - e^{-a(H-h) - \beta_B H}) \quad (9)$$

$$F_{\beta, \beta} = \frac{B\gamma \cos \alpha}{a}[e^{-a(H-h)} - 1 + a(H-h)] + \frac{B\gamma A\omega^2 \sin \beta_T \cdot \sin \omega t}{g(a + \beta_B)} \left[\frac{-\frac{a}{\beta_B} e^{-\beta_B h} + \frac{a + \beta_B}{\beta_a} e^{-\beta_B H}}{-e^{-a(H-h) - \beta_B H}} - \right] \quad (10)$$

В выражениях (7)–(10) $\sin \beta_T$ средняя величина угла вибрации по толщине слоя:

$$\sin \beta_{T,CP} = \frac{1}{H-h} \int_h^H \sin \left[\arctg(tg \beta_T \cdot e^{h(\beta_c - \beta_B)}) \right] dh = \frac{1}{(H-h)(\beta_c - \beta_B)} \cdot \ln tg \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\arctg(tg \beta_T \cdot e^{H(\beta_c - \beta_B)})}{2} \right) - \ln tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\arctg(tg \beta_T \cdot e^{h(\beta_c - \beta_B)})}{2} \right) \quad (11)$$

Сила трения материала о днище короба или о поверхности, параллельные днищу:

$$F_{\text{Д}} = -\gamma B(H-h) \sin \alpha - \frac{\gamma B}{g\beta} A\omega^2 \cos \beta_T \times \sin \omega t (e^{-\beta_c h} - e^{-\beta_c H}) \pm \frac{F_{\beta, \beta}(\beta_c - \beta_B)(H-h)}{tg \beta_T [e^{(\beta_c - \beta_B)H} - e^{(\beta_c - \beta_B)h}]} \quad (12)$$

При этом верхние знаки соответствуют промежуткам времени $\omega t = -\frac{\pi}{2} \div \frac{\pi}{2}$, нижние – промежуткам времени $\omega t = \frac{\pi}{2} \div \frac{3\pi}{2}$.

При подстановке выражений (2), (3), (6)–(8), (12) для описания сил, действующих в слое, в основное уравнение с последующим его интегрированием может быть получено выражение (\dot{X}), описывающее скорость загрузки агломашины высоким слоем.

Выводы

1. Использование полученных выражений для сил, действующих в слое и на его контакте с днищем и стенками загрузочного короба, позволяет назначать геометрические и кинематические параметры короба, обеспечивающие укладку на аглоленту слоя шихты заданной высоты и профиля сечения, за счет чего без увеличения затрат электроэнергии на продувку слоя при его агломерации повысить качество агломерата путем снижения в нем содержания фракции (–5 мм) и снизить потери шихты.

2. Приведенные в настоящей работе исследования являются первым шагом в изучении возможности загрузки агломашины высоким слоем с последующей его агломерацией.

Список литературы / References

1. Учитель А. Д. Вибрационный выпуск горной массы / А. Д. Учитель, В. В. Гущин. – М.: Недра, 1981. – 231 с.

Uchitel A. D., Gushchin V. V. *Vibracionnyi vyпуск gornoy massy*. Moscow, Nedra, 1981. 231 p.

2. Учитель А. Д. Уточнение газодинамического сопротивления слоя материалов / А. Д. Учитель, Б. В. Боклан, Е. Г. Донсков, В. И. Засельский, В. И. Бондаренко, И. Н. Хомич, В. В. Товаровский // Известия ВУЗов: Черная металлургия, 1982. – № 1. – С. 13–17.

Uchitel A. D., Boklan B. V., Donskov E. G., Zasel'skiy V. I., Bondarenko V. I., Khomich I. N., Tovarovskiy V. V. *Utochnenie gazodinamicheskogo soprotivleniya sloya materialov*. Izvestiya VUZov: Chernaya metallurgiya, 1982, no. 1, pp.13-17.

3. Большаков В. И. Технология высокоэффективной энергозберегающей доменной плавки / В. И. Большаков. – К.: Наукова думка. – 411 с.

Bolshakov V. I. *Tehnologiya vysokoeffektivnoy energozberegayushey domennoy plavki*. Kiev, Naukova dumka. 411 p.

Purpose. The optimization of target functions of sintering process, in particular the agglomerate strength, the content of substandard fractions in the agglomerate achieves by increasing the height of sinter layer on sinter belt. But regularities of loading of high sinter layer on sinter belt (it means that $h_{sl}/B_{am} > 0.15$, here h_{sl} – height of layer, B_{am} – the width of the pallets of sinter belt pallets) has not studied before. Regularities movement high sinter layer on bottom feeder has not been analyzed also.

The aim of the study is to provide a method for determination of sinter layer's velocity on sinter machine using the forces acting inside the sinter layer.

Methodology. The method is to determine of the basic equations of movement of high sinter layer on feeder's bottom (vibrating feeder) and average values of the forces acting in the sinter layer and, on this base, to determine the velocity of movement of high sinter layer by integrating the basic equation.

Findings. The basic equation of movement of the high layer of sinter on the bottom of vibratory feeder with high sides is given in the article. Mentioned high sides allow to provide high sinter layer and allow to load the sinter machine with such height layer. The expressions of the forces acting in the sinter layer, which allows to determine velocity movement of high sinter layer, i.e. at a predetermined height of the sinter layer – the capacity of loading device.

Originality. The expressions that determine the forces acting in the high layer that is provided by sintering machine loading device will allow to appoint geometric and kinematic parameters of loading device for loading it with high sinter layer.

Practical value. The results of analytical studies of the possibility of loading of high layer of sinter are the first steps in solving the problem of high-layer metallurgical charge agglomeration.

Key words: boot device; forces acting in the high layer charge.

Поступила 02.08.2016