Полученные образцы были подвержены механическим испытаниям на универсальной разрывной машине Zwick 1464. Скорость нагружения составляла 10 мм/мин.

В результате механических испытаний прочность полученного сварного соединения оказалась выше предела прочности используемого материала полистирола.

Проведенные эксперименты позволили реализовать процесс лазерной сварки просвечиванием для двух непрозрачных в оптическом диапазоне элементов. Были выявлены ряд устранимых недостатков, несмотря на которые, прочность соединения оказалась выше предела прочности используемого материала. Определены технологические параметры для лазерной сварки полистирола.

1. Григорьянц А.Г., Соколов А.А. Кн.4 Лазерная обработка неметаллических материалов. М.: Высшая школа, 1998.-191с.
2. Журнал «Полимерные материалы. Изделия, оборудование, технологии»/ Ф. Бруннекер, М. Зибен, М.: Издательство Полимерные Материалы, 2011. – 118 с.
3. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения.М.: Высшая школа, 1974.

Филиппов В.Е., Крылатова С.Р., Яковлев Б.В., Лебедев И.Ф.

Математическое моделирование вероятности положения частицы на рабочей поверхности винтового пневмосепаратора

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им.Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, Северо-Восточный Федеральный университет
(Россия, Якутск)*

doi: 10.18411/lj-25-12-2017-02

idsp: 000001:lj-25-12-2017-02

Аннотация

При математическом моделировании процессов происходящих в устройствах обогащения полезных ископаемых появляются задачи определения вероятности местонахождения частицы на рабочих поверхностях устройств. В настоящей работе для решения подобной задачи предлагается статистический подход, а именно, при определении вероятности используется идея метода Гиббса. Разработаны математическая модель винтовой поверхности пневмосепаратора, модель движения частицы и потока невзаимодействующих частиц по рабочей поверхности сепаратора, и алгоритм определения концентрации потока частиц. Рассчитанное распределение концентрации невзаимодействующих частиц на рабочей поверхности устройства отождествляется с распределением вероятности местонахождения одной частицы.

Ключевые слова: винтовой сепаратор, концентрация, статистический метод, уравнение движения, поток частиц, обогащение, математическая модель.

Одним из эффективных устройств для обогащения золотосодержащих руд является винтовой пневмосепаратор, разработанный в ИГДС СО РАН [1]. В отличие от других винтовых сепараторов, пневмосепаратор продувается воздухом с нижней части устройства, и из-за наклона рабочей поверхности тяжелая частица смещается в центральную часть сепаратора и отделяется. Частицы песка, под действием потока воздуха совершая вращательное движение, уходят вверх и выбрасываются из сепаратора. Для усовершенствования пневмосепараторов необходимы теоретические исследования движения частиц на рабочей поверхности сепаратора [2]. В работах [3-5] представлены математические модели движения частицы в винтовом сепараторе. В [6] исследованы процессы сепарации в винтовом сепараторе методом дискретных элементов.

В этих исследованиях появляется задача определения вероятности положения частицы на рабочей поверхности в процессе работы устройства.

Моделирование движения частицы в винтовом пневмосепараторе

В настоящей работе для описания движения частицы используется идея метода Гиббса. То есть вместо последовательных (по времени) состояний системы вводится ансамбль, который представляет собой совокупность возможных состояний многих систем с определенными начальными условиями. На первом этапе работы определяется движение одной частицы внутри пневмосепаратора под действием направленного потока воздуха. В качестве рабочей поверхности выбрана винтовая поверхность с определенным углом раствора и аксиальным углом наклона. Математическая модель рабочей поверхности винтового сепаратора получена обобщением модели конической поверхности, т.е добавляется третья аксиальная компонента нормали поверхности (рис.1).

Рисунок 1 - Рабочая поверхность винтового пневмосепаратора

Представленная на рисунке 2 коническая поверхность является вспомогательной моделью [3]. Ось симметрии конуса расположена вертикально. Начало координат совпадает с вершиной конуса (рис.2).

Рисунок 2 - Модель конической поверхности

Уравнение движения частицы на конической поверхности имеет вид:

$$m\ddot{\vec{R}} = \vec{F}_e + m\vec{g} + \vec{F}_{mp} + \vec{N} \quad (1)$$

где $\vec{R}$ – радиус вектор тела, m – его масса, $\vec{F}_e = F_e \vec{e}_\psi = a(v_0 - v_\psi) \vec{e}_\psi$ – сила действия потока воздуха, a – коэффициент сопротивления при движении тела в воздушной среде, зависящая от характеристики среды, формы и свойств тела, v_0 –

скорость потока воздуха, v_ψ – аксиальная составляющая скорости движения тела, $\vec{e}_\psi$ – направление движения потока воздуха, $\vec{g} = -g\vec{e}_z$ – ускорение свободного падения,

$\vec{F}_{mp} = -Nf \frac{\vec{v}}{v}$ – сила трения о поверхность,

$\vec{N} = \vec{N}(v_\psi, r) = m \left(g \cdot \sin(\alpha) + \frac{v_\psi^2}{r} \cdot \cos(\alpha) \right) \vec{e}_n$ – сила реакции поверхности,

$\vec{e}_n = -\cos(\alpha)\vec{e}_r + \sin(\alpha)\vec{e}_z$ – внутренняя к конической поверхности нормаль, α – угол раствора конуса, r – расстояние от оси конуса до тела, ψ – угол цилиндрической системы координат, $\vec{e}_r$, $\vec{e}_\psi$, $\vec{e}_z$ – базисные вектора цилиндрической системы координат.

Из формулы (1) получена система дифференциальных уравнений с начальными условиями: $r(0) = r_0$, $\psi(0) = \psi_0$, $z(0) = z_0$, $v_r(0) = 0$, $v_\psi(0) = 0$, $v_z(0) = 0$

$$\dot{r} = v_r$$

$$\dot{\psi} = \frac{v_\psi}{r}$$

$$\dot{z} = v_z$$

$$\dot{v}_r = \left(\frac{v_\psi^2}{r} \cdot \sin\alpha - g \cdot \cos\alpha \right) \sin\alpha - f \frac{N}{m} \frac{v_z}{v} \tan(\alpha)$$

$$\dot{v}_\psi = \frac{\alpha}{m} (v_0 - v_\psi) - \frac{v_r v_\psi}{r} - f \frac{N}{m} \frac{v_\psi}{v}$$

$$\dot{v}_z = \left(\frac{v_\psi^2}{r} \cdot \sin\alpha - g \cdot \cos\alpha \right) \cos\alpha - f \frac{N}{m} \frac{v_z}{v}.$$

Эта система решается методом Рунге-Кутты, тем самым определяется закон движения частицы по конической поверхности (рис. 3).

Рисунок 3 - Траектория движения частицы по конической поверхности. а- вид сбоку, б- вид сверху

Определение вероятности положения частицы

Используя полученный результат можно определить траектории и законы движения и для системы невзаимодействующих частиц. Совокупность состояний невзаимодействующих частиц принимаем за статистический ансамбль. Ясно, что в начальный момент времени вдоль радиуса винтовой поверхности распределение вероятности положения частицы однородно. Зная начальные условия для невзаимодействующих частиц можно определить концентрацию частиц на винтовой поверхности в последующие моменты времени. При стационарном случае (т.е. при однородном потоке) получается определенное независимое от времени распределение плотности частиц на поверхности. Согласно методу Гиббса это распределение отождествляется с распределением вероятности местонахождения одной частицы. В качестве примера в работе рассмотрен поток на одном витке из 30 частиц с равномерным начальным распределением по радиусу. Вероятность местонахождения частицы на конической поверхности определяется как концентрация этого потока.

С целью определения концентрации потока частиц коническую поверхность отображаем на плоскость (рис.4), которую назовем модельной плоскостью. Допустим имеется некоторый поток частиц в модельной плоскости с заданными координатами и скоростями в начальный момент времени. Законы движения для каждой частицы известны. Для решения задачи используем вычислительные свойства компьютера. На компьютере строим положение частицы в плоскости за равные промежутки времени (потому что, в начальный момент времени поток однородный). В окрестности точки наблюдения (X, Y) выделяем физически бесконечно малую область, например, для плоской задачи окружность с радиусом R с центром в точке наблюдения. Относительно этой точки наблюдения определяем расстояние всех точек потока по формуле $L_i = \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2}$.

Следующий шаг: создаем программу, определяющую расстояния до точек, которые лежат только внутри этой окружности:

$$L1_{i,k} = \begin{cases} 0 & \text{if } L_{i,k} > R \\ L_{i,k} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рисунок 4 - Распределение частиц на модельной плоскости

Расстояния до тех точек, которые лежат вне окружности зануляются программой. Таким образом, получается двумерная матрица данных определяющая расстояния от центра окружности до точек лежащих внутри него. Элементы матрицы делятся на значение самих элементов.

$$K_{i,k} = \frac{L1_{i,k}}{L1_{i,k}}$$

Тогда элементами матрицы является только 0 и 1. Следовательно, суммируя все элементы матрицы $k = \sum_{i=0}^n (\sum_{k=0}^n K_{i,k})$ получаем количество частиц внутри окружности

с физически бесконечно малым объемом. Выбирая координаты точек наблюдения, и введя соответственно физически бесконечно малые области, определяем количество частиц внутри такой «подвижной» окружности на всей плоскости. Концентрация частиц определяется отношением количества частиц на площадь окружности. На рисунке 5 представлен график концентрации частиц на модельной плоскости. Согласно модели вероятность нахождения частицы на этой плоскости пропорциональна этой концентрации.

Рисунок 5 - Распределение концентрации на модельной плоскости. а – вид сверху, б – вид сбоку

Заключение

Предложен статистический метод определения вероятности положения частицы внутри сепаратора в зависимости от параметров системы (масса и размер частицы, скорость потока воздуха). Полученный результат является основой для разработки задач коллективного движения частиц. Изложенный метод может быть использован для определения вероятности местонахождения частиц и для других устройств.

1. Патент № 2167005, 7 В 07 В 7/08. Пневмосепаратор / Матвеев А.И., Филиппов В.Е., Федоров Ф.М., Григорьев А.Н., Яковлев В.Б., Еремеева Н.Г., Слепцова Е.С., Гладышев А.М., Винокуров В.П./ИГДС СО РАН; Заявл. 11.06.99; Опубл. 20.05.2001 // Изобретения. Полезные модели. – 2001. – №14. – Ч.2. – С. 346.
2. Шувалов С. И., Андреев А. А. Математическое описание движения частиц в динамическом сепараторе // Вестник Иван. гос. энерг. унта. Выпуск 1. Иваново ИГЭУ. 2005. - с. 25-28.
3. Матвеев А.И., Лебедев И. Ф., Никифорова Л.В., Яковлев Б.В. Моделирование движения частиц в винтовом пневмосепараторе//Горный информационно-аналит. бюллетень № 10 2014. С. 172-178.
4. Kapur P.C., Meloy T.P., Spirals Observed. International Journal of Mineral Processing 1998, 53, 15–28.
5. Das, S.K.; Godivalla, K.M.; Panda, L.; Bhattacharya, K.K.; Singh, R.; Mehrotra, S.P. Mathematical modeling of separation characteristics of coal-washing spiral // Int. J. Miner. Process. 2007, 84, 118–132.
6. Mishra B.K., Alok Tripathy, 2010. A preliminary study of particle separation in spiral concentrators using DEM // Int. J. Miner. Process. 94, 192–195.