

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Григорьев М.С., Бойко Д.Ю.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Ключевые слова: УПВС, сухое обогащение, воздушный поток.

Аннотация. В данной статье рассмотрено описание полета частицы в воздушном потоке, выявлены закономерности, позволяющие произвести оценку процесса обогащения полезных ископаемых методом пневматической сепарации.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF PNEUMATIC VACUUM SEPARATION BASED ON A MATHEMATICAL MODEL

Grigoriev M.S., Boyko D.Yu.

Siberian state industrial university, Novokuznetsk

Keywords: UPVS, dry enrichment, air flow.

Abstract. This article describes the flight of a particle in an air stream, and identifies patterns that allow evaluating the process of mineral enrichment by pneumatic separation.

Пневматическая сепарация является перспективным направлением развития технологии обогащения полезных ископаемых [1-4]. Это обусловлено необходимостью ведения технологических процессов в районах с недостатком водных ресурсов или при устойчивых отрицательных температурах. Основной задачей исследования процесса вакуум-пневматической сепарации является расширение знаний о механизме и закономерностях сепарационного процесса и выбор путей повышения его эффективности. Решение поставленной задачи требует разработки математической модели, связывающей входные и выходные параметры процесса и позволяющей выбрать технические решения по изменению конструкции аппарата или режимных параметров его работы. Задачей моделирования являлось получение количественных зависимостей ускорения, скорости и пути, пройденного частицей от времени, размера и плотности частицы, скорости и координаты потока, скорости подачи зерен в поток воздуха.

При этом значительное внимание должно быть уделено повышению адекватности разрабатываемой модели, в частности за счет учета пространственной нелинейности воздушного потока в рабочей зоне сепаратора.

Основным принципом моделирования явилось получение комбинированной стохастико-детерминированной модели, использующей практические данные об аэродинамике воздушных потоков в рабочей зоне сепаратора и фундаментальные уравнения аэродинамики дисперсных систем.

Скорость движения зерен в заданный момент времени определяется как сумма скорости зерна в предыдущий момент времени и ускорения (g) зерна за промежуток времени между текущим и предыдущим моментами

$$\bar{V}_{i+1} = V_i + \bar{a}_i \cdot \Delta\tau,$$

где $\bar{a}_{y,i} = \bar{g} - \bar{F}_i / m$; $\bar{F}_i$ – сила лобового сопротивления, m – масса зерна

Особенности сепарации во всасывающем потоке обусловлены нелинейным характером поля скоростей в пространстве перед всасывающим отверстием (рис. 1). В случае всасывания воздуха через отверстие конечного размера зависимость изменения скорости воздуха от линейного расстояния до плоскости, в которой лежит отверстие, имеет вид степенной функции с показателем степени более 1 но менее 2. Показатель степени близкий к единице относится к модели всасывания воздуха через щель бесконечно малой ширины и бесконечно большой длины:

$$V_x = V_0 / \pi (\arctg \frac{y + B_0}{x} - \arctg \frac{y - B_0}{x}),$$

где V_x – скорость воздуха; V_0 – скорость в центре отверстия; B_0 – половина ширины отверстия; y – расстояние до оси отверстия; x – расстояние до плоскости отверстия.

Показатель степени близкий к двум относится к модели всасывания воздуха через точечное отверстие бесконечно малого диаметра:

$$V_{oc} = V_0 (1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{R_0}{x})^2}})$$

где V_{oc} – скорость на оси отверстия; R_0 – радиус отверстия.

Расчетные зависимости скорости воздушного потока от координаты точки, показывают, что вблизи оси отверстия должна наблюдаться линейная зависимость, а вблизи границ отверстия – степенная зависимость, приближающаяся к степенной. На границе линейного отверстия конечного размера зависимость скорости от координаты резко меняется и приближается к зависимости для точечного стока.

Реальные измерения скоростей потока воздуха, полученные на модельном сепараторе с размером отверстия (сопла) 200x400 мм показали некоторое отличие фактических зависимостей от расчетных. Так полученные зависимости изменения скорости потока воздуха по оси сопла сепаратора несколько отличаются от линейных.

Зависимости скорости потока воздуха от расстояния до плоскости сопла по оси, лежащей на координате, близкой к границе отверстия приближаются к степенным с показателем степени близко к 1,4.

Результаты измерений скорости потока воздуха в открытом сопле показали, что предлагаемые модели весьма приблизительно описывают реальные данные. Причиной существенных отклонений (до 40%) является сложность объекта исследований, а так же образование устойчивых вихрей как снаружи всасывающего отверстия, так внутри его.

Полученные данные позволяют оценить влияние зольности, как основного показателя. Рассмотрим поведение двух «равнопадаемых» кусков, совпадающих по форме и отличающихся по плотности. Возьмем «равнопадающие» кусок угля крупностью 50 мм и кусок породы крупностью 25 мм (плотность угля составляет 1450 кг/м³ а плотность породы – 2650 кг/м³ а коэффициент равнопадаемости – 1,828). Оценим скорость воздуха, давящего на куски, лежащие на общей перфорированной поверхности. В начале зоны скорость воздуха на уровне геометрического центра куска угля ($L_1 = 100 - 25 = 75$ мм) составит 9,5 м/с.

Скорость воздуха на уровне геометрического центра куска породы ($L_2=100-12,5=87,5\text{мм}$) составит 9,1 м/с. Относительная разница скоростей составит 4,3%. Если приблизить куски к соплу сепаратора (на 25 мм), то скорости воздуха составят для средних координат кусков угля ($L_1 = 75-25=50\text{ мм}$) и породы ($L_2 = 75-12,5=62,5\text{ мм}$), соответственно, 10,3 и 9,9 мм. Относительная разница скоростей составит 4,0%.

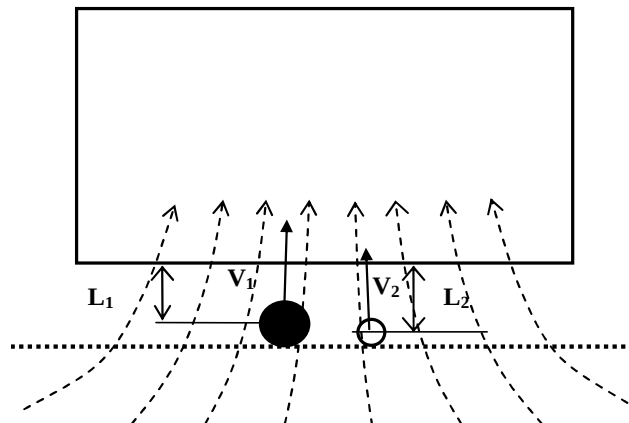


Рис. 1. Схема взаимодействия воздушного потока с кусками угля и породы одинаковой гидравлической крупности, расположенными на перфорированной поверхности: L_1, L_2 – расстояние от среза сопла до центра куска угля, породы; V_1, V_2 – скорость воздушного потока на уровне центра кусков угля, породы

Выводы. Установленная закономерность усиления воздействия неоднородного воздушного потока на более крупные куски за счет их более близкого расположения к соплу сепаратора будет положительно влиять на сепарационные характеристики процесса пневматической сепарации. Характерно, что относительно небольшое отличие в скоростях потоков приводит к более заметному различию в ускорениях и скоростях витания кусков угля и породы.

Список литературы

1. Патент РФ № 2282503. Способ сухого обогащения угля / Кузьмин А.В., Люленков В.И., Качуров К.В., Кардаков А.Л., Бойко Д.Ю. – Оpubл. 27.08.2006, Бюл. №24.
2. Кузьмин А.В., Бойко Д.Ю., Адов В.А. Разработка комбинированной технологии сухого обогащения угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №15. – С.507-516.
3. Кузьмин А.В. Технология сухого обогащения // Глобус, геология и бизнес. – 2011. – №3(16). – С. 36.
4. Авдохин В.М., Морозов В.В., Кузьмин А.В., Бойко Д.Ю., Калина А.В. Вакуумно-пневматическая сепарация труднообогатимых углей // Горный журнал. – 2008. – №12. – С.56-60.
5. Бойко Д.Ю., Адов В.А. Исследование процесса пневматического обогащения углей шахты «Восточная» // Материалы международной конференции, Екатеринбург, 21-24 апреля 2009г. – Екатеринбург, 2009. – С.193-196.

Сведения об авторах:

Григорьев Максим Сергеевич – магистрант, СибГИУ, г. Новокузнецк;

Бойко Дмитрий Юрьевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры механики и машиностроения, СибГИУ, г. Новокузнецк.