

УДК 622. 7

Н.Т. Анисимов

В.Н. Анисимов

(Украина, Национальный горный Университет)

Теория разделения материала на грохотах в системе управления технологическим процессом обогащения и её практическое применение.

Управление технологическим процессом предполагает управление комплексом технологических операций в соответствии с технологическим регламентом. В связи с отсутствием методов и средств контроля характеристик продуктов, параметров разделительной среды и работы аппаратов решение вопросов автоматического управления технологическим процессом осуществлялось следующим образом.

В зависимости от поставленной цели формируется объект управления, это может быть целая технологическая схема или её часть. Сформированный объект представляется в формализованном виде взаимосвязанными математическими моделями. Используя полученную формализацию, осуществляется автоматическое управление технологическим процессом.

Одной из таких математических моделей является представление процесса разделения материала с помощью грохочения.

В обогащении процесс разделения - грохочения материала, представленного в виде отдельных кусков применяется очень широко и в различных аспектах, отличающихся определенными свойствами, требованиями, назначением и др. В широком понятии процесс грохочения принято называть классификацией. В зависимости от того, насколько правильно осуществляется разделение материала в процессе грохочения, формируется качество продуктов, а также режимы работа последующих технологических операций в схемах обогащения.

В теории и инженерной практике для оценки процесса грохочения применяют различные показатели, а наиболее часто – эффективность грохочения. Данный

показатель представляют одним числом. Его действительное значение определяется по результатам опробования продуктов грохочения, и к сожалению, только после того, как классификация осуществилась. В технологических расчетах его значение принимают по практическим данным, а при ведении технологического процесса считают постоянным. В действительности указанный параметр зависит от многих факторов и от их значения постоянно изменяется.

Анализ параметров процесса грохочения и принципа работы аппаратов позволил выполнить его формализацию.

Математическое описание процесса выполнено с учетом следующих параметров: геометрических размеров просеивающей поверхности; угла установки поверхности и его направления; формы траектории колебаний просеивающей поверхности, частоты колебаний и амплитуды; формы отверстий в просеивающей поверхности и коэффициента живого сечения; гранулометрической характеристики полезного ископаемого, которое подлежит грохочению, его максимальной крупности и влажности; формы частиц материала и состояния их поверхности (относительно коэффициента скольжения), размокаемости частиц и их липкости.

При этом в процессе работы, полученные аналитические зависимости предназначались для решения следующих задач: определения времени пребывания материала на просеивающей поверхности грохота (времени грохочения); расчета прохождения материала через отверстия в просеивающей поверхности (эффективность грохочения); теоретического определения гранулометрической характеристики над решетного и под решетного продуктов.

Расчет времени классификации - грохочения.

На вибрационных грохотах прохождение материала по просеивающей поверхности осуществляется циклически. Математическая модель разработана таким образом, что рассчитывается время и длина пути, который проходит материал в каждом цикле и другие составляющие.

Длины интервалов пути (циклов) складываются до выполнения условия $L_c = L_{rp}$, а именно:

,

(1)

где: L_{np} – длина просеивающей поверхности грохота, м; l_i – длина полета в i -м бросании, м; L_c – суммарный путь, пройденный частицей за n бро саний, м.

При выполнении условия устанавливается количество циклов n .

Продолжительность грохочения определяется как сумма интервалов времени всех циклов:

$$t_{cp} = \sum_{i=1}^n t_{ci} \quad (2)$$

где t_{ci} – время полета частицы в i -м бросании, с.

Время грохочения в значительной степени зависит от влажности и содержания глинистых примесей в материале, подлежащем разделению. Влияние данных факторов учитывается уравнением регрессии:

$$t = t_{cp} \left[\frac{a}{W} + b \right] \quad (3)$$

где a и b – коэффициенты уравнения регрессии; W – влажность материала, %.

Формализация второй задачи.

За время пребывания материала на просеивающей поверхности должно произойти его разделение на классы крупности. Поскольку процесс грохочения является массовым и случайным, то для расчета эффективности использованы положения теории вероятностей и математической статистики с учетом параметров и свойств материала и характеристик оборудования.

Вероятность прохождения зерен через отверстия в просеивающей поверхности зависит от соотношения диаметров зерен к диаметру отверстия в сите.

Величина данного события определится по выражению:

$$\quad (5)$$

где β – это обратная вероятность, характеризующая вероятность не прохождения зерен через отверстия.

$$q_p^i = D_3^i / D_0, \quad (4)$$

где D_3^i , D_0 - диаметры зерна i -го класса крупности и соответственно отверстия в сите, м.

Просеивание зерен через отверстия поверхности осуществиться в том случае если наступит их совмещение с отверстиями. Вероятность этого события определится по выражению:

$$P_{жс} = S_o / S_s, \quad (6)$$

где S_o - суммарная площадь отверстий в просеивающей поверхности, m^2 , S_s — площади просеивающей поверхности, m^2 .

Прохождение зерна через отверстие зависит также от его крупности и плотности. Для классов крупности материала, подлежащего грохочению, вероятность определится:

$$P_m = M_i / M_1, \quad (7)$$

где M_i , M_1 — массы зерен всех классов крупности и первого класса, кг.

Для прохождения зерна через отверстие требуется, чтобы осуществилась совокупность вероятностей $P_{жс}$, P_p^1 и P_m . Поскольку в данном случае имеется логическое "И", то выражение для вычисления вероятности примет вид:

$$P_z = P_p^1 P_{жс}^1 P_m^1 P_p^2 P_{жс}^2 P_m^2 \dots P_p^n P_{жс}^n P_m^n, \quad (8)$$

Для технологического процесса благоприятствующим исходом будет такой, когда все зерна заданной крупности прошли через просеивающую поверхность. Для просеивания достаточно наступление одного благоприятствующего события. Исходя из этого, находится необходимое количество испытаний как отношение числа благоприятствующих исходов к полной вероятности:

$$N = 1/P_z, \quad (9)$$

С учетом удельной на грузки и выхода соответствующего класса вычисляется количество зерен, размер которых больше размера отверстия в просеивающей поверхности грохота.

Рассчитывается количество отверстий в единице площади просеивающей поверхности и определяется количество свободных отверстий, не закрытых зернами, размер которых больше размера зерна грохочения.

Количество испытаний в единицу времени, т. е. количество подбрасываний или колебаний частиц поверхностью определится:

$$N_u = K_{co} n_z / K_{ч}, \quad (10)$$

где $K_{ч}$ – коэффициент, равный отношению периода колебания грохота к времени полета частицы; n_z , - число колебаний грохота, c^{-1} .

Если количество испытаний в единицу времени N_u меньше количества необходимых испытаний N , то эффективность грохочения рассчитывается по формуле:

$$E = N_u / N, \quad (11)$$

Если количество испытаний в единицу времени N_u больше количества необходимых испытаний N , то эффективность грохочения рассчитывается по выражению:

$$E = 1 - g_p^i, \quad (12)$$

где $g_p^i = 0,1...0,01$ части выхода класса крупности, по которому осуществляется грохочение, доли ед.

Как известно из практики эксплуатации грохотов, эффективность процесса в

значительной степени зависит от влажности материала и от типа вмещающей породы. Количественная мера влияния указанных параметров на эффективность грохочения учитывается соответствующими уравнениями.

В общем виде математическая зависимость для расчета эффективности при сухом грохочении имеет вид:

$$E_{\text{сп}} = \begin{cases} E(a_1W + b_1) & \text{при } W < 6, \\ E(a_2W^2 + b_2W + C_1) & \text{при } 6 < W < 9, \\ E(a_3W - b_3) & \text{при } W > 9, \end{cases} \quad (13)$$

где $a_1, b_1, C_1, a_2, b_2, a_3, b_3$ — коэффициенты уравнений; W — влажность материала.

Для расчета эффективности при мокром методе грохочения выражение запишется:

$$E_{\text{сп}} = \begin{cases} E(a_4/R) - b_4 & \text{при } 0,16 < R < 0,88, \\ E(a_5R^2 + b_5R + C_2) & \text{при } 0,88 < R < 1,4, \\ E(a_6R + b_6) & \text{при } R > 1,4, \end{cases} \quad (14)$$

где $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, a_3, b_3$ — коэффициенты уравнений; R — удельный расход воды, м³/т.

В процессе грохочения образуется шлам, количественно данный фактор учитываются по общепринятой методике, поэтому математические выражения не приводятся.

Разработка реализована в составе компьютерной системы для угольной промышленности, а также в индивидуальном исполнении. Методика расчета проверена в практических условиях для различных грохотов (ГИСТ-72 и ГИСЛ-62). В качестве примера приведены испытания процесса грохочения на грохоте ГИСТ – 72 с учетом всех параметров. В данном случае приведены лишь некоторые результаты.

Линейная скорость вращения просеивающей поверхности равна 0,23 м/с. Период вращения просеивающей поверхности – 0,0815 с. Время полета частиц над просеивающей поверхностью в первом цикле бросания – 0,1274 с.

Высота подъема материала над просеивающей поверхностью в первом цикле – 0,0117 м. Путь, проходящий частицей за одно подбрасывание – 0,0661 м. Время

грохочения – 12,0573 с. Отношение периодов колебаний просеивающей поверхности и полета частицы (коэффициент) – 1,5633. Класс крупности, по которому происходит разделение - 13,00мм. Удельная нагрузка на грохот – 0,0049 кг/м²с. Толщина слоя материала на грохоте – 0,0049 м. Эффективность грохочения – 0,9324. Гранулометрические характеристики исходного материала, а также над решетного и под решетного продуктов, приведены в таблице. Общая производительность грохота – 471,26 т/ч.

Таблица

Класс крупности, D_i , мм	Выход класса, g_i , %	Зольность класса, Ad_i , %	Над решетный		Под решетный	
			g_i , %	Ad_i , %	g_i , %	Ad_i , %
100 – 75	7,5	45,0	6,76	45,0	0,000	0,00
75 – 50	15,0	45,5	14,46	45,5	0,000	0,00
50 – 25	25,0	44,0	24,80	44,0	0,000	0,00
25 – 13	30,0	44,5	29,97	44,5	0,000	0,00
13 – 0,5	15,0	44,0	1,01	44,0	14,0	44,0
0,5 – 0,0	7,5	44,0	0,61	44,17	8,4	44,17
Итого	100,0	44,45	77,6	44,39	22,4	44,06

Анализ гранулометрического состава продуктов разделения показывает, что процесс грохочения следует оценивать совершенно по иному, как это принято. В существующих методиках расчета эффективности грохочения, например, при разделении по крупности 13 мм, принимается определенной для классов 13 – 0,5 и ниже для класса 0,5 – 0 мм. В действительности эффективность грохочения равна нулю для частиц, крупность которых 13 мм и возрастает с уменьшением их размера до 0,5 мм. В общем эффективность разделения для класса крупности – 13 + 0,5 равна 0,93, а для класса крупности _ 0,5 + 0,0 мм. равна единице.

Шламообразование, в процессе грохочения составило 1,1 % абсолютных. Если материал обладает способностью к образованию шлама, то эффективность следует определять как отношение количества под решетного продукта к общему количеству под решетного продукта и его остатку в над решетном а не к его количеству в исходном.

Теоретические расчеты проверены в производственных условиях, при этом сравнивались значения параметров: эффективность грохочения, шламообразование, распределение классов крупности, время грохочения.

Анализ осуществлялся с использованием точечных и интервальных оценок, а также критериальных, относительно соответствующих законов распределения.

Сходимость проверки по всем составляющим высокая, а отклонения не превышает 0,05 абсолютных значений.

Разработанный программный модуль на базе математической модели, возможно использовать при расчете технологических показателей, разработке систем управления, проведения теоретических исследований при создании новых типов грохотов, например, при выборе частоты колебаний и амплитуды, а также размеров просеивающей поверхности, что возможно достичь с помощью коэффициента, который определяется как отношение времени одного цикла бросания к периоду вращения короба. Исследования показывают, что для отечественных грохотов частота колебаний завышена в 1,5 – 3 раза.

Разработанные теоретические положения и программный модуль использованы при создании системы управления технологическим процессом обогащения углей с применением процесса отсадки.