

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФРАКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Ариненков Ю.Д., канд. тех. наук, доцент,
Донецкий национальный технический университет

Поставлена задача разработать методы линейного и нелинейного преобразования фракционных характеристик сыпучих материалов и дать анализ их применимости для моделирования конкретных технологических процессов. Установлено, что обратное линейное преобразование соответствует корректировке материального баланса, прямое моделирует избирательное дробление, прямое нелинейное с последующим обратным линейным моделирует процесс дробления промежуточного продукта.

Put problem to develop methods of single-line and nonlinear transformation of factious features of loose material and give an analysis of their aplicability for modeling of concrete technological processes. Install that inverse single-line transformation corresponds to an adjustment of material balance, direct prototypes an electoral crushing, direct nonlinear with following inverse single-line prototypes a process of crushing an intermediate product

Основной целью обогатительной технологии является увеличение сепарабельности (делимости) перерабатываемого материала путём его измельчения (при доказанной целесообразности) и деление этого материала на два несепарабельных (неделимых) продукта - на концентрат и отходы. Измельчительный процесс является источником сепарабельности обогащаемого материала и может быть как основным в технологии, так и сопутствующим в других процессах. Измельчительные процессы считались наиболее сложными для моделирования. Например, в монографии [1] приведена обширная библиография работ в этой области, но предпочтительные методы оценки, описания и преобразования гранулометрического и фракционного состава сыпучих материалов не предложены. В последнее время проблема целевого описания обогатительных моделей получила развитие в работах [2, 3], но моделирование измельчительного процесса разработано недостаточно. Поэтому здесь впервые ставится задача разработать математический аппарат линейного, нелинейного

и имитационного преобразования фракционных характеристик в процессах измельчения при моделировании их как «чёрного ящика» с соблюдением условий материального баланса.

Обратное линейное преобразование. Пусть будут даны n фракций с выходами $\Delta\gamma_{1,i}$ и зольностью $\beta_{1,i}$, где число 1 обозначает номер продукта, i - номер фракции, $i = 1, 2, \dots, n$. Требуется линейно преобразовать эти данные так, чтобы суммарный выход стал равным величине u и суммарная зольность стала равной z .

Для решения задачи применим уравнение прямой в общем виде

$$v = A_0 + A_1 \cdot \beta_{1,i}, \quad (1)$$

где v , A_0 и A_1 - функция и коэффициенты этого уравнения, к преобразованию выходов фракций. Получим новые выходы фракций

$$\Delta\gamma_{2,i} = \Delta\gamma_{1,i} \cdot (A_0 + A_1 \cdot \beta_{1,i}) \quad (2)$$

При суммировании новых выходов фракций по всем $i = 1, 2, \dots, n$ должны выполняться заданные условия и по суммарному выходу

$$A_0 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i} + A_1 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i} \cdot \beta_{1,i} = u, \quad (3)$$

и по суммарной зольности

$$A_0 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i} \cdot \beta_{1,i} + A_1 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i} \cdot \beta_{1,i}^2 = u \cdot z. \quad (4)$$

Решая систему уравнений (3) и (4) относительно коэффициентов A_0 и A_1 для заданных значений u и z методом исключения, получим:

$$A_1 = \frac{u \cdot \left(z \cdot \sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i} - \sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i} \cdot \beta_{1,i} \right)}{\left(\sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i} \cdot \beta_{1,i}^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i} \cdot \beta_{1,i} \right)^2}, \quad (5)$$

$$A_0 = \frac{u - A_1 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i} \cdot \beta_{1,i}}{\sum_{i=1}^n \Delta\gamma_{1,i}}. \quad (6)$$

Теперь, с учётом коэффициентов A_1 и A_0 по (5) и (6), искомые значения откорректированных выходов фракций $\Delta\gamma_{2,i}$ определяются из формулы (2). Решение задачи получено. Оно сводится к нахождению коэффициентов уравнения, поэтому такое преобразование следует называть *обратным линейным*.

Первое же применение разработанной по этому алгоритму программы ASELECTM показало, что линейное преобразование сепара-

ционных характеристик полезно также и для обратной задачи по отношению к рассмотренной - для моделирования явления самоизмельчения, образования шлама и других сходных процессов.

Прямое линейное преобразование. Постановка и решение такой задачи оказываются проще, чем для обратного преобразования. Здесь исходными данными преобразования являются измельчаемость чистого угля i_u , % и чистой породы i_p , %. На основании этих заданных параметров вычисляются коэффициенты уже рассмотренной линейной модели (1) по нижеследующим формулам:

$$A_0 = 1 - i_u / 100, \quad (7)$$

$$A_1 = (i_u - i_p) / 10000. \quad (8)$$

Теперь, с учётом коэффициентов A_0 и A_1 по (7) и (8), искомые значения моделируемых выходов фракций $\Delta\gamma_{2,i}$ определяются из (2).

Длительная практика широкого применения в учебном процессе и в научных исследованиях разработанных алгоритмов и программ показала, что они действительно обеспечивают эффективную корректировку баланса, синтез фракционного состава по ближайшему аналогу (например, синтез отсутствующего в данных фракционного состава класса 0-0,5мм), моделирование процесса самоизмельчения с точностью 0,01%.

Прямое нелинейное преобразование. Опыт применения обратного и прямого линейного преобразования послужил основанием для постановки и решения задачи прямого нелинейного преобразования фракционных характеристик в моделировании процессов селективного дробления и измельчения, например, при дроблении промежуточного продукта, когда происходит эффективное раскрытие сростков угля и породы, особенно при отработке угольного пласта с многочисленными прослойками породы.

Замена преобразующего уравнения прямой линии (1) уравнением параболы позволяет локализовать эффект уменьшения содержания фракций именно в зоне минимума этой параболы.

Фиксация положения минимума преобразующей функции в зоне зольности промежуточного продукта одновременно упрощает алгоритм до уровня уже рассмотренного прямого линейного преобразования.

Теперь на первый план выходит инженерная задача задания величины прогиба параболы через модель её связи с такими параметрами и характеристиками процессов дробления и (или) измельчения как

крупность исходного материала, размер вкрапленностей полезного минерала, предельная степень дробления, объём дробильной камеры, динамическая характеристика дробилки (постоянная времени) и её производительность, плотность руды.

Составление соответствующей модели сводится к назначению настроечных коэффициентов и поэтому требует проведения идентифицирующих экспериментов в промышленных условиях.

Разработанная программа моделирования процесса дробления промежуточного продукта предоставляет студентам и экспертам возможность приобретения таких навыков путём проведения имитационных экспериментов с помощью перестраиваемой в интерактивном режиме модели на ЭВМ. Протокол выбора решаемых программой ASELECTM задач показан на рис.1.

Таблица 1

Меню решаемых задач	
Возврат в Меню Norton Comander	-0
Анализ -откорректировать состав	-1
Синтез - учесть самоизмельчение	-2
Синтез - дробить промпродукт	-3

Выберите из меню нужный параграф-

Рисунок 1 - Выбор решаемых задач

Первая в этом списке задача имеет наиболее широкое применение как для проверки материального баланса, так и для синтеза данных фракционного состава класса крупности, для которого такие данные отсутствуют.

Обычно в таблицах фракционного состава угля отсутствуют данные о классе 0 -0,5мм, из-за сложности расслоения мелких фракций. В этом случае в качестве исходных данных загружается близкий по характеристике прототип, который по известным значениям выхода и зольности отсутствующего в таблице класса синтезирует данные его фракционного состава достаточно правдоподобно. Пример решения такой задачи показан на рис.2.

Таблица 3. Анализ. Корректировка выходов и зольности

Номер фракции	Исходные параметры		Вычисленные параметры	
	Выход %	Зольность %	Выход %	Зольность %
1	20.00	6.00	12.51	6.00
2	1.50	44.00	0.91	44.00
3	15.00	88.00	8.80	88.00
4	36.50	41.26	22.22	40.04

Коэффициент уменьшения выхода чистого угля 37.183%

Коэффициент уменьшения выхода чистой породы 41.886%

Press any key

Рисунок 2 - Протокол корректировки материального баланса

Вторая задача (прямое линейное преобразование) даёт весьма точное решение (с ошибкой 0,01%) для процессов самоизмельчения, образования шлама. Нужно подчеркнуть, что само по себе прямое линейное преобразование представлялось совершенно бесполезным и область его возможного применения для моделирования процесса самоизмельчения была установлена совершенно случайно. Пример задания режима моделирования самоизмельчения показан на рис.3.

Таблица 2.

Нормы шламообразования для продуктов различных процессов

Наименование обогатительного процесса	Измельчение %
Дробилка барабанная ДБ-28 'Уголь-Порода'	100 - 0
Крупн. класс, СКВ, обезв. на грохотах	2 - 4
ОМ	4 - 8
Мелкий класс, ТГЦ, самотечная подача	1 - 2
ТГЦ, обезв. на грохотах	2 - 5
ТГЦ, насосная подача	8 - 12
ОМ	6 - 12

Измельчаемость чистого угля % (3.0) 100.00 %

Измельчаемость чистой породы % (3.7)? 0.00 %

Рисунок 3 - Протокол настройки модели процесса самоизмельчения

Результаты моделирования процесса избирательного дробления угля в дробилке барабанной ДБ-28 показаны на рис.4.

Таблица 5. Синтез. Учет самоизмельчения по фракциям

Номер фракции	Исходные параметры		Вычисленные параметры	
	Выход %	Зольность %	Выход %	Зольность %
1	60.00	6.00	3.60	6.00
2	5.00	44.00	2.20	44.00
3	30.00	88.00	26.40	88.00
4	95.00	33.89	32.20	75.83
Здесь получен измельченный продукт			62.80	12.39

Press any key

Рисунок 4 - Моделирование процесса избирательного дробления

Из представленных на рис.4 данных следует, что малозольные фракции подверглись почти полному измельчению и ушли в мелкий продукт, а высокозольные фракции почти полностью остались в надрешетном продукте. При этом получен подрешетный продукт с пониженной зольностью 12,39% и надрешетный продукт с повышенной зольностью 75,83%, причём, баланс выходов этих продуктов по сравнению с исходным не изменился.

Прямое нелинейное преобразование. В задаче 3 “дробление промежуточного продукта” (рис.1) применено уже прямое нелинейное преобразование - уравнение прямой заменено уравнением параболы.

Так как положение экстремума параболы зафиксировано посередине интервала варьирования зольности, размерность задачи по сравнению с задачей 2 не увеличилась, но возникло нарушение материального баланса по сравнению с исходным материалом (преобразование выполняется по заданным коэффициентам модели).

Для устранения этого эффекта к полученным методом прямого нелинейного преобразования данным дополнительно применяется обратная линейная корректировка баланса (задача 1).

В полученном таким образом массиве данных содержание промежуточных фракций уменьшается, концентратных и породных - увеличивается, но так, что материальный баланс не нарушается. Пример настройки реализованного в программе ASELECTM варианта модели процесса дробления показан на рис.5. Результаты прогноза фракционного состава продукта при указанных настройках модели процесса дробления даны на рис.6.

Крупность вкрапленностей, мм	(0<dvkrapl<dish)	2.000
Рабочий объем дробильной камеры, м ³	v<10	0.500
Постоянная времени степени дробления,	<3600с	12.000
Плотность материала, т/м ³	(1.2<plotn<4)	1.700
Производительность, т/час	(15<q< 255)	27.000
Степень дробления предельная	(ipred<100)	13.000

Рисунок 5 - Настройка варианта модели процесса дробления

Номер фракции	Исходные параметры		Вычисленные параметры	
	Выход %	Зольность %	Выход %	Зольность %
1	60.00	6.00	62.62	6.00
2	5.00	44.00	0.13	44.00
3	30.00	88.00	32.26	88.00
4	95.00	33.89	95.00	33.89

Рисунок 6 - Прогноз фракционного состава дробленого продукта

Из представленных на этом рисунке данных видно, что в дробленом продукте выход промежуточных фракций уменьшается, выходы концентратных и породных фракций увеличиваются, но материальный баланс по выходу и золе при этом не нарушается.

Таким образом, в результате выполненного исследования определены области применения линейного и нелинейного преобразования фракционных характеристик. Установлено, что обратное линейное преобразование соответствует корректировке материального баланса, прямое линейное преобразование - избирательному дроблению и самоизмельчению, а прямое нелинейное с последующим обратным линейным - процессу дробления промежуточного продукта, что позволяет рекомендовать их к применению в моделировании обогащательной технологии.

Список источников

1. М.Д. Барский. Оптимизация процессов разделения зернистых материалов. Москва, "НЕДРА", 1978. 168с.
2. Arinenkov Y. Universal model for research both optimization of technological processes and circuits of coal preparation factories on the COMPUTER / 2nd Regional APCOM'97 Symposium on COMPUTER APPLICATIONS AND OPERATIONS RESEARCH IN THE MINERAL INDUSTRIES. Published by: The Moscow State Mining University Publishing Center. Moscow, Russia - 1997. 536p., p.209-214.
3. Ариненков Ю.Д. Метод форматирования массива данных обогатимости полезных ископаемых. // "Наукові праці Донецького державного технічного університету". Випуск 16, серія гірничо-електромеханічна. Донецьк: ДонДТУ, 2000. С.3-10.