

что катенация связей блоков модели как прямая последовательность причинно-следственных связей объектов с поступающими в них продуктами (очередь) всегда предпочтительнее любых других перестановок блоков соответствует заданной композиции блоков по топологии технологической схемы. Показано, что при этом есть  $2^s$  равноценных вариантов её выполнения, где  $s$  - количество 2-продуктовых объектов схемы. Для ЦОФ "Киевская" таких вариантов  $2^{22}=36614464$ . Для устранения этой бесполезной вариантности предложено ранжировать все продукты сепарационных процессов по отношению к величине заданного фактора разделения: если продукт преодолевает заданную границу фактора разделения, то он получает ранг 1, иначе - 2. На основе такого признака была разработана программа одновариантной трансляции описания схемы и создана макро модель технологической схемы ЦОФ "Киевская".

Список источников.

1. Шупов Л.П. Моделирование и расчёт на ЭВМ схем обогащения. М., "Недра", 1980. 288с.
2. Йозайтис В.С., Львов Ю.А. Экономико-математическое моделирование производственных систем. М.: Высшая школа, 1991.
3. 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.

УДК 622.7.001

## МЕТОД МИНИМИЗАЦИИ МАССИВА КЛАССОВ КРУПНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Ариненков Ю.Д., канд. тех. наук, доц.,

Донецкий государственный технический университет

*Поставлена задача минимизации массива классов крупности сыпучих материалов при выполнении гранулометрического анализа путём сравнения сочетаний сокращения массивов классов со стандартным набором по величинам интегральной и максимальной ошибок и дано её решение с описанием числовых функций характеристик knot-продолжением массивов экспериментальных данных на ЭВМ.*

*Problem of a file of size of classes of materials is put at fulfilment of the analysis of the size of structure by comparison of combinations of reduction of files of classes with a standard set on sizes of integrated and maximum errors and her decision with the description of numerical functions of*

*the characteristics by knot-continuation of files of experimental data on the COMPUTER is given.*

Для проведения гранулометрических анализов сыпучих материалов рекомендуется стандартный ряд классов крупности, в соответствии с которым промышленностью выпускаются сита с отверстиями строго определённого размера. На практике, однако, из-за трудоёмкости отбора массивных проб, количество классов крупности ограничивают не только по верхнему и нижнему пределам, но и внутри выбранного диапазона крупности. Научные обоснования для такого подбора отсутствуют ввиду существовавшей проблемы математического описания ситовых характеристик.

В настоящее время получают применение методы сепарабельного программирования и моделирования [1], позволяющие подбором специальных функций заменить исходную систему нелинейных уравнений системой линеаризованных уравнений. В работе автора [2] предложен метод описания ситовых характеристик *knot*-продолжением исходного массива, не требующий подбора линеаризованных функций.

Метод предусматривает субтабуляцию данных исходного массива на основе принципа максимального правдоподобия выделением на каждом интервале данных доверительного треугольника (с помощью хорд смежных интервалов) и определением новой опорной точки в центре тяжести такого треугольника. Рекуррентное применение метода позволяет получить сколь угодно большой массив точек, который можно рассматривать как числовые функции для построения плавной кривой характеристики крупности и других приложений.

Так, в работе [3] метод *knot*-продолжения массивов применен для форматирования массивов данных ситово-фракционного анализа, без обращения к традиционным аналитическим методам описания непрерывными функциями или сплайнами. При этом, однако, остаётся открытым вопрос адекватности гипотетической гранулометрической характеристике, достаточности или избыточности описания.

Последнее имеет важное практическое значение не только как оценка надёжности описания, но и как рекомендация по минимизации плана гранулометрического эксперимента и корректной минимизации его описания, в связи с чем возникает необходимость разработать соответствующий метод.



**Постановка задачі.**

Пусть имеется массив  $C$  данных гранулометрического анализа  $\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n; (\lambda, s)\}$ ,  $\Gamma_\phi = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n; (\lambda, s)\}$ , где  $\phi$  - крупность класса, причём, шкала значений  $\phi = \phi_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  представлена стандартным рядом, а другие её значения являются ненаблюдаемыми;  $\gamma_i$  - выход  $i$ -ого класса крупности;  $\lambda, s$  - зольность, сера и другие сопутствующие компоненты сыпучего материала.

Упорядоченные пары массива  $C$  задаются простым перечислением по результатам соответствующего "точного" технологического исследования "гипотетического объекта" так, что они являются отношением  $(\phi, (\lambda, s, \dots, \gamma)) \in C$ , где  $C \subset \Phi \times \Gamma_\phi$ , не зависящим от шкалы значений  $\phi = \phi_i$ . Однако, описание объекта внутри интервалов этой шкалы, т.е. ненаблюдаемых точек массива, зависит от свойств применяемого метода интерполяции.

Ставится задача изучить зависимость точности метода интерполяции массива  $C$  методом *knot*-продолжения его и обосновать метод минимизации длины шкалы  $n$  путём удаления из неё  $m$  значений, в допустимых пределах не ухудшающего описания "гипотетического объекта".

**Метод решения задачи**

Количество сочетаний из  $n$  элементов по  $m$  определяется известной формулой

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

В рассматриваемом случае сито с максимальным размером отверстий, т.е. сито номер  $n$ , в количество варьируемых не включается, поэтому вместо величины  $n$  будем учитывать  $n-1$  элемент, включаемый в сочетания. Случай, когда не удаляется ни одно сито, также не будем учитывать в количестве реальных сочетаний. Тогда всего различных сочетаний будет получено в количестве  $2^{n-1}-1$ . Например, для  $n=10$  количество сочетаний сит составит величину  $10^9-1=511$ , так что необходимость именно машинного метода решения задачи очевидна.

Для постановки задачи на разработку алгоритма перебора возможных сочетаний размеров сит используем основное свойство сочетаний, и вместо планирования перебора сочетаний выбираемых сит будем планировать перебор исключаемых сит из полного их набора. Это позволит рационально организовать синтез вновь возникающих классов крупности на основе результатов синтеза предыдущих клас-

сов от мелкого к крупному. В результате задача организации перебора всех сочетаний размеров сит будет сведена к рекуррентной вычислительной схеме, реализуемой  $n-1$  вложенными циклами одинаковой структуры, в которых осуществляется *knot*-продолжение массивов данных и создаётся графика получаемых характеристик [3]. Для облегчения обращения к полученным результатам они сортируются в порядке увеличения варианта.

### Основные результаты и применения

Для оценки различных вариантов сочетания сит определялись средневзвешенная крупность оцениваемого материала, интегральная ошибка и максимальная ошибка полученной характеристики по сравнению с исходной как “гипотетической”. Для примера  $n=6$  выборка оценок вариантов с достаточно малыми отклонениями от “гипотетического” приведена в таблице.

Из сопоставления представленных в этой таблице оценок различных вариантов наилучшим является вариант с кодом 123, в котором исключены сита №1 - 0,5мм, №2 - 1мм и №3 - 3мм. В этом случае относительная ошибка по средневзвешенной крупности  $e(d)$  составила величину 1,3%, интегральная приведенная ошибка  $I$  составила 0,4% и максимальная ошибка по выходу  $E_{\max}$  составила 4% на крупности 4,3мм. Из остальных вариантов наиболее предпочтительны варианты с кодами 12, 13 и 23, позволяющие при минимальных ошибках уменьшить набор сит с 6 до 4.

Таблица - Оценки выборочных вариантов сочетаний сит из 6

Код	Ошибки интерполяции				Сочетания наборов сит, мм					
	$e(d)$ , %	$I$ , %	$E_{\max}$ , %	$d_{extr}$ , мм	0,5	1	3	13	50	100
1	0,0	0,0	3	0,7	-	+	+	+	+	+
12	0,3	0,1	3	0,7	-	-	+	+	+	+
123	1,3	0,4	4	4,3	-	-	-	+	+	+
13	0,9	0,3	4	4,7	-	+	-	+	+	+
2	0,1	0,0	1	1,3	+	-	+	+	+	+
23	1,3	0,3	5	3,3	+	-	-	+	+	+
3	0,0	0,1	2	2,0	+	+	-	+	+	+

Однако, следует учитывать, что надёжность таких заключений зависит от полноты набора классов “гипотетической” зависимости. Например, графика для такого же варианта 123 исключения сит, но из



исходного набора 7, в котором имеется важное для интерпретации "гипотетической" характеристики сито 25мм, показана на рис.1.



Рисунок 1 - Ситовая характеристика для набора сит № 4, 5, 6, 7

Представленные на этом рисунке кривые убедительно показывают, что даже при исключении трёх сит из семи метод *knot*-продолжения массива обеспечивает высокую точность интерполяции в область ненаблюдаемых параметров ситовой характеристики.

Пример графики для случая исключения неблагоприятного сочетания 5 сит из 7 показан на рис.2.



Рисунок 2 - Ситовая характеристика для набора сит № 6, 7

На этом рисунке хорошо видна заштрихованная площадь ошибок полученной характеристики (размеры сит изъятого сочетания вы-

делены светлым тоном) по сравнению с исходной. Интегральная ошибка вычисляется непосредственно во время сканирования по дисплею между кривыми “гипотетического” и анализируемого вариантов гранулометрических характеристик. Одновременно отыскивается глобальный максимум этой ошибки. Ступенчатое представление графиков на экране видеомонитора приводит к появлению шумов при поиске экстремума, поэтому осуществлялась регуляризация поиска путём определения двух максимумов анализируемой функции. Первая ошибка  $\max E_1$  определялась при выходе на максимум по условию если  $E > \max E_1$ , то  $\max E_1 = E$ , где  $E$  - текущая ошибка при поиске её максимума последовательными шагами. Вторая ошибка  $\max E_2$  определялась, наоборот, при выходе за максимум по условию если  $E < \max E_2$ , то  $\max E_2 = E$ . Затем упорядоченное значение максимальной ошибки определялось как среднее от указанных величин, т.е. как  $\max E = 0,5(\max E_1 + \max E_2)$ .

### Заключение

Поставлена задача минимизации массива классов крупности сыпучих материалов при выполнении гранулометрического анализа путём сравнения сочетаний сокращения массивов классов со стандартным набором по величинам интегральной и максимальной ошибок и дано её решение с описанием числовых функций характеристик *knot*-продолжением массивов экспериментальных данных на ЭВМ. С применением разработанного метода показана высокая точность (интегральная ошибка менее 0,5%) корректно сокращённого описания гранулометрических характеристик.

Метод рекомендуется для обоснования уменьшения количества классов крупности при выполнении серийных гранулометрических исследований и, особенно, для корректной минимизации табличного описания гранулометрической характеристики.

#### Список источников.

1. Даффин Р. Геометрическое программирование. М., 1972. 311с.
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 массивов данных обогатимости полезных ископаемых / Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 16, серія гірничо-електромеханічна. Донецьк: ДонДТУ, 2000. С.3-10.