

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра обогащения полезных ископаемых

Моделирование процессов обогащения

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2016

УДК 622.7(075.83)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ: Методические указания по выполнению лабораторных работ / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *В.В. Львов*. СПб., 2016, 39 с.

Представлены варианты заданий по изучению функций отбора, разрушения, функции классификации, кинетической модели процесса измельчения в шаровой мельнице и решению матричных уравнений сокращения крупности.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 "Горное дело" специализации «Обогащение полезных ископаемых».

Табл. 23. Библиогр.: 3 назв.

Научный редактор проф. *Т.Н. Александрова*

© Санкт-Петербургский горный университет, 2016 г.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Прежде чем приступить к выполнению заданий, необходимо тщательно ознакомиться с соответствующими разделами курса по конспекту лекций. Затем выбирается индивидуальный вариант согласно последней цифре номера зачетной книжки, и результаты расчета оформляются в виде отчета.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ СОКРАЩЕНИЯ КРУПНОСТИ

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧЕТЫРЕХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СТАДИЙ РАЗРУШЕНИЯ ЧАСТИЦ

Цель задания: изучение функций отбора и разрушения и решение матричного уравнения сокращения крупности.

Прогноз результатов процесса сокращения крупности осуществляется на основе решения матричного уравнения.

$$p = (BS + I - S) \cdot f, \quad (1)$$

где p и f – гранхарактеристики продукта и питания (матрицы размерностью $n \times I$);

B – функция разрушения (нижняя треугольная матрица размерностью $n \times n$);

S – функция отбора (нижняя треугольная матрица размерностью $n \times n$);

I – единичная матрица (размерностью $n \times n$).

Поступая к выполнению задания 1, необходимо изучить подразделы 1.1; 1.2.1; 1.2.2; 1.2.3 текста лекций [1] и ознакомиться с примером 1.

Варианты заданий приведены в табл.1.

Варианты заданий

Таблица 1

№ вар.	№ кл.	f_i	S_i	B_{i-j}	№ вар.	№ кл.	f_i	S_i	B_{i-j}
1	1	20	1,00	0,27	2	1	25	1,00	0,20
	2	18	0,75	0,22		2	20	0,80	0,15
	3	15	0,60	0,17		3	12	0,60	0,10
	4	10	0,35	0,15		4	8	0,40	0,15
	5	8	0,25	0,12		5	5	0,25	0,10
	6	2	0,10	0,15		6	3	0,15	0,10
	остат.	27				остат.	27		
3	1	20	1,00	0,27	4	1	22	1,00	0,22
	2	19	0,75	0,22		2	18	0,82	0,17
	3	17	0,60	0,17		3	13	0,66	0,12
	4	11	0,35	0,15		4	9	0,45	0,11
	5	6	0,25	0,12		5	8	0,27	0,10
	6	2	0,10	0,15		6	4	0,15	0,10
	остат.	25				остат.	26		
5	1	20	1,00	0,25	6	1	22	1,00	0,20
	2	18	0,85	0,20		2	16	0,70	0,18
	3	15	0,65	0,15		3	14	0,50	0,12
	4	10	0,45	0,15		4	11	0,40	0,10
	5	8	0,30	0,15		5	9	0,30	0,10
	6	2	0,20	0,15		6	3	0,15	0,08
	остат.	27				остат.	25		
7	1	20	1,00	0,20	8	1	18	1,00	0,20
	2	18	0,70	0,16		2	20	0,70	0,16
	3	15	0,50	0,12		3	17	0,50	0,12
	4	10	0,40	0,10		4	11	0,40	0,10
	5	8	0,30	0,10		5	9	0,30	0,10
	6	2	0,15	0,10		6	3	0,15	0,10
	остат.	27				остат.	22		
9	1	18	1,00	0,27	10	1	20	1,00	0,22
	2	20	0,80	0,22		2	18	0,82	0,17
	3	13	0,65	0,17		3	15	0,61	0,12
	4	12	0,40	0,15		4	10	0,45	0,11
	5	10	0,30	0,12		5	8	0,27	0,10
	6	3	0,10	0,15		6	2	0,15	0,10
	остат.	24				остат.	27		

Продолжение табл. 1

№ вар.	№ кл.	f_i	S_i	$B_{i,j}$	№ вар.	№ кл.	f_i	S_i	$B_{i,j}$
11	1	20	1,00	0,27	12	1	25	1,00	0,20
	2	18	0,75	0,22		2	20	0,80	0,15
	3	15	0,60	0,17		3	12	0,60	0,10
	4	10	0,35	0,15		4	8	0,40	0,15
	5	8	0,25	0,12		5	5	0,25	0,10
	6	2	0,10	0,15		6	3	0,15	0,10
	остат.	27				остат.	27		

Пример 1

По заданной гранулометрической характеристике питания f функции отбора S и функции разрушения B определить гранулометрическую характеристику продукта дробления p (см. таблицу 2).

Таблица 2

№ п/п	Класс крупности, мм	Питание f , %	Функция отбора, S	Функция разрушения, B
1	+ 3,0	25	1,00	0,15
2	- 3,0 + 1,0	21	0,70	0,20
3	- 1,0 + 0,5	14	0,50	0,15
4	- 0,5 + 0,28	8	0,35	0,10
5	- 0,28 + 0,14	5	0,25	0,10
6	- 0,14 + 0,074	3	0,18	0,10
остат.	- 0,074 + 0	24		

Решение**I стадия разрушения**

Расчет представим в табличном виде (табл. 3).

Таблица 3

Расчет результатов процесса на основе характеристик отбора и разрушения

Кл. кру п.	Питание (f)	Вероятность разрушения (S)	Разрушенные частицы (Sf)	Неразрушенные частицы ($(1-S)f$)	Продукт разрушения частиц BSf	Суммарный продукт $BSf+(1-S)f$
1	2	3	4	5	6	7
1	25	1,00	25,0	0	3,75	3,75
2	21	0,70	14,7	6,30	7,21	13,51
3	14	0,50	7,00	7,00	7,24	14,74
4	8	0,35	2,80	5,20	6,53	11,73
5	5	0,25	1,25	3,75	5,77	9,52
6	3	0,18	0,54	2,46	5,42	7,88
остат.	24					38,87

Решение матричного уравнения BSf (колонка 6 табл.3)

$$\begin{array}{cccccc}
 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 25,0 \\
 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 14,7 \\
 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 7,00 \\
 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 2,80 \\
 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 1,25 \\
 0,10 & 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0,54 \\
 & & & B & & & Sf
 \end{array} \times =$$

$$\begin{array}{cccccc}
 0,15 \times 25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3,75 \\
 0,20 \times 25 & 0,15 \times 14,7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7,21 \\
 0,15 \times 25 & 0,20 \times 14,7 & 0,15 \times 7 & 0 & 0 & 0 & 7,74 \\
 0,10 \times 25 & 0,15 \times 14,7 & 0,20 \times 7 & 0,15 \times 2,8 & 0 & 0 & 6,53 \\
 0,10 \times 25 & 0,10 \times 14,7 & 0,15 \times 7 & 0,20 \times 2,8 & 0,15 \times 1,25 & 0 & 5,77 \\
 0,10 \times 25 & 0,10 \times 14,7 & 0,10 \times 7 & 0,15 \times 2,8 & 0,20 \times 1,25 & 0,15 \times 0,54 & 5,42 \\
 & & & BSf & & &
 \end{array}$$

II стадия разрушения

Расчет дадим в табличном виде (табл. 4).

Таблица 4

Расчет результатов процесса на основе характеристик отбора и разрушения

Кл. круп.	Питание (f)	Вероятность разрушения (S)	Разрушенные частицы (Sf)	Неразрушенные частицы ($(1-S)f$)	Продукт разрушения частиц BSf	Суммарный продукт $BSf+(1-S)f$
1	2	3	4	5	6	7
1	3,75	1,00	3,75	0	0,56	0,56
2	13,51	0,70	9,46	4,05	2,17	6,22
3	14,74	0,50	7,37	7,37	3,56	10,93
4	11,73	0,35	4,10	4,10	3,94	11,57
5	9,52	0,25	2,38	2,38	3,60	10,74
6	7,88	0,18	1,42	1,42	3,36	9,82
остат.	38,87					50,22

Решение матричного уравнения BSf (колонка 6 табл.4)

$$\begin{array}{cccccc}
 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3,75 \\
 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9,46 \\
 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 7,37 \\
 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 4,10 \\
 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 2,38 \\
 0,10 & 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 1,42 \\
 & & & B & & & Sf
 \end{array} \times =$$

$$\begin{array}{cccccc}
 0,15 \times 3,75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,56 \\
 0,20 \times 3,75 & 0,15 \times 9,46 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,17 \\
 0,15 \times 3,75 & 0,20 \times 9,46 & 0,15 \times 7,37 & 0 & 0 & 0 & 3,56 \\
 0,10 \times 3,75 & 0,15 \times 9,46 & 0,20 \times 7,37 & 0,15 \times 4,1 & 0 & 0 & 3,94 \\
 0,10 \times 3,75 & 0,10 \times 9,46 & 0,15 \times 7,37 & 0,20 \times 4,1 & 0,15 \times 2,28 & 0 & 3,60 \\
 0,10 \times 3,75 & 0,10 \times 9,46 & 0,10 \times 7,37 & 0,15 \times 4,1 & 0,20 \times 2,28 & 0,15 \times 1,42 & 3,36 \\
 & & & BSf & & &
 \end{array}$$

III стадия разрушения

Расчет дадим в табличном виде (табл. 5).

Таблица 5

Расчет результатов процесса на основе характеристик отбора и разрушения

Кл. круп.	Питание (f)	Вероятность разрушения (S)	Разрушенные частицы (Sf)	Неразрушенные частицы ($(1-S)f$)	Продукт разрушения частиц BSf	Суммарный продукт $BSf+(1-S)f$
1	2	3	4	5	6	7
1	0,56	1,00	0,56	0	0,08	0,08
2	6,22	0,70	4,35	1,87	0,77	2,63
3	10,93	0,50	5,47	5,47	2,05	7,23
4	11,57	0,35	4,05	7,52	2,41	9,88
5	10,74	0,25	2,69	8,06	2,53	10,58
6	9,82	0,18	1,77	8,05	2,45	10,50
остат.	50,22					59,10

Решение матричного уравнения BSf (колонка 6 табл.5)

$$\begin{array}{ccccccc}
 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,56 \\
 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4,35 \\
 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 5,47 \\
 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 4,05 \\
 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 2,69 \\
 0,10 & 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 1,77 \\
 & & & B & & & Sf
 \end{array} \times =$$

$$\begin{array}{ccccccc}
 0,15 \times 0,56 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,08 \\
 0,20 \times 0,56 & 0,15 \times 4,35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,77 \\
 0,15 \times 0,56 & 0,20 \times 4,35 & 0,15 \times 5,47 & 0 & 0 & 0 & 2,05 \\
 0,10 \times 0,56 & 0,15 \times 4,35 & 0,20 \times 5,47 & 0,15 \times 4,05 & 0 & 0 & 2,41 \\
 0,10 \times 0,56 & 0,10 \times 4,35 & 0,15 \times 5,47 & 0,20 \times 4,05 & 0,15 \times 2,69 & 0 & 2,53 \\
 0,10 \times 0,56 & 0,10 \times 4,35 & 0,10 \times 5,47 & 0,15 \times 4,05 & 0,20 \times 2,69 & 0,15 \times 1,77 & 2,45 \\
 & & & BSf & & &
 \end{array} =$$

IV стадия разрушения

Расчет дадим в табличном виде (табл. 6).

Таблица 6

Расчет результатов процесса на основе характеристик отбора и разрушения

Кл. круп.	Питание (f)	Вероятность разрушения (S)	Разрушенные частицы (Sf)	Неразрушенные частицы ($(1-S)f$)	Продукт разрушения частиц BSf	Суммарный продукт $BSf+(1-S)f$
1	2	3	4	5	6	7
1	0,08	1,00	0,08	0	0,01	0,01
2	2,63	0,70	1,84	0,79	0,29	1,08
3	7,23	0,50	3,62	3,62	0,92	4,53
4	9,88	0,35	3,46	6,42	1,53	7,95
5	10,58	0,25	2,65	7,94	1,83	9,75
6	10,50	0,18	1,89	8,61	1,89	10,50
остат.	59,10					66,18

Решение матричного уравнения BSf (колонка 6 табл.6)

0,15	0	0	0	0	0	0,08	
0,20	0,15	0	0	0	0	1,84	
0,15	0,20	0,15	0	0	0	3,62	=
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0	3,46	
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0	2,65	
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	1,89	
			B			Sf	
0,15×0,08	0	0	0	0	0	0,01	
0,20×0,08	0,15×1,84	0	0	0	0	0,29	
0,15×0,08	0,20×1,84	0,15×3,62	0	0	0	0,92	=
0,10×0,08	0,15×1,84	0,20×3,62	0,15×3,46	0	0	1,53	
0,10×0,08	0,10×1,84	0,15×3,62	0,20×3,46	0,15×2,65	0	1,83	
0,10×0,08	0,10×1,84	0,10×3,62	0,15×3,46	0,20×2,65	0,15×1,89	1,89	
			BSf				

Остаток (или просев) определяется как разность = 100 – сумма выходов всех шести классов крупности. Результаты расчетов помещаются в свободную таблицу 7.

Таблица 7

Результаты четырех последовательных стадий дробления

Питание	Продукт I-ой стадии, питание II-ой стадии	Продукт II-ой стадии, питание III-ой стадии	Продукт III-ой стадии, питание IV-ой стадии	Продукт IV-ой стадии
25	3,75	0,56	0,08	0,01
21	13,51	6,22	2,63	1,08
14	14,74	10,93	7,23	4,53
8	11,73	11,50	9,88	7,95
5	9,52	10,75	10,58	9,75
3	7,88	9,82	10,50	10,50
24	38,87	50,22	59,10	66,18

Задание 2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СОКРАЩЕНИЯ КРУПНОСТИ. МАТРИЧНАЯ МОДЕЛЬ

Цель задания: изучение функции классификации и решение матричного уравнения разрушения.

Прогноз результатов процесса сокращения крупности осуществляется на основании решения матричного уравнения

$$P = \frac{(I - C)(BS + I - S)}{I - C(BS + I - S)} \quad (2)$$

где C – функция классификации (диагональная матрица размерность $n \times n$).

Перед тем как приступить к выполнению этой работы необходимо изучить подразделы 1.1; 1.2.1; 1.2.2; 1.2.3; 1.2.4 текста лекций [1] и ознакомиться с примером 2.

Варианты заданий приведены в табл.1. Функция классификации (диагональная матрица) задается следующей последовательностью:

$$[C] = [1,0; 1,0; 0; 0; 0; 0].$$

Пример 2

Рассмотрим процесс разрушения с учетом классификации (уравнение 2).

Исходные данные следующие: функции разрушения B и отбора S и гранулометрическую характеристику питания f принимает-

ся из предыдущего примера 1; функция классификации c (диагональная матрица) равняется $[C] = [1,0; 1,0; 0; 0; 0; 0]$.

Решение

I стадия разрушения

Расчет дадим в табличном виде (табл. 8).

Таблица 8

Продукт процесса разрушения частиц до классификации

Кл. круп.	Питание (f)	Вероятность разрушения B	Разрушенные частицы (Sf)	Неразрушенные частицы ($(I-S)f$)	Продукт разрушения частиц BSf	Суммарный продукт $BSf+(I-S)f$
1	2	3	4	5	6	7
1	25	1,00	25	0	3,75	3,75
2	21	0,70	14,7	6,30	7,21	13,51
3	14	0,50	7,00	7,00	7,74	14,74
4	8	0,35	2,80	5,20	6,53	11,73
5	5	0,25	1,25	3,75	5,77	9,52
6	3	0,18	0,54	2,46	5,42	7,88
остат.	24					38,87

Продукт разрушения I-ой стадии (в отличие от примера 1) идет не сразу на следующий прием разрушения, а лишь после прохождения операции классификации.

Продукт процесса разрушения частиц с учетом классификации представлен в табл. 9.

Таблица 9

Продукт процесса разрушения частиц с учетом классификации

Кл. круп.	Питание (f)	Продукт разрушения частиц $BSf+(I-S)f$	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не оставшегося на разрушение материала	Конечный продукт
1	2	3	4	5	6	7
1	25	3,75	3,75	0	0	0
2	21	13,51	13,51	0	0	0
3	14	14,74	0		14,74	
4	8	11,73	0		11,73	
5	5	9,52	0		9,52	
6	3	7,88	0		7,88	
остат.	24	38,87				

Содержимое колонки (3) табл. 9 есть продукт I-ой стадии разрушения (см. столбец (9) табл.6). Содержимое колонки (4) табл. 9 есть результат классификации, после которой первые две (верхние) фракции остались на дальнейшее разрушение. Фракции с 3 по 6 (см. колонку (6) табл. 9) целиком переходят в продукт, не подвергаясь дальнейшему разрушению.

Следует определить содержимое колонки (5) как продукт ряда последовательных актов разрушения верхних (первой и второй) фракций крупности. Конечный продукт (столбец (9)) тогда определится как сумма содержимое столбцов (5) и (6).

II стадия разрушения

Расчет дадим в табличном виде (табл. 10).

Таблица 10

Продукт процесса разрушения частиц до классификации

Кл. круп.	Питание (f)	Продукт разрушения частиц BSf	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не оставшегося на разрушение материала	Конечный продукт
1	2	3	4	5	6	7
1	3,75	1,00	3,75	0	0,56	0,56
2	13,51	0,70	9,46	4,05	2,20	6,25
3	0	0,50	0	0	2,45	2,45
4	0	0,35	0	0	1,80	1,80
5	0	0,25	0	0	1,32	1,32
6	0	0,18	0	0	1,32	1,32
остат.						

Содержание столбца (6) табл. 10 найдено как произведение матриц BSf (см. ниже).

$$\begin{array}{cccccc}
 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3,75 \\
 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9,46 \\
 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0,00 \\
 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0,00 \\
 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0,00 \\
 0,10 & 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0,00 \\
 & & & B & & & Sf
 \end{array} \times =$$

$$\begin{array}{cccc}
 0,15 \times 3,75 & 0 & 0 & 0,56 \\
 0,20 \times 3,75 & 0,15 \times 9,46 & 0 & 2,17 \\
 0,15 \times 3,75 & 0,20 \times 9,46 & 0,15 \times 3,62 & 2,45 \\
 0,10 \times 3,75 & 0,15 \times 9,46 & 0,20 \times 3,62 & 1,80 \\
 0,10 \times 3,75 & 0,10 \times 9,46 & 0,15 \times 3,62 & 1,32 \\
 0,10 \times 3,75 & 0,10 \times 9,46 & 0,10 \times 3,62 & 1,32
 \end{array} =$$

Продукт процесса разрушения частиц с учетом классификации представлен в табл. 11.

Таблица 11

Продукт процесса разрушения частиц с учетом
классификации

Кл. круп.	Питание (<i>f</i>)	Продукт разрушения частиц <i>BSf</i>	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не оставшегося на разрушение материала	Конечный продукт
1	2	3	4	5	6	7
1	3,75	0,56	0,56	0	0	0
2	13,51	6,25	6,25	0	0	0
3	0	2,45	0	0	2,45	0
4	0	1,80	0	0	1,80	0
5	0	1,32	0	0	1,32	0
6	0	1,32	0	0	1,32	0
остат.						

Далее процесс повторяется, причем исходным питанием каждой последующей стадии сокращения крупности являются первые две фракции, не пропущенные классификатором в готовый продукт.

Заканчивается процесс, когда содержимое колонки (4) таблицы 19, характеризующей разрушение частиц с учетом классификации не окажется близким к нулю ($\leq 0,02$).

Конечным результатом работы является итоговая таблица следующего вида (см. табл. 20).

III стадия разрушения

Расчет дадим в табличном виде (табл. 12).

Таблица 12

Продукт процесса разрушения частиц до классификации

Кл. круп.	Питание (f)	Продукт разрушения частиц BSf	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не оставшегося на разрушение материала	Конечный продукт
1	2	3	4	5	6	7
1	0,56	1,00	0,56	0	0,08	0,08
2	6,25	0,70	4,38	1,87	0,77	2,64
3	2,45	0,50	0	0	0,88	0,88
4	1,80	0,35	0	0	0,71	0,71
5	1,32	0,25	0	0	0,49	0,49
6	1,32	0,18	0	0	0,49	0,49
остат.						

Содержание столбца (6) табл. 12 найдено как произведение матриц BSf (см. ниже).

$$\begin{array}{ccccccccc}
 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0,56 & \\
 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 4,38 & \\
 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & \times & 0,00 & = \\
 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & & 0,00 & \\
 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & & 0,00 & \\
 0,10 & 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & & 0,00 & \\
 & & & B & & & & Sf &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc}
 0,15 \times 0,56 & 0 & 0,08 \\
 0,20 \times 0,56 & 0,15 \times 4,38 & 0,77 \\
 0,15 \times 0,56 & 0,20 \times 4,38 & 0,88 \\
 0,10 \times 0,56 & 0,15 \times 4,38 & = 0,71 \\
 0,10 \times 0,56 & 0,10 \times 4,38 & 0,49 \\
 0,10 \times 0,56 & 0,10 \times 4,38 & 0,49
 \end{array}$$

Продукт процесса разрушения частиц с учетом классификации представлен в табл. 13.

Таблица 13

Продукт процесса разрушения частиц с учетом
классификации

Кл. круп.	Питание (f)	Продукт разрушения частиц BSf	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не оставшегося на разрушение материала	Конечный продукт
1	2	3	4	5	6	7
1	0,56	0,08	0,08	0	0	0
2	6,25	2,64	2,64	0	0	0
3	0	0,88	0		0,88	
4	0	0,71	0		0,71	
5	0	0,49	0		0,49	
6	0	0,49	0		0,49	
остат.						

IV стадия разрушения

Расчет дадим в табличном виде (табл. 14).

Таблица 14

Продукт процесса разрушения частиц до классификации

Кл. круп.	Питание (f)	Продукт разрушения частиц BSf	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не оставшегося на разрушение материала	Конечный продукт
1	2	3	4	5	6	7
1	0,08	1,00	0,08	0	0,01	0,01
2	2,64	0,70	1,85	0,79	0,29	1,08
3	0	0,50	0	0	0,38	0,38
4	0	0,35	0	0	0,29	0,29
5	0	0,25	0	0	0,19	0,19
6	0	0,18	0	0	0,19	0,19
остат.						

Содержание столбца (6) табл. 14 найдено как произведение матриц BSf (см. ниже).

0,15	0	0	0	0	0	0,08	
0,20	0,15	0	0	0	0	1,85	
0,15	0,20	0,15	0	0	0	0,00	
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0	0,00	=
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0	0,00	
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0,00	
			<i>B</i>			<i>Sf</i>	

0,15×0,08	0	0,01
0,20×0,08	0,15×1,85	0,29
0,15×0,08	0,20×1,85	0,38
0,10×0,08	0,15×1,85	= 0,29
0,10×0,08	0,10×1,85	0,19
0,10×0,08	0,10×1,85	0,19

Продукт процесса разрушения частиц с учетом классификации представлен в табл. 15.

Таблица 15

Продукт процесса разрушения частиц с учетом классификации

Кл. круп.	Питание (<i>f</i>)	Продукт разрушения частиц <i>BSf</i>	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не оставшегося на разрушение материала	Конечный продукт
1	2	3	4	5	6	7
1	0,08	0,01	0,01	0	0	0
2	2,64	0,29	0,29	0	0	0
3	0	0,38	0		0,38	
4	0	0,29	0		0,29	
5	0	0,19	0		0,19	
6	0	0,19	0		0,19	
остат.						

V стадия разрушения

Расчет дадим в табличном виде (табл. 16).

Таблица 16

Продукт процесса разрушения частиц до классификации

Кл. круп.	Питание (f)	Продукт разрушения частиц BSf	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не оставшегося на разрушение материала	Конечный продукт
1	2	3	4	5	6	7
1	0,01	1,00	0,01	0	0,002	0,002
2	0,29	0,70	0,20	0,09	0,032	0,122
3	0	0,50	0	0	0,042	0,042
4	0	0,35	0	0	0,031	0,031
5	0	0,25	0	0	0,021	0,021
6	0	0,18	0	0	0,021	0,021
остат.						

Содержание столбца (6) табл. 16 найдено как произведение матриц BSf (см. ниже).

$$\begin{array}{ccccccccc}
 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0,01 & \\
 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0,20 & \\
 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & \times & 0,00 & = \\
 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & 0 & & 0,00 & \\
 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & 0 & & 0,00 & \\
 0,10 & 0,10 & 0,10 & 0,15 & 0,20 & 0,15 & & 0,00 & \\
 & & & B & & & & Sf &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc}
 0,15 \times 0,01 & 0 & 0,002 \\
 0,20 \times 0,01 & 0,15 \times 0,20 & 0,032 \\
 0,15 \times 0,01 & 0,20 \times 0,20 & 0,042 \\
 0,10 \times 0,01 & 0,15 \times 0,20 & = 0,031 \\
 0,10 \times 0,01 & 0,10 \times 0,20 & 0,021 \\
 0,10 \times 0,01 & 0,10 \times 0,20 & 0,021
 \end{array}$$

Продукт процесса разрушения частиц с учетом классификации представлен в табл. 17.

Таблица 17

Продукт процесса разрушения частиц с учетом
классификации

Кл. круп.	Питание (f)	Продукт разруше- ния частиц <i>BSf</i>	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не остав- шегося на разрушение материала	Конеч- ный про- дукт
1	2	3	4	5	6	7
1	0,01	0,002	0,002	0	0	0
2	0,29	0,032	0,032	0	0	0
3	0	0,042	0		0,042	
4	0	0,031	0		0,031	
5	0	0,021	0		0,021	
6	0	0,021	0		0,021	
остат.						

VI стадия разрушения

Расчет дадим в табличном виде (табл. 18).

Таблица 18

Продукт процесса разрушения частиц до классификации

Кл. круп.	Питание (f)	Продукт разруше- ния частиц <i>BSf</i>	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не остав- шегося на разрушение материала	Конеч- ный про- дукт
1	2	3	4	5	6	7
1	0,002	1,00	0,002	0	0,0003	0,0003
2	0,032	0,70	0,022	0,01	0,0037	0,0137
3	0	0,50	0	0	0,0047	0,0047
4	0	0,35	0	0	0,0035	0,0035
5	0	0,25	0	0	0,0024	0,0024
6	0	0,18	0	0	0,0024	0,0024
остат.						

Содержание столбца (6) табл. 18 найдено как произведение матриц *BSf* (см. ниже).

0,15	0	0	0	0	0	0,002	
0,20	0,15	0	0	0	0	0,022	
0,15	0,20	0,15	0	0	0	0,00	×
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0	0,00	=
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0	0,00	
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0,00	
			<i>B</i>			<i>Sf</i>	

0,15×0,002	0	0,0003	
0,20×0,002	0,15×0,022	0,0037	
0,15×0,002	0,20×0,022	0,0047	=
0,10×0,002	0,15×0,022	0,0035	
0,10×0,002	0,10×0,022	0,0024	
0,10×0,002	0,10×0,022	0,0024	

Продукт процесса разрушения частиц с учетом классификации представлен в табл. 19.

Таблица 19

Продукт процесса разрушения частиц с учетом классификации

Кл. круп.	Питание (<i>f</i>)	Продукт разрушения частиц <i>BSf</i>	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не оставшегося на разрушение материала	Конечный продукт
1	2	3	4	5	6	7
1	0,01	0,002	0,002	0	0	0
2	0,29	0,032	0,032	0	0	0
3	0	0,042	0		0,042	
4	0	0,031	0		0,031	
5	0	0,021	0		0,021	
6	0	0,021	0		0,021	
остат.						

Таблица 20

Продукт процесса разрушения частиц с учетом классификации

Кл. круп.	Питание (<i>f</i>)	Продукт разрушения частиц <i>BSf</i>	Материал, оставшийся на новое разрушение	Конечный продукт повторного разрушения	Доля не оставшегося на разрушение материала	Конечный продукт
1	2	3	4	5	6	7
1	25	3,75	3,75	0	0	0
2	21	13,51	13,51	0	0	0
3	14	14,74	0	4,04	14,74	18,78
4	8	11,73	0	2,98	11,73	14,71
5	5	9,52	0	2,13	9,52	11,65
6	3	7,88	0	2,13	7,88	10,01
остат.	24	38,87				44,85

Колонка (4) табл. 20 получается как результат суммирования содержимого строк в столбце (6) табл.19 для второй и последующих стадий разрушения. Остаток (столбец (7) табл.20) определяется как дополнение до 100%.

Задание 3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ. МАТРИЧНАЯ МОДЕЛЬ

Цель задания: определение массы руды крупных фракций, накапливающихся в мельнице вследствие внутренней классификации.

Материал для изучения – те же подразделы текста лекций, что и в работе 2, а также в примере 3.

Варианты заданий приведены в табл. 1; функция классификации задаётся той же последовательностью:

$$[C] = [1,0; 1,0; 0; 0; 0; 0].$$

Пример 3

Рассчитать массу крупных классов, накапливающихся в мельнице вследствие внутренней классификации. Исходные данные, т.е. функции разрушения *B*, отбора *S*, классификации *C* и грануло-

метрическая характеристика f исходного питания те же, что и в предыдущем примере.

Решение

За каждый интервал времени разрушения в мельницу поступает 100 единиц массы руды. Распределение питания по крупности, а также матрицы разрушения, отбора и классификации, которые воздействуют на материал в мельнице на каждом таком интервале имеют следующий вид:

f	25,0	21,0	14,0	8,00	5,00	3,00	24,0
B (первый столбец)	0,15	0,20	0,15	0,10	0,10	0,10	
S (диагональ)	1,00	0,70	0,50	0,35	0,25	0,18	
C (диагональ)	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Хотя процесс протекает непрерывно, для наглядности его можно рассматривать как последовательный, в котором сначала в мельницу поступает питание, затем происходит разрушение, затем классификация и разгрузка из мельницы разрушенного материала.

Расчет результатов работы мельницы после последовательных интервалов времени имеет следующий вид:

Интервал времени 1:

Класс крупности	1	2	3	4	5	6	остат.
Питание (единица массы)	25,00	21,00	14,00	8,00	5,00	3,00	24,00
Продукт разрушения	3,75	13,51	14,74	11,73	9,52	7,88	38,87

Масса продукта, оставшегося в мельнице после классификации: $17,26=3,75+13,51$

Масса продукта, выгруженного из мельницы: $82,74=14,74+11,73+9,52+7,88+38,87$

Интервал времени 2:

Класс крупности	1	2	3	4	5	6	остат.
Питание (единица массы)	28,75	34,51	14,00	8,00	5,00	3,00	24,00
Продукт разрушения	4,31	19,72	17,19	13,52	10,84	9,20	42,48

0,15	0	0	0	0	0		28,75	
0,20	0,15	0	0	0	0		24,16	
0,15	0,20	0,15	0	0	0	×	7,00	=
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0		2,80	
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0		1,25	
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15		0,54	
			<i>B</i>				<i>Sf</i>	

0,15×28,75	0	0	0	0	0		4,31	
0,20×28,75	0,15×24,16	0	0	0	0		9,37	
0,15×28,75	0,20×24,16	0,15×7,00	0	0	0		10,19	=
0,10×28,75	0,15×24,16	0,20×7,00	0,15×2,80	0	0		8,32	
0,10×28,75	0,10×24,16	0,15×7,00	0,20×2,80	0,15×1,25	0		7,10	
0,10×28,75	0,10×24,16	0,10×7,00	0,15×2,80	0,20×1,25	0,15×0,54		6,75	
							<i>BSf</i>	

Продукт разрушения находим по формуле $BSf+(1-S)f$.

Остаток продукта разрушения находим как сумму продуктов разрушения шести классов – 100 и прибавляем массу продукта, оставшегося в мельнице после классификации, прошлого интервала времени.

Масса продукта, оставшегося в мельнице после классификации: $24,03=4,31+19,72$.

Масса продукта, выгруженного из мельницы: $93,23=17,19+13,52+10,84+9,20+42,48$

Интервал времени 3:

Класс крупности	1	2	3	4	5	6	остат.
Питание (единица массы)	29,31	40,72	14,00	8,00	5,00	3,00	24,00
Продукт разрушения	4,40	22,36	17,52	14,23	11,33	9,69	44,50

0,15	0	0	0	0	0		29,31	
0,20	0,15	0	0	0	0		28,50	
0,15	0,20	0,15	0	0	0	×	7,00	=
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0		2,80	
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0		1,25	

0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15		0,54
			<i>B</i>				<i>Sf</i>

0,15×29,31	0	0	0	0	0	0	4,40
0,20×29,31	0,15×28,50	0	0	0	0	0	10,14
0,15×29,31	0,20×28,50	0,15×7,00	0	0	0	0	10,52
0,10×29,31	0,15×28,50	0,20×7,00	0,15×2,80	0	0	=	9,03
0,10×29,31	0,10×28,50	0,15×7,00	0,20×2,80	0,15×1,25	0		7,58
0,10×29,31	0,10×28,50	0,10×7,00	0,15×2,80	0,20×1,25	0,15×0,54		7,23
							<i>BSf</i>

Продукт разрушения находим по формуле $BSf+(I-S)f$.

Масса продукта, оставшегося в мельнице после классификации: 26,76.

Масса продукта, выгруженного из мельницы: 97,27.

Равновесное состояние достигается, когда масса продукта, выгруженного из мельницы на данном интервале времени, становится равной массе поступающего исходного питания, т.е. 100 единицам. Таким образом, рассчитывается накопление крупного класса руды в мельнице в результате внутренней классификации.

Интервал времени 4:

Класс крупности	1	2	3	4	5	6	остат.
Питание (единица массы)	29,4	43,36	14,00	8,00	5,00	3,00	24,00
Продукт разрушения	4,41	23,44	18,53	14,51	11,53	9,89	44,45

0,15	0	0	0	0	0		29,40
0,20	0,15	0	0	0	0		30,35
0,15	0,20	0,15	0	0	0	×	7,00
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0		2,80
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0		1,25
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15		0,54
			<i>B</i>				<i>Sf</i>

0,15×29,40	0	0	0	0	0	0	4,41
0,20×29,40	0,15×30,35	0	0	0	0	0	10,43
0,15×29,40	0,20×30,35	0,15×7,00	0	0	0	=	11,53
0,10×29,40	0,15×30,35	0,20×7,00	0,15×2,80	0	0		9,31
0,10×29,40	0,10×30,35	0,15×7,00	0,20×2,80	0,15×1,25	0		7,78

0,10×29,40 0,10×30,35 0,10×7,00 0,15×2,80 0,20×1,25 0,15×0,54 7,43
BSf

Продукт разрушения находим по формуле $BSf+(1-S)f$.

Остаток продукта разрушения находим как сумму продуктов разрушения шести классов – 100 и прибавляем массу продукта, оставшегося в мельнице после классификации, прошлого интервала времени.

Масса продукта, оставшегося в мельнице после классификации: 27,85.

Масса продукта, выгруженного из мельницы: 98,91.

Интервал времени 5:

Класс крупности	1	2	3	4	5	6	остат.
Питание (единица массы)	29,41	44,44	14,00	8,00	5,00	3,00	24,00
Продукт разрушения	4,41	23,88	18,68	14,63	11,60	9,96	44,69
0,15	0	0	0	0			29,41
0,20	0,15	0	0	0			31,11
0,15	0,20	0,15	0	0			7,00
0,10	0,15	0,20	0,15	0	×		2,80
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15			1,25
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15		0,54
		<i>B</i>					<i>Sf</i>
0,15×29,41	0	0	0	0	0	0	4,41
0,20×29,41	0,15×31,11	0	0	0	0	0	10,55
0,15×29,41	0,20×31,11	0,15×7,00	0	0	0	0	11,68
0,10×29,41	0,15×31,11	0,20×7,00	0,15×2,80	0	0	0	9,43
0,10×29,41	0,10×31,11	0,15×7,00	0,20×2,80	0,15×1,25	0	0	7,85
0,10×29,41	0,10×31,11	0,10×7,00	0,15×2,80	0,20×1,25	0,15×0,54	0	7,50
							<i>BSf</i>

Продукт разрушения находим по формуле $BSf+(1-S)f$.

Масса продукта, оставшегося в мельнице после классификации: 28,29.

Масса продукта, выгруженного из мельницы: 99,56.

Интервал времени 6:

Класс крупности	1	2	3	4	5	6	остат.
Питание (единица массы)	29,41	44,88	14,00	8,00	5,00	3,00	24,00

ца массы)

Продукт разрушения 4,41 24,05 18,74 14,67 11,63 9,99 44,80

0,15	0	0	0	0	0		29,41	
0,20	0,15	0	0	0	0		31,42	
0,15	0,20	0,15	0	0	0		7,00	=
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0	×	2,80	
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0		1,25	
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15		0,54	
			<i>B</i>				<i>Sf</i>	
0,15×29,41	0	0	0	0	0		0	4,41
0,20×29,41	0,15×31,42	0	0	0	0		0	10,59
0,15×29,41	0,20×31,42	0,15×7,00	0	0	0		0	11,74
0,10×29,41	0,15×31,42	0,20×7,00	0,15×2,80	0	0		0	9,47
0,10×29,41	0,10×31,42	0,15×7,00	0,20×2,80	0,15×1,25	0		0	7,88
0,10×29,41	0,10×31,42	0,10×7,00	0,15×2,80	0,20×1,25	0,15×0,54		0,15×0,54	7,53
								<i>BSf</i>

Продукт разрушения находим по формуле $BSf+(1-S)f$.

Масса продукта, оставшегося в мельнице после классификации: 28,46.

Масса продукта, выгруженного из мельницы: 99,83.

Интервал времени 7:

Класс крупности	1	2	3	4	5	6	остат.
Питание (единица массы)	29,41	45,05	14,00	8,00	5,00	3,00	24,00
Продукт разрушения	4,41	24,13	18,77	14,69	11,64	10,0	44,82

0,15	0	0	0	0	0		29,41	
0,20	0,15	0	0	0	0		31,54	
0,15	0,20	0,15	0	0	0		7,00	=
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0	×	2,80	
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0		1,25	
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15		0,54	
			<i>B</i>				<i>Sf</i>	
0,15×29,41	0	0	0	0	0		0	4,41
0,20×29,41	0,15×31,54	0	0	0	0		0	10,61
0,15×29,41	0,20×31,54	0,15×7,00	0	0	0		0	11,77

0,10×29,41	0,15×31,54	0,20×7,00	0,15×2,80	0	0	9,49
0,10×29,41	0,10×31,54	0,15×7,00	0,20×2,80	0,15×1,25	0	7,89
0,10×29,41	0,10×31,54	0,10×7,00	0,15×2,80	0,20×1,25	0,15×0,54	7,54

BSf

Продукт разрушения находим по формуле $BSf+(I-S)f$.

Масса продукта, оставшегося в мельнице после классификации: 28,54.

Масса продукта, выгруженного из мельницы: 99,92

Интервал времени 8:

Класс крупности	1	2	3	4	5	6	остат.
Питание (единица массы)	29,41	45,13	14,00	8,00	5,00	3,00	24,00
Продукт разрушения	4,41	24,16	18,78	14,70	11,65	10,01	44,83

0,15	0	0	0	0	0	29,41	
0,20	0,15	0	0	0	0	31,59	
0,15	0,20	0,15	0	0	0	7,00	=
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0	2,80	
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0	1,25	
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0,54	

B

Sf

0,15×29,41	0	0	0	0	0	4,41	
0,20×29,41	0,15×31,59	0	0	0	0	10,62	
0,15×29,41	0,20×31,59	0,15×7,00	0	0	0	11,78	=
0,10×29,41	0,15×31,59	0,20×7,00	0,15×2,80	0	0	9,5	
0,10×29,41	0,10×31,59	0,15×7,00	0,20×2,80	0,15×1,25	0	7,90	
0,10×29,41	0,10×31,59	0,10×7,00	0,15×2,80	0,20×1,25	0,15×0,54	7,55	

BSf

Продукт разрушения находим по формуле $BSf+(I-S)f$.

Масса продукта, оставшегося в мельнице после классификации: 28,57.

Масса продукта, выгруженного из мельницы: 99,97

Интервал времени 9:

Класс крупности	1	2	3	4	5	6	остат.
Питание (единица массы)	29,41	45,16	14,00	8,00	5,00	3,00	24,00
Продукт разрушения	4,41	24,17	18,78	14,70	11,65	10,01	44,85

0,15	0	0	0	0	0		29,41	
0,20	0,15	0	0	0	0		31,61	
0,15	0,20	0,15	0	0	0	×	7,00	=
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0		2,80	
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0		1,25	
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15		0,54	
			<i>B</i>				<i>Sf</i>	
0,15×29,41	0	0	0	0	0		0	4,41
0,20×29,41	0,15×31,61	0	0	0	0		0	10,62
0,15×29,41	0,20×31,61	0,15×7,00	0	0	0		0	11,78
0,10×29,41	0,15×31,61	0,20×7,00	0,15×2,80	0	0		0	9,5
0,10×29,41	0,10×31,61	0,15×7,00	0,20×2,80	0,15×1,25	0		0	7,90
0,10×29,41	0,10×31,61	0,10×7,00	0,15×2,80	0,20×1,25	0,15×0,54		0,15×0,54	7,55
								<i>BSf</i>

Продукт разрушения находим по формуле $BSf+(1-S)f$.

Остаток продукта разрушения находим как сумму продуктов разрушения шести классов – 100 и прибавляем массу продукта, оставшегося в мельнице после классификации, прошлого интервала времени.

Масса продукта, оставшегося в мельнице после классификации: 28,58.

Масса продукта, выгруженного из мельницы: 99,99

Интервал времени 10:

Класс крупности	1	2	3	4	5	6	остат.
Питание (единица массы)	29,41	45,17	14,00	8,00	5,00	3,00	24,00
Продукт разрушения	4,41	24,17	18,78	14,70	11,65	10,01	44,85

0,15	0	0	0	0	0		29,41	
0,20	0,15	0	0	0	0		31,62	
0,15	0,20	0,15	0	0	0	×	7,00	=
0,10	0,15	0,20	0,15	0	0		2,80	
0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0		1,25	
0,10	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15		0,54	
			<i>B</i>				<i>Sf</i>	

0,15×29,41	0	0	0	0	0	4,41
0,20×29,41	0,15×31,62	0	0	0	0	10,62
0,15×29,41	0,20×31,62	0,15×7,00	0	0	0	11,78
0,10×29,41	0,15×31,62	0,20×7,00	0,15×2,80	0	0	9,5
0,10×29,41	0,10×31,62	0,15×7,00	0,20×2,80	0,15×1,25	0	7,90
0,10×29,41	0,10×31,62	0,10×7,00	0,15×2,80	0,20×1,25	0,15×0,54	7,55
						<i>BSf</i>

Продукт разрушения находим по формуле $BSf+(1-S)f$.

Масса продукта, оставшегося в мельнице после классификации: 28,58.

Масса продукта, выгруженного из мельницы: 99,99.

Задание 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КРУПНОСТИ. КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Цель задания: изучение кинетической модели процесса измельчения в шаровой мельнице.

Прогноз результатов процесса сокращения крупности осуществляется на основе решения кинетического уравнения

$$\frac{dm_i}{dt} = -k_i m_i + \sum_{j=1}^{i-1} b_{i-j} k_j m_j, \quad (3)$$

где $\frac{dm_i}{dt}$ - скорость разрушения фракции крупности i ;

k_i - константа скорости разрушения крупности i ;

m_i - масса фракции крупности i ;

b_{i-j} - константы функции разрушения, определяющие скорость перехода материала j – ой фракции крупности в i – ую фракцию крупности;

$i, j = 1, 2, 3, \dots$ - порядковый номер фракции крупности.

Материал для изучения изложен в подразделе 1.3 лекции [1], а также показан на примере 4.

Варианты заданий приведены в табл. 21.

Пример 4

Шаровая мельница $3,35 \times 3,35$ м пропускает через себя 800 т/ч. Гранулометрическая характеристика крупности I_i питания, скорости разрушения k_i (сек^{-1}) и функции разрушения b_{i-j} заданы таблицей 20.

Решение

Уравнение (3) может быть переписано как

$$\Delta m_i / \Delta t_i = -k_i m_i + \sum b_{i-j} k_j m_j$$

Если Δm_i заменить на $(m_{i,t+1} - m_{i,t})$, тогда, - назначив Δt_i достаточно малым, будем иметь

$$m_{i,t+1} = m_{i,t} (1 - k_i \Delta t_i) + \Delta t_i \sum b_{i-j} k_j m_{j,t}.$$

Примем $\Delta t_i = 1$ сек, а I_i используем для m_i .

Итак, для верхней (первой, $i = 1$) фракции крупности (+ 2360 мкм), имеем:

$$m_{1,t+1} = m_{1,t} (1 - k_1 \cdot 1,0) + \sum b_{1-1} k_1 m_{1,t}$$

После первой секунды, т.к. $b_{1-1} = 0$, имеем:

$$m_{1,1} = 2,4 \cdot [1 - (9,6/60) \cdot 1,0] + 0 = 2,0160;$$

после второй секунды:

$$m_{1,2} = 2,0160 [1 - (9,6/60) \cdot 1,0] + 0 = 1,6934;$$

после третьей секунды:

$$m_{1,3} = 1,6934 [1 - (9,6/60) \cdot 1,0] + 0 = 1,4225;$$

после четвертой секунды:

$$m_{1,4} = 1,4225 [1 - (9,6/60) \cdot 1,0] + 0 = 1,1949;$$

после пятой секунды:

$$m_{1,5} = 1,1949 [1 - (9,6/60) \cdot 1,0] + 0 = 1,0037.$$

Таблица 21

№ п/п	Крупность класса, мкм	b_{i-j}	k_i , 1/мин	Массовая доля m_i , % (по вариантам)											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+ 2360	0,410	9,6/9,0	2,4	2,0	3,0	2,7	2,6	2,0	2,4	2,8	2,5	2,7	2,5	2,1
2	+ 1700	0,200	6,8/6,0	3,1	3,7	3,9	3,7	3,3	3,0	3,2	3,4	3,1	3,0	3,2	3,4
3	+ 1180	0,114	4,3/4,2	4,0	4,2	4,0	3,8	3,5	3,2	3,4	3,8	4,0	4,2	3,8	3,7
4	+ 850	0,081	3,4/3,0	5,0	3,5	4,0	4,3	4,0	3,7	4,0	4,5	4,8	4,6	4,2	4,1
5	+ 600	0,057	2,4/2,1	6,6	6,0	6,1	6,4	6,0	6,3	6,6	6,3	6,5	6,7	6,3	6,2
6	+ 425	0,040	1,7/1,5	9,1	9,0	8,8	8,5	8,0	8,4	8,6	9,0	8,9	9,1	9,3	9,2
7	+ 300	0,029	1,2/1,1	13,1	13,4	13,6	13,0	13,1	13,0	13,1	12,9	13,2	13,4	13,5	13,6
8	+ 212	0,021	0,85/0,8	16,4	16,1	15,9	16,5	16,4	16,5	16,4	16,6	16,3	16,1	16,0	15,9
9	+ 150	0,015	0,6/0,5	12,7	12,8	13,0	13,3	13,6	13,4	13,2	12,8	12,9	12,7	12,5	12,6
10	+ 106	0,010	0,42/0,4	7,6	8,2	8,1	7,8	8,2	7,9	7,6	7,9	7,7	7,5	7,9	8,0
11	+ 75	0,007	0,30/0,28	4,9	6,5	6,0	5,7	6,0	6,3	8,0	5,5	5,2	5,0	5,4	5,5
12	+ 53	0,004	0,21/0,20	3,7	3,5	3,7	3,9	4,2	4,5	4,3	3,9	3,7	3,5	3,9	4,0
13	+ 38	0,004	0,15/0,14	2,8	2,2	2,0	2,2	2,6	2,9	2,7	2,5	2,8	2,9	2,7	2,5
14	+ 0	0,007	0	8,6	9,0	8,0	8,3	8,4	9,0	8,6	8,2	8,5	8,3	8,5	8,9
		1,000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Примечание. В числителе приведены данные для выполнения первых двенадцати вариантов, а в знаменателе – данные для выполнения с 13 по 24-й варианты.

Для второй фракции крупности ($i = 2$) имеем:

$$m_{2,t+1} = m_{2,t}(1 - k_2 \cdot 1,0) + 1,0 \cdot b_1 k_1 m_{1,t}.$$

После первой секунды:

$$m_{2,1} = m_{2,0}(1 - k_2 \cdot 1,0) + 1,0 \cdot b_1 k_1 m_{1,0} = 3,1 \cdot [1 - (6,8/60) \cdot 1,0] + 1,0 \cdot 0,41 \cdot (9,6/60) \cdot 2,4 = 2,9061;$$

после второй секунды:

$$m_{2,2} = m_{2,1}(1 - k_2 \cdot 1,0) + 1,0 \cdot b_1 k_1 m_{1,1} = 2,9061 \cdot [1 - (6,8/60) \cdot 1,0] + 1,0 \cdot 0,41 \cdot (9,6/60) \cdot 2,0160 = 2,7090;$$

после третьей секунды:

$$m_{2,3} = m_{2,2}(1 - k_2 \cdot 1,0) + 1,0 \cdot b_1 k_1 m_{1,2} = 2,7090 \cdot [1 - (6,8/60) \cdot 1,0] + 1,0 \cdot 0,41 \cdot (9,6/60) \cdot 1,6934 = 2,5131 \text{ и т. д.}$$

Для третьей фракции крупности ($i = 3$) имеем:

$$m_{3,t+1} = m_{3,t}(1 - k_3 \cdot 1,0) + 1,0 \cdot b_1 k_1 m_{1,t}.$$

После первой секунды:

$$m_{3,1} = m_{3,0}(1 - k_3 \cdot 1,0) + 1,0 \cdot b_1 k_1 m_{1,0} + 1,0 \cdot b_2 k_2 m_{2,0} = 4,0 \cdot [1 - (4,3/60) \cdot 1,0] + 1,0 \cdot 0,41 \cdot (9,6/60) \cdot 2,4 = 2,9061;$$

после второй секунды:

$$m_{3,2} = m_{3,1}(1 - k_3 \cdot 1,0) + 1,0 \cdot b_1 k_1 m_{1,1} = 2,9061 \cdot [1 - (6,8/60) \cdot 1,0] + 1,0 \cdot 0,41 \cdot (9,6/60) \cdot 2,0160 = 2,7090;$$

Необходимо заполнить все ячейки таблицы 22 для всех 14 классов крупности (см. табл. 21).

Таблица 22

i	Крупность, мкм	$I, \% m_i$	b_{i-j}	$k_i,$ 1/МИН	$M_{i,t}$				
					$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$
1	+ 2360	2,4	0,410	9,60	2,0160	1,6934	1,4225	1,1949	1,0037
2	+ 1700	3,1	0,200	6,80	2,9061	2,7090	2,5131	2,3216	2,1368
3	+ 1180	4,0	0,114	4,80	3,9008	5,3792	6,3552	6,9457	7,2447
4	+ 850	5,0	0,081	3,40	4,9619	4,9113	4,9017	4,9153	4,9390
5	+ 600	6,6	0,057	2,40	6,5873	6,5652	6,5597	6,5638	6,5721
6	+ 425	9,1	0,040	1,70	9,0939	9,0811	9,0765	9,0765	9,0783
7	+ 300	13,1	0,029	1,20	13,0901	13,0757	13,0671	13,0618	13,0580
8	+ 212	16,4	0,021	0,85	16,4231	16,4425	16,4654	16,4901	16,0580
9	+ 150	12,7	0,015	0,60	12,8186	12,9338	13,0505	13,1677	13,2844
10	+ 106	7,6	0,010	0,42	7,7449	7,8875	8,0317	8,1765	8,3212
11	+ 75	4,9	0,007	0,30	5,0197	5,1383	5,2585	5,3795	5,5010
12	+ 53	3,7	0,005	0,21	3,7909	3,8812	3,9729	4,0655	4,1586
13	+ 38	2,8	0,004	0,15	2,8681	2,9360	3,0048	3,0743	3,1443
14	+ 0	8,6	0,007	0	8,6544	8,7088	8,7639	8,8197	8,8759
		100	1,000		99,8760	101,3430	102,4435	103,2529	103,8332

Задание 5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ. МОДЕЛЬ ИДЕАЛЬНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Цель задания: изучение модели идеального перемешивания в шаровой мельнице.

Прогноз результатов измельчения осуществляется на основе решения уравнения модели мельницы идеального перемешивания.

$$(I_i + \sum b_{i-j} k_j m_j \tau) - (k_i m_i \tau + O_i) = 0, \quad (4)$$

где I_i - массовая доля i -ой фракции крупности питания;

O_i - массовая доля i -ой фракции крупности продукта;

τ - время пребывания материала в мельнице.

Прежде чем приступить к выполнению задания необходимо изучить подраздел 1.4 текста лекций [1] и ознакомиться с примером 5.

Варианты заданий те же, что и в работе 4 (см. табл. 21).

Пример 5

Для мельницы из предыдущего примера (см. пример 4) с гранулометрической характеристикой I_i , с скоростью разрушения k_i , мин^{-1} , функцией разрушения b_{i-j} (см. табл. 21) при заполнении шарами $\varphi = 45\%$, плотности твердой фазы $\rho_s = 3,145$, пористости шаровой нагрузки $P = 32\%$ и плотности твердого в мельнице по объему $T = 50\%$ спрогнозировать результаты измельчения используя модель идеального перемешивания.

Решение

1. Определяем запас материала в мельнице:

$$M = \pi \cdot (D^2 / 4) \cdot L \cdot \varphi \cdot P \cdot T \cdot \rho_s = 3,14 \cdot (3,35^2 / 4) \cdot 3,35 \cdot 0,45 \cdot 0,32 \cdot 0,5 \cdot 3,145 = 6,69 \text{ т}$$

2. Вычислим время пребывания материала в аппарате:

$$\tau = M / Q = (6,69 \cdot 60) / 800 = 0,5 \text{ мин}$$

3. Преобразуем уравнение (4)

$$Q_i = [I_i + \sum b_{i-j} (\sum O_j)] / (k_i \tau + 1), \quad (5)$$

Используя это уравнение, совершим два промежуточных преобразования:

$$\text{первое: } k_{B,i} = \sum b_{i-j} (\sum O)_j,$$

т.е. первое определяет материал, появившийся в крупности i за счет разрушения частиц крупнее i ;

$$\text{второе: } (\sum O)_j = O_j k_j \tau, \quad (6)$$

т.е. второе есть промежуточное вычисление для перевода количества, разрушенного в крупности j в более мелкую крупность i .

4. Рассчитаем процесс сокращения крупности (см. табл. 23).

Допустим, что имеем 100 ед/мин на входе в мельницу.

1) для первой фракции крупности ($i = 1$):

Шаг 1. Материал, появившийся из более крупных частиц (уравн. 6).

$$k_{B,1} = \sum b_{1-1} (\sum O)_1 = 0,0$$

Шаг 2. Используем уравнение (5)

$$Q_1 = [I_1 + k_{B,1}] / (k_1 \tau + 1) = (2,4 + 0) / (9,6 \cdot 0,5 + 1) = 0,4138$$

Шаг 3. Оценим прирост за счёт разрушения.

$$(\sum O)_1 = O_1 k_1 \tau = 0,4138 \cdot 9,6 \cdot 0,5 = 1,9862$$

2) для второй фракции крупности ($i = 2$):

Шаг 1. $k_{B,2} = \sum b_1 (\sum O)_1 = 0,41 \cdot 1,9862 = 0,8143$

Шаг 2.

$$Q_2 = [I_2 + k_{B,2}] / (k_2 \tau + 1) = (3,1 + 0,8143) / (6,8 \cdot 0,5 + 1) = 0,8896$$

Шаг 3. $(\sum O)_2 = O_2 k_2 \tau = 0,8896 \cdot 6,8 \cdot 0,5 = 3,0247$

3) для третьей фракции крупности ($i = 3$):

Шаг 1.

$$k_{B,3} = b_1 (\sum O)_2 + b_2 (\sum O)_1 = 0,41 \cdot 3,0247 + 0,20 \cdot 1,9862 = 1,6374$$

Шаг 2.

$$Q_3 = [I_3 + k_{B,3}] / (k_3 \tau + 1) = (4,0 + 1,6374) / (4,8 \cdot 0,5 + 1) = 1,6580$$

Шаг 3. $(\sum O)_3 = O_3 k_3 \tau = 1,6580 \cdot 4,8 \cdot 0,5 = 3,9793$

4) для четвертой фракции крупности ($i = 4$):

Шаг 1.

$$k_{B,4} = b_1(\sum O)_3 + b_2(\sum O)_2 + b_3(\sum O)_1 = 0,41 \cdot 3,9793 + 0,20 \cdot 3,0247 + 0,114 \cdot 1,9862 = 2,4629 \text{ и т. д.}$$

Таблица 23

Результаты расчёта

i	Крупность, мкм	$k_{B,i}$	O_i	$(\sum O)_j$
1	+2360	0	0,4138	1,9862
2	+1700	0,8143	0,8896	3,0247
3	+1180	1,6374	1,6580	3,9793
4	+850	2,4629		
5	+600			
6	+425			
7	+300			
8	+212			
9	+150			
10	+106			
11	+75			
12	+53			
13	+38			
14	+0			
			100	

Необходимо заполнить все ячейки таблицы. При этом выход подситового класса ($i = 14$) определяется из соотношения

$$Q_{14} = 100 - \sum O_i$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ к теме 1

1. Что такое breakage function?
2. Поясните смысл выражения selection function?
3. Напишите матричное уравнение разрушения с учётом функций B и S . Поясните его.
4. Что такое функция классификации?
5. Напишите матричное уравнение разрушения с учётом функций B , S и C . Поясните его.

6. Чем отличается кинетическая модель процесса измельчения от матричной?
7. Как экспериментально определить функции B , S и C и R .
8. Поясните конструкцию модели дробилки.
9. Какова основная идея модели стержневой мельницы?
10. В чём суть модели шаровой мельницы идеального перемешивания?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. King R. P. Modeling and simulation of mineral processing systems. USA: University of Utah, 2001, 414 p.
2. A. Grimes, C. Bailey, I. Crawford et al. JKSimMet: Steady State Mineral Processing Simulator. Version 6.0. User Manual. Indooroopilly (Australia): JKTech, 2004, 173 p.
3. <http://www.jktech.com.au>.
4. Строгалева В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 280 с.
5. Napier-Munn T. J., Morrell S., Morrison R. D., Kojovic T. Mineral comminution circuits: their operation and optimization. Australia, Brisbane, JKMRС, 2005. 413 p.
6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ: методические указания по лабораторным работам / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Сост.: В.В. Львов, А.О. Ромашев, Е.А. Карасев СПб, 2014. 48 с.
7. Андреев Е.Е. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: Учебник для Вузов / Е.Е.Андреев, О.Н.Тихонов. – СПб: СПГГИ (ТУ), 2007. – 440 с.

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ СОКРАЩЕНИЯ КРУПНОСТИ	3
Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧЕТЫРЕХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СТАДИЙ РАЗРУШЕНИЯ ЧАСТИЦ.....	3
Задание 2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СОКРАЩЕНИЯ КРУПНОСТИ. МАТРИЧНАЯ МОДЕЛЬ	10
Задание 3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ. МАТРИЧНАЯ МОДЕЛЬ	21
Задание 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КРУПНОСТИ. КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ	29
Задание 5. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ. МОДЕЛЬ ИДЕАЛЬНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ.....	34
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	38