

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Александрова'.

Руководитель ОПОП ВО  
Профессор Т.Н. Александрова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНЦЕНТРАЦИИ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Уровень высшего образования:	Подготовка кадров высшей квалификации
Направление подготовки:	21.06.01 Геология, разведка и разработка полезных ископаемых
Направленность (профиль):	Обогащение полезных ископаемых
Форма обучения:	очная
Нормативный срок обучения:	4 года
Составитель:	д.т.н., профессор Т.Н. Александрова

Санкт-Петербург

УДК 622.7(075.83)

Энергоэффективные технологии концентрации минерального сырья: Методические указания к практическим занятиям/ Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Т.Н. Александрова, В.Б. Кусков*, СПб, 2018. 49 с.

Приведены задания и методические указания по их решению, необходимые при изучении дисциплины «Энергоэффективные технологии концентрации минерального сырья». Задания для практических занятий распределены по отдельным разделам. Предварительно в каждом разделе даны основные определения и формулы для расчета. Задания предназначены для практических и самостоятельных занятий аспирантов, их также можно использовать в зачетах.

Практические занятия предназначены для аспирантов, обучающихся по направлению 21.06.01 Геология, разведка и разработка полезных ископаемых, направленность (профиль): Обогащение полезных ископаемых, научная специальность: 25.00.13 Обогащение полезных ископаемых.

Ил. 12. Табл. 31.

Научный редактор *проф. Бажин В.Ю.*

Рецензент: проф., д.т.н., зав кафедрой «Машины автоматизированных систем», Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД *Александров А.В.*

© Санкт-Петербургский горный университет, 2018 г.

# 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

## 1.1. Определения и формулы для расчёта

Обогащение минерального сырья, как и любой другой технологический процесс, характеризуется технологическими показателями.

*Абсолютные технологические показатели:* масса продукта (производительность) –  $Q$ ; масса (производительность) расчетного компонента в продукте –  $P$ . Эти показатели выражаются обычно в тоннах в час, тоннах в сутки, тоннах в год и т.д.

*Относительные технологические показатели:* содержание (массовая доля) расчетного компонента в продукте –  $\beta$ , – это отношение массы (производительности) расчетного компонента в продукте к массе (производительности) продукта. Содержание различных компонентов в полезном ископаемом и в полученных продуктах принято вычислять в процентах.

Содержание в  $i$  – ом продукте:

$$\beta_i = \frac{P_i}{Q_i} \cdot 100, \%$$

*Выход продукта* –  $\gamma_n, \gamma_k, \gamma_{хв}$  – это отношение массы (производительности) продукта к массе (производительности) исходной руды; выход любого продукта обогащения выражают в процентах, реже в долях единицы. Выход  $i$  – го продукта вычисляется по формуле:

$$\gamma_i = (Q_i / Q_{исх}) \cdot 100, \%$$

*Извлечение ценного компонента* –  $\varepsilon_n, \varepsilon_k, \varepsilon_{хв}$  – это отношение массы (производительности) расчетного компонента в продукте к массе (производительности) этого же компонента в исходной руде; извлечение выражается в процентах, реже в долях единицы. Извлечение полезного компонента в  $i$ -ий продукт:

$$\varepsilon_i = \frac{P_i}{P_{\text{исх}}} 100, \%$$

Технологические показатели связаны рядом формул. Например, для случая разделения исходного продукта на два продукта – концентрат и хвосты их выход можно определить через содержания по следующим формулам:

$$\gamma_{\text{к}} = \frac{\beta_{\text{исх}} - \beta_{\text{хв}}}{\beta_{\text{кон}} - \beta_{\text{хв}}} 100, \%; \quad \gamma_{\text{хв}} = \frac{\beta_{\text{кон}} - \beta_{\text{исх}}}{\beta_{\text{кон}} - \beta_{\text{хв}}} 100, \%$$

Сумма выходов концентрата и хвостов равна выходу исходного продукта, выход которого всегда 100 %:

$$\gamma_{\text{к}} + \gamma_{\text{хв}} = \gamma_{\text{исх}} = 100 \%$$

Очевидно, что

$$\begin{aligned} Q_{\text{кон}} + Q_{\text{хв}} &= Q_{\text{исх}}; \\ P_{\text{кон}} + P_{\text{хв}} &= P_{\text{исх}}. \end{aligned}$$

Эта формула справедлива и для любого количества продуктов, т.е.:

$$\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n = \gamma_{\text{исх}} = 100 \%$$

Аналогично для  $Q$  и  $P$ .

Извлечение полезного компонента в  $i$  – ий продукт рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{\gamma_i \beta_i}{\beta_{\text{исх}}}, \%$$

Сумма извлечений концентрата и хвостов равна:

$$\varepsilon_{\text{к}} + \varepsilon_{\text{хв}} = \varepsilon_{\text{исх}} = 100 \%$$

Эта формула справедлива и для любого количества продуктов:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n = \varepsilon_{\text{исх}} = 100 \%$$

Показатели содержания суммировать нельзя. Но их связывает так называемое уравнение баланса:

$$\gamma_{\text{к}} \cdot \beta_{\text{кон}} + \gamma_{\text{хв}} \cdot \beta_{\text{хв}} = \gamma_{\text{исх}} \cdot \beta_{\text{исх}}$$

Уравнение справедливо также для любого числа продуктов:

$$\gamma_1 \cdot \beta_1 + \gamma_2 \cdot \beta_2 + \dots + \gamma_n \cdot \beta_n = \gamma_{\text{исх}} \cdot \beta_{\text{исх}}$$

## 1.2. Задачи на определение технологических показателей концентрации минерального сырья

В задачах 1.1 – 1.10 (табл. 1.1) определить производительность по концентрату, выход концентрата и хвостов если заданы производительность по хвостам  $Q_{\text{хв}}$  и производительность по исходному питанию  $Q_{\text{исх}}$ .

Таблица 1.1

Условия задач 1.1 – 1.8

№ вар.	Пр-ть по исх. $Q_{\text{исх}}$ , Т/ч	Пр-ть по $Q_{\text{хв}}$ , Т/ч	№ вар.	Пр-ть по исх. $Q_{\text{исх}}$ , Т/ч	Пр-ть по исх. $Q_{\text{хв}}$ , Т/ч
1.1	2000	1200	1.20	3100	2400
1.2	3000	2000	1.21	2800	2200
1.3	2800	2100	1.22	2700	1959
1.4	2200	1900	1.23	1200	850
1.5	2100	1750	1.24	1750	800
1.6	2250	1850	1.25	2150	2000
1.7	1950	1300	1.26	3500	1950
1.8	1700	1200	1.27	3300	2750

В задачах 1.9 – 1.16 (табл. 1.2) определить производительность по хвостам, выход концентрата и хвостов если задана производительность по концентрату  $Q_{\text{кон}}$  и производительность по исходному питанию  $Q_{\text{исх}}$ .

Таблица 1.2

Условия задач 1.9 – 1.16

№ вар.	Пр-ть по исх. $Q_{\text{исх}}$ , Т/ч	Пр-ть по $Q_{\text{кон}}$ , Т/ч	№ вар.	Пр-ть по исх. $Q_{\text{исх}}$ , Т/ч	Пр-ть по исх. $Q_{\text{хв}}$ , Т/ч
1.9	2950	700	1.47	2600	900
1.10	2150	600	1.48	1900	500
1.11	2850	600	1.49	1800	400
1.12	2500	500	1.50	2100	300
1.13	2000	100	1.51	2300	300
1.14	2600	100	1.52	2400	250
1.15	2300	100	1.53	1900	200
1.16	2200	250	1.54	1850	150

В задачах 1.17 – 1.25 (табл. 1.3) определить производительность по хвостам и концентрату, выход хвостов. Производительность по исходному  $Q_{исх}$  и выход концентрата  $\gamma_{кон}$  заданы.

Таблица 1.3

Условия задач 1.61 – 1.91

№ вар.	Пр-ть по исх. $Q_{исх.}$ , т/ч	Вых. кон-та $\gamma_{кон.}$ , %	№ вар.	Пр-ть по исх. $Q_{исх.}$ , т/ч	Пр-ть по исх. $Q_{хв.}$ , т/ч
1.17	2150	23	1.78	1900	12
1.18	2850	15	1.79	1800	18
1.19	2500	10	1.80	2100	21
1.20	2000	12	1.81	2300	22
1.21	2600	17	1.82	2400	14
1.22	2300	25	1.83	1900	15
1.23	2200	32	1.84	1850	24
1.24	2150	31	1.85	2250	35
1.25	1950	14	1.86	3100	12

В задачах 1.26 – 1.35 (табл. 1.4) определить выход  $\gamma$ , извлечение  $\epsilon$  в концентрат и хвосты.

Таблица 1.4

Условия задач 1.26 – 1.35

№ вар.	Сод. в исх. $\beta_{исх.}$ , т/ч	Сод. в кон-те $\beta_{кон.}$ , %	Сод. в хв. $\beta_{хв.}$ , %	№ вар.	Сод. в исх. $\beta_{исх.}$ , т/ч	Сод. в кон-те $\beta_{кон.}$ , %	Сод. в хв. $\beta_{хв.}$ , %
1.26	31,08	66,3	9,6	1.108	30,99	67,9	9,05
1.27	28,48	65,9	10,7	1.109	33,79	67,5	9,95
1.28	28,1	65,9	9,95	1.110	32,15	66,95	8,95
1.29	28,88	66,95	9,85	1.111	32,51	64,8	9,45
1.30	32,54	66,45	8,8	1.112	31,22	66,2	9,35
1.31	31,25	65,85	9,4	1.113	32,3	66,85	9,85
1.32	32,45	66,2	9,35	1.114	32,84	62,9	8,8
1.33	30,51	66,85	9,85	1.115	29,96	68,05	9,8
1.34	29,41	62,9	8,8	1.116	33,06	67,95	9,8
1.35	29,69	67,95	9,8	1.117	29,18	67,95	9,8

В задачах 1.36 – 1.45 (табл. 1.5) определить выход хвостов  $\gamma_{хв.}$ , извлечение  $\epsilon$  в концентрат и хвосты, известны выход концентрата  $\gamma_{кон.}$ , содержания  $\beta$  в концентрате и хвостах.

Таблица 1.5

Условия задач 1.36 – 1.45

№ вар.	Выход кон-та $\gamma_{кон.}, \%$	Сод. в кон-те $\beta_{кон.}, \%$	Сод. в хв. $\beta_{хв.}, \%$	№ вар.	Выход кон-та $\gamma_{кон.}, \%$	Сод. в кон-те $\beta_{кон.}, \%$	Сод. в хв. $\beta_{хв.}, \%$
1.36	33,96	68,5	9,4	1.41	35,71	69,30	9,6
1.37	33,33	67,5	8,4	1.42	66,9	66,9	10,25
1.38	37,88	66,3	9,6	1.43	37,29	67,9	9,05
1.39	32,20	65,9	10,7	1.44	41,43	67,5	9,95
1.40	32,43	65,9	9,95	1.45	40,0	66,95	8,95

В задачах 1.46 – 1.59 (табл. 1.6) определить производительность по расчетному компоненту в концентрате  $P_{кон.}$  и хвостах  $P_{хв.}$ , выход концентрата и хвостов, содержание расчетного компонента в исходном питании, извлечение в концентрат и хвосты по известным производительностям по концентрату и хвостам, содержаниям в концентрате и хвостах.

Таблица 1.6

Условия задач 1.46 – 1.59

№ вар.	Пр-ть по конц. $Q_{кон.}, \text{т/ч}$	Пр-ть по хв. $Q_{хв.}, \text{т/ч}$	Сод. в кон-те $\beta_{кон.}, \%$	Сод. в хв. $\beta_{хв.}, \%$	№ вар.	Пр-ть по конц. $Q_{кон.}, \text{т/ч}$	Пр-ть по хв. $Q_{хв.}, \text{т/ч}$	Сод. в кон-те $\beta_{кон.}, \%$	Сод. в хв. $\beta_{хв.}, \%$
1.46	2000	4000	67,5	8,4	1.53	2100	3700	66,9	10,25
1.47	2500	4100	66,3	9,6	1.54	2200	3700	67,9	9,05
1.48	1900	4000	65,9	10,7	1.55	2900	4100	67,5	9,95
1.49	2400	5000	65,9	9,95	1.56	2800	4200	66,95	8,95
1.50	3000	6000	66,95	9,85	1.57	2500	3500	64,8	9,45
1.51	1400	2000	66,45	8,8	1.58	2500	4000	66,2	9,35
1.52	1200	1900	65,85	9,4	1.59	2600	4000	66,85	9,85

В задачах 1.60 – 1.70 (табл. 1.7) определить выход концентрата и хвостов, содержание расчетного компонента в хвостах, по известному извлечению в концентрат и содержаниям расчетного компонента в концентрате и исходном питании.

Таблица 1.7

Условия задач 1.60 – 1.70

№ вар.	Сод. в исх. $\beta_{\text{исх.}}$ , т/ч	Сод. в кон-те $\beta_{\text{кон.}}$ , %	Извл. в кон-т $\epsilon_{\text{кон.}}$ , %	№ вар.	Сод. в исх. $\beta_{\text{исх.}}$ , т/ч	Сод. в кон-те $\beta_{\text{кон.}}$ , %	Извл. в кон-т $\epsilon_{\text{кон.}}$ , %
1.60	28,48	65,9	74,53	1.66	33,79	67,5	82,75
1.61	28,1	65,9	76,07	1.67	32,15	66,95	83,3
1.62	28,88	66,95	77,26	1.68	32,51	64,8	83,04
1.63	32,54	66,45	84,09	1.69	31,22	66,2	81,57
1.64	31,25	65,85	81,56	1.70	32,3	66,85	81,52
1.65	32,45	66,2	82,89				

В задачах 1.71 – 1.80 (табл. 1.8) определить выхода и извлечения в концентрат и хвосты, содержания в концентрате, хвостах и исходном питании, если известны производительность по концентрату  $Q_{\text{кон.}}$  и расчетному компоненту в концентрате  $P_{\text{кон.}}$ .

Таблица 1.8

Условия задач 1.71 – 1.80

№ вар.	$P_{\text{кон.}}$ , т/ч	$Q_{\text{кон.}}$ , т/ч	Извл. в кон-т $\epsilon_{\text{кон.}}$ , %	№ вар.	$P_{\text{кон.}}$ , т/ч	$Q_{\text{кон.}}$ , т/ч	Извл. в кон-т $\epsilon_{\text{кон.}}$ , %
1.71	1233,0	1800	78,94	1.76	1386,0	2000	80,04
1.72	1350,0	2000	80,07	1.77	1404,9	2100	78,74
1.73	1657,5	2500	80,81	1.78	1493,8	2200	81,69
1.74	1252,1	1900	74,53	1.79	1957,5	2900	82,75
1.75	1358,0	2000	82,21	1.80	1956,0	3000	79,62

В задачах 1.81 – 1.90 (табл. 1.9) исходный материал делится на три продукта: концентрат, промпродукт и хвосты. Заданы выходы концентрата и хвостов, содержания в концентрате, промпродукте и хвостах. Надо определить выход промпродукта, содержание в исходном питании, извлечение в концентрат, промпродукт и хвосты.



Таблица 1.9

## Условия задач 1.81 – 1.90

№ вар.	Показатель	Наименование продукта			№ вар.	Наименование продукта		
		Конц.	Пр. пр.	Хв.		Конц.	Пр. пр.	Хв.
1.81	Выход, %	25,50		65,00	1.86	25,5		65,0
	Сод-ние, %	65,55	30,80	9,50		65,25	30,80	9,50
1.82	Выход, %	25,55	8,78	65,67	1.87	25,15	9,18	65,67
	Сод-ние, %	65,55	30,85	9,55		65,55	30,85	9,55
1.83	Выход, %	25,65	6,60	67,75	1.88	25,35	6,90	67,75
	Сод-ние, %	66,25	30,75	9,58		66,25	30,75	9,58
1.84	Выход, %	35,65	26,60	37,75	1.89	35,05	27,20	37,75
	Сод-ние, %	66,25	30,75	9,18		66,25	30,75	9,18
1.85	Выход, %	32,15	30,10	37,75	1.90	38,75	24,32	36,93
	Сод-ние, %	66,55	28,75	9,55		66,52	28,78	9,55
	Сод-ние, %	67,87	23,15	9,21		67,86	23,12	9,29

В задачах 1.91 – 1.95 (табл. 1.10) исходный материал делится на три продукта: концентрат, промпродукт и хвосты. Заданы выходы концентрата и хвостов, содержания в концентрате, промпродукте и исходном материале. Надо определить выход промпродукта, содержание в хвостах, извлечение в концентрат, промпродукт и хвосты.

Таблица 1.10

## Условия задач 1.91 – 1.95

№ вар.	Показатель	Наименование продукта			
		Концентрат	Промпродукт	Хвосты	Исходный
1.91	Выход, %	25,65	6,60	67,75	
	Содержание, %	66,25	30,75		25,51
1.92	Выход, %	35,65	26,60	37,75	
	Содержание, %	66,25	30,75		35,26
1.93	Выход, %	32,15	30,10	37,75	
	Содержание, %	66,55	28,75		33,65
1.94	Выход, %	22,75	10,10	67,15	
	Содержание, %	69,55	28,75		23,79
1.95	Выход, %	40,20	9,65	50,15	
	Содержание, %	68,14	24,75		35,57

В задачах 1.96 – 1.105 (табл. 1.11) исходный материал поступает на фабрику из двух шахт, с одной в количестве  $Q_1$ , с другой в ко-

личестве  $Q_1$ , т/ч. Содержание полезного компонента в материале, поступающем из первой шахты  $\beta_1$ , из второй шахты –  $\beta_2$ . После обогащения получен концентрат и хвосты. Известен выход концентрата  $\gamma_{\text{кон.}}$ , содержание расчетного компонента в концентрате  $\beta_{\text{кон.}}$ . Надо определить выход хвостов, содержание в исходном материале и хвостах, извлечение в концентрат и хвосты.

Таблица 1.11

Условия задач 1.96 – 1.105

№ вар.	Показатель	Значение показателя	№ вар.	Показатель	Значение показателя
1.96	$Q_1$ , т/ч	1000,0	1.101	$Q_1$ , т/ч	1200,0
	$Q_2$ , т/ч	1500,0		$Q_2$ , т/ч	1500,0
	$\beta_1$ , %	38,5		$\beta_1$ , %	38,6
	$\beta_2$ , %	35,7		$\beta_2$ , %	35,5
	$\gamma_{\text{кон.}}$ , %	49,1		$\gamma_{\text{кон.}}$ , %	49,12
	$\beta_{\text{кон.}}$ , %	66,7		$\beta_{\text{кон.}}$ , %	66,73
1.97	$Q_1$ , т/ч	1000,0	1.102	$Q_1$ , т/ч	1200,0
	$Q_2$ , т/ч	1200,0		$Q_2$ , т/ч	1100,0
	$\beta_1$ , %	37,5		$\beta_1$ , %	37,54
	$\beta_2$ , %	36,7		$\beta_2$ , %	36,75
	$\gamma_{\text{кон.}}$ , %	50,11		$\gamma_{\text{кон.}}$ , %	50,15
	$\beta_{\text{кон.}}$ , %	66,5		$\beta_{\text{кон.}}$ , %	66,55
1.98	$Q_1$ , т/ч	1300,0	1.103	$Q_1$ , т/ч	1100,0
	$Q_2$ , т/ч	1000,0		$Q_2$ , т/ч	1000,0
	$\beta_1$ , %	32,5		$\beta_1$ , %	34,5
	$\beta_2$ , %	37,6		$\beta_2$ , %	36,8
	$\gamma_{\text{кон.}}$ , %	46,24		$\gamma_{\text{кон.}}$ , %	46,25
	$\beta_{\text{кон.}}$ , %	65,2		$\beta_{\text{кон.}}$ , %	65,25
1.99	$Q_1$ , т/ч	1500,0	1.104	$Q_1$ , т/ч	1400,0
	$Q_2$ , т/ч	1000,0		$Q_2$ , т/ч	1000,0
	$\beta_1$ , %	32,0		$\beta_1$ , %	33,7
	$\beta_2$ , %	38,5		$\beta_2$ , %	38,1
	$\gamma_{\text{кон.}}$ , %	44,64		$\gamma_{\text{кон.}}$ , %	44,65
	$\beta_{\text{кон.}}$ , %	64,5		$\beta_{\text{кон.}}$ , %	64,55
1.100	$Q_1$ , т/ч	2000,0	1.105	$Q_1$ , т/ч	1500,0
	$Q_2$ , т/ч	1000,0		$Q_2$ , т/ч	1700,0
	$\beta_1$ , %	32,0		$\beta_1$ , %	32,8
	$\beta_2$ , %	39,0		$\beta_2$ , %	39,1

В задачах 1.106 – 1.115 (табл. 11.2) исходный материал поступает на фабрику из двух шахт, с одной в количестве  $Q_1$ , с другой в количестве  $Q_2$ , т/ч. Содержание полезного компонента в материале, поступающем из первой шахты  $\beta_1$ , из второй шахты –  $\beta_2$ . После обогащения получен концентрат и хвосты. Известно содержание расчетного компонента в концентрате  $\beta_{кон.}$  и в хвостах  $\beta_{хв.}$ . Необходимо определить выходы, содержания и извлечения в концентрате и хвостах.

Таблица 1.12

Условия задач 1.106 – 1.115

№ вар.	Показатель	Значение	№ вар.	Показатель	Значение
1.106	$Q_1$ , т/ч	1000,0	1.111	$Q_1$ , т/ч	1200,0
	$Q_2$ , т/ч	1500,0		$Q_2$ , т/ч	1500,0
	$\beta_1$ , %	38,5		$\beta_1$ , %	38,6
	$\beta_2$ , %	35,7		$\beta_2$ , %	35,5
	$\beta_{хв.}$ , %	8,0		$\beta_{хв.}$ , %	8,23
	$\beta_{кон.}$ , %	66,7		$\beta_{кон.}$ , %	66,73
1.107	$Q_1$ , т/ч	1000,0	1.112	$Q_1$ , т/ч	1200,0
	$Q_2$ , т/ч	1200,0		$Q_2$ , т/ч	1100,0
	$\beta_1$ , %	37,5		$\beta_1$ , %	37,54
	$\beta_2$ , %	36,7		$\beta_2$ , %	36,75
	$\beta_{хв.}$ , %	7,5		$\beta_{хв.}$ , %	7,21
	$\beta_{кон.}$ , %	66,5		$\beta_{кон.}$ , %	66,55
1.108	$Q_1$ , т/ч	1300,0	1.113	$Q_1$ , т/ч	1100,0
	$Q_2$ , т/ч	1000,0		$Q_2$ , т/ч	1000,0
	$\beta_1$ , %	32,5		$\beta_1$ , %	34,5
	$\beta_2$ , %	37,6		$\beta_2$ , %	36,8
	$\beta_{хв.}$ , %	8,5		$\beta_{хв.}$ , %	8,45
	$\beta_{кон.}$ , %	65,2		$\beta_{кон.}$ , %	65,25
1.109	$Q_1$ , т/ч	1500,0	1.114	$Q_1$ , т/ч	1400,0
	$Q_2$ , т/ч	1000,0		$Q_2$ , т/ч	1000,0
	$\beta_1$ , %	32,0		$\beta_1$ , %	33,7
	$\beta_2$ , %	38,5		$\beta_2$ , %	38,1
	$\beta_{хв.}$ , %	9,5		$\beta_{хв.}$ , %	9,32
	$\beta_{кон.}$ , %	64,5		$\beta_{кон.}$ , %	64,55
1.110	$Q_1$ , т/ч	2000,0	1.115	$Q_1$ , т/ч	1500,0
	$Q_2$ , т/ч	1000,0		$Q_2$ , т/ч	1700,0
	$\beta_1$ , %	32,0		$\beta_1$ , %	32,8
	$\beta_2$ , %	39,0		$\beta_2$ , %	39,1
	$\beta_{хв.}$ , %	9,2		$\beta_{хв.}$ , %	9,2
	$\beta_{кон.}$ , %	65,3		$\beta_{кон.}$ , %	65,8

В задачах 1.116 – 1.125 (табл. 1.13) исходный материал поступает на фабрику из двух шахт, с первой в количестве  $\gamma_1$ , с другой – остальное. Содержание полезного компонента в материале, поступающем из первой шахты  $\beta_1$ , из второй шахты –  $\beta_2$ . После обогащения получен концентрат и хвосты. Известно содержание расчетного компонента в концентрате  $\beta_{\text{кон.}}$  и в хвостах  $\beta_{\text{хв.}}$ . Надо определить выход концентрата и хвостов, содержание в исходном материале и хвостах, извлечение в концентрат и хвосты.

Таблица 1.13

Условия задач 1.116 – 1.125

№ вар.	Показатель	Значение показателя	№ вар.	Показатель	Значение показателя
1.116	$\gamma_1, \%$	40,0	1.121	$\gamma_1, \%$	42,0
	$\beta_1, \%$	35,5		$\beta_1, \%$	35,4
	$\beta_2, \%$	31,0		$\beta_2, \%$	30,0
	$\beta_{\text{хв.}}, \%$	9,0		$\beta_{\text{хв.}}, \%$	9,11
	$\beta_{\text{кон.}}, \%$	65,7		$\beta_{\text{кон.}}, \%$	65,55
1.117	$\gamma_1, \%$	42,0	1.122	$\gamma_1, \%$	43,0
	$\beta_1, \%$	38,6		$\beta_1, \%$	38,6
	$\beta_2, \%$	35,77		$\beta_2, \%$	35,5
	$\beta_{\text{хв.}}, \%$	8,0		$\beta_{\text{хв.}}, \%$	8,23
	$\beta_{\text{кон.}}, \%$	66,7		$\beta_{\text{кон.}}, \%$	66,73
1.118	$\gamma_1, \%$	45,0	1.123	$\gamma_1, \%$	45,0
	$\beta_1, \%$	37,5		$\beta_1, \%$	37,54
	$\beta_2, \%$	36,7		$\beta_2, \%$	36,75
1.119	$\gamma_1, \%$	56,0	1.124	$\gamma_1, \%$	43,0
	$\beta_1, \%$	32,0		$\beta_1, \%$	34,5
	$\beta_2, \%$	38,0		$\beta_2, \%$	36,8
	$\beta_{\text{хв.}}, \%$	8,0		$\beta_{\text{хв.}}, \%$	8,45
	$\beta_{\text{кон.}}, \%$	65,0		$\beta_{\text{кон.}}, \%$	65,25
1.120	$\gamma_1, \%$	58,0	1.125	$\gamma_1, \%$	47,0
	$\beta_1, \%$	32,0		$\beta_1, \%$	33,7
	$\beta_2, \%$	39,5		$\beta_2, \%$	38,1
	$\beta_{\text{хв.}}, \%$	9,5		$\beta_{\text{хв.}}, \%$	9,32
	$\beta_{\text{кон.}}, \%$	64,8		$\beta_{\text{кон.}}, \%$	64,55

В задачах 1.126 – 1.140 (табл. 1.14) обогащение производится по двум полезным компонентам меди и никелю. Определить выход хвостов, содержание полезных компонентов в исходном питании, извлечение меди и никеля в концентрат и хвосты.

Таблица 1.14

Условия задач 1.126 – 1.140

№ вар.	Наименование продукта	Вых., %	Сод. меди, %	Сод. никеля, %	№ вар.	Вых., %	Сод. меди, %	Сод. никеля, %
1.126	Конц.	3,73	20,582	10,455	1.134	3,84	21,689	10,434
	Хв.		0,115	0,093			0,114	0,096
1.127	Конц.	3,79	22,020	11,455	1.135	3,87	22,125	11,455
	Хв.		0,112	0,093			0,178	0,097
1.128	Конц.	3,92	21,856	12,052	1.136	3,97	21,159	12,052
	Хв.		0,108	0,089			0,123	0,097
1.129	Конц.	3,98	21,357	12,002	1.137	4,08	21,053	12,452
	Хв.		0,102	0,083			0,111	0,086
1.130	Конц.	4,12	19,850	10,125	1.138	4,12	19,850	10,125
	Хв.		0,196	0,097			0,196	0,097
1.131	Конц.	4,03	21,129	11,267	1.139	4,07	21,189	11,297
	Хв.		0,105	0,079			0,141	0,081
1.132	Конц.	4,42	19,879	9,967	1.140	4,46	19,232	10,164
	Хв.		0,185	0,097			0,184	0,097
1.133	Конц.	3,92	22,943	11,923				
	Хв.		0,105	0,088				
	Хв.		0,105	0,052				

Задачи №№ 1.141 – 1.450. Рассчитать требуемые технологические показатели обогащения минерального сырья.

Задача 1.141. Определить содержание полезного компонента в хвостах, если из 1100 т руды с содержанием полезного компонента 0,9 % в процессе обогащения получено 17 т концентрата, извлечение 89 %.

Ответ: 0,1 %.

Задача 1.142. Рассчитать извлечение металла в концентрат, если фабрика имеет производительность по руде 10 000 т/сутки, перера-

батывает руду с содержанием металла 2 %, при этом получает 500 т концентрата в сутки с массовой долей в нём металла 30 %.

Ответ: 75 %.

Задача 1.143. Определить выход хвостов, если из 1 000 т руды получено 10 т концентрата.

Ответ: 99 %.

Задача 1.144. Производительность фабрики 10 000 т/сутки. Фабрика перерабатывает мерную руду с массовой долей меди 2 %; в медном концентрате массовая доля меди 20 %, в хвостах - 0,1 %. Определить извлечение меди в концентрат, хвосты, выходы этих продуктов и массу продуктов.

Ответ:  $\gamma_{\text{кт}} = 9,5 \%$ ,  $\varepsilon_{\text{кт}} = 95 \%$ ,  $Q_{\text{кт}} = 950$  т/сутки,  $\gamma_{\text{хв}} = 90,5 \%$ ,  $\varepsilon_{\text{хв}} = 5 \%$ ,  $Q_{\text{хв}} = 9 050$  т/сутки.

Задача 1.145. Установить потери никеля в медном концентрате, если содержание никеля в нём 1,0 % и выход медного концентрата 10 %. Содержание никеля в исходной руде 3 %.

Ответ: 3,33 %.

Задача 1.146. Производительность фабрики 10 000 т/сутки, выход медного концентрата 5 %, цинкового - 3 %. Сколько тонн меди и цинка теряется в сутки с хвостами, если массовая доля цинка и меди в хвостах, соответственно, 0,1 и 0,2 %.

Ответ: 920 кг *Cu* и 1 840 кг *Zn*.

Задача 1.147. Вычислить, сколько тонн свинцового концентрата в сутки выдаст обогатительная фабрика, если её суточная производительность по руде 5 000 т, содержание свинца в руде 1,8 %, а в концентрате 60 %. Извлечение свинца в концентрат 92 %.

Ответ: 138 т.

Задача 1.148. Сколько тонн меди в сутки теряется со свинцовым концентратом, если массовая доля меди в свинцовом концентрате 4 %, производительность фабрики 5 000 т/сутки, выход свинцового концентрата 10 %?

Ответ: 20 т.

Задача 1.149. Определить извлечение цинка в концентрат, если при суточной производительности фабрики 5 000 т получают 150 т концентрата. Содержание цинка в руде 2 %, а в концентрате 60 %.

Ответ: 90 %

Задача 1.150. Определить сколько тонн меди теряется с 1 000 000 т хвостов при переработке руды с массовой долей меди 1 %, если извлечение меди в концентрат 85,6 %, а выход концентрата 10 %.

Ответ: 1 600 т.

Задача 1.151. Рассчитать, сколько хвостов в сутки будет выбрасывать фабрика, если выход концентрата 5 %, а суточная производительность по руде 5 000 т.

Ответ: 4 750 т.

Задача 1.152. Определить извлечение свинца в свинцовый концентрат, если производительность фабрики 10 000 т/сутки, масса получаемого концентрата 150 т/сутки, массовая доля металла в руде 1 %, в концентрате 55 %.

Ответ: 82,5 %.

Задача 1.153. Определить потери меди и цинка в хвостах, если извлечение меди и цинка в медном концентрате соответственно 90 и 5 %, а в цинковом - 6 и 85 %.

Ответы: 4 и 10 %.

Задача 1.154. Сколько тонн руды необходимо будет переработать для получения 1 000 000 т концентрата, если выход концентрата 10 %?

Ответ: 10 000 000 т.

Задача 1.155. Найти выход медного концентрата и извлечение меди в хвосты, если содержание меди в руде 0,8 %, а в концентрате 20,5 %, извлечение меди в концентрат составляет 79 %.

Ответы: 7,5 и 86,2 %.

Задача 1.156. Вычислить с какой массовой долей ценного компонента фабрика вырабатывает концентрат, если извлечение в концентрат компонента 85,55 %, массовая доля его в руде 2,5 %, а выход концентрата 6 %.

Ответ: 35,65 %.

Задача 1.157. Рассчитать извлечение полезного компонента в концентрат, если фабрика перерабатывает руду с содержанием полезного компонента 20 %, а получает концентрат с содержанием его 50 % и хвосты с содержанием 2 %.

Ответ: 93,75 %.

Задача 1.158. Определить извлечение металла в концентрат и массовую долю металла в хвостах, если производительность фабрики 50 000 т/сутки, масса хвостов 48 500 т/сутки, массовая доля металла в руде 1,5 %, в концентрате 40 %.

Ответ: 80%; 0,31 %.

Задача 1.159. Рассчитать выход концентрата и извлечение в него полезного компонента, если из 1000 т руды с содержанием полезного компонента 0,8 % в процессе обогащения получено 13 т концентрата с содержанием полезного компонента 60 %.

Ответ: 1,3; 97,5 %.

Задача 1.160. Рассчитать, во сколько раз повысится содержание металла в концентрате, если при одном и том же выходе концентрата извлечение металла в концентрат повысилось в два раза.

Ответ: в два раза.

Задача 1.161. Установить, сколько тонн железного концентрата в сутки выдаст обогатительная фабрика, если её суточная производительность по руде 15 000 т, содержание железа в руде 28 %, в концентрате 63 %, Извлечение железа в концентрат 90 %.

Ответ: 6 000 т.

Задача 1.162. Сколько тонн металла можно дополнительно получить, если извлечение металла в концентрат увеличить с 90 до 95 % ? Производительность фабрики 10 000 т/сутки, массовая доля металла в руде 2 %.

Ответ: 10 т.

Задача 1.163. Определить извлечение цинка в концентрат, если содержание цинка в руде 2,5 %, в концентрате 55 %, в хвостах 0,51 %.

Ответ: 80,35 %.

Задача 1.164. Вычислить выход концентрата, если извлечение металла 98 %, массовая доля его в исходной руде 2 %, а в концентрате 49 %.

Ответ: 4 %.

Задача 1.165. Рассчитать, сколько руды нужно переработать для получения 500 т концентрата, если его выход составляет 5 %.

Ответ: 10 000 т.



Задача 1.166. Сколько тонн руды нужно переработать для получения 1 000 т концентрата, если выход хвостов составляет 90 %.

Ответ: 10 000 т.

Задача 1.167. Вычислить потери меди с цинковым концентратом, если выход цинкового концентрата 5 %, а содержание меди в нем 2 %. Содержание меди в исходной руде 1,2 %.

Ответ: 8,3 %.

Задача 1.168. Вычислить массу меди и её массовую долю в суммарном концентрате, если фабрика получает концентрат после обогащения песковой и шламовой фракций руды. При обогащении песковой фракции получают в сутки 7 т концентрата с массовой долей меди 20 %, а при обогащении шламовой фракции - 3 т концентрата с массовой долей 18 %.

Ответ: 1,94 т, 19,4%

Задача 1.169. Рассчитать, сколько нужно переработать руды с содержанием меди 1 % для получения 100 т концентрата, содержащего 20 % меди. Содержание меди в хвостах 0,1 %.

Ответ: 2212 т.

Задача 1.170. Определить массовую долю молибдена в руде, если извлечение молибдена в концентрат 95 %, выход концентрата 0,25 %, массовая доля металла в концентрате 48,5 %.

Ответ: 0,15 %.

Задача 1.171. Определить содержание компонентов в хвостах, если извлечение его в концентрат 90 %, выход хвостов 95 %, содержание в исходном 1 %.

Ответ: 0,105 %.

Задача 1.172. Найти содержание железа в концентрате, если при обогащении железной руды с содержанием железа 20 % выход концентрата 30 %, а извлечение 90 %.

Ответ: 60 %.

Задача 1.173. Производительность фабрики 10 000 т/сутки. Определить массовую долю металла в исходной руде, если фабрика отгружает концентрат с массовой долей металла в нем 20 % в количестве 100 т/сутки и получает хвосты с массовой долей 0,1.

Ответ: 0,299 %.

Задача 1.174. Определить извлечение и содержание золы в хвостах, если при обогащении извлечение золы в концентрат составляет 8 % при выходе их 68 %. Содержание золы в исходной руде 20 %.

Ответы: 92 и 57,5 %.

Задача 1.175. Сколько потребуется 60-тонных вагонов в сутки для отправки концентрата с обогатительной фабрики, если производительность фабрики 16 000 т/сутки. Массовая доля металла в исходной руде 3 %, в концентрате 20 %, а извлечение металла в хвосты 10%.

Ответ: 36 вагонов.

Задача 1.176. Вычислить выход и извлечение  $P_2O_5$  в концентрат, который получают при обогащении апатитовой руды, содержащей 20 %  $P_2O_5$ , если содержание  $P_2O_5$  в концентрате 34,5 % и в хвостах 1 %.

Ответы: 56,7 и 97,8 %.

Задача 1.177. Определить, сколько тонн металла в сутки теряет обогатительная фабрика с хвостами, если она перерабатывает 10 000 т/сутки с массовой долей металла в руде 2 %. Извлечение металла в концентрат составляет 90 %.

Ответ: 20 т.

Задача 1.178. Определить содержание молибдена в концентрате, если при обогащении руды с содержанием молибдена 0,1 % выход концентрата 0,15 % при извлечении в него молибдена 80 %.

Ответ: 53,3 %.

Задача 1.179. Вычислить, сколько тонн металла в сутки теряет обогатительная фабрика с хвостами, если она перерабатывает 14 000 т/сутки с массовой долей металла в руде 1,5 %. В результате обогащения получают концентрат с массовой долей металла в нем 18 %, выход концентрата 5 %.

Ответ: 84 т.

Задача 1.180. Рассчитать, во сколько раз увеличится содержание меди в хвостах, если при одном и том же выходе хвостов извлечение меди в концентрат понизится с 95 до 90 %.

Ответ: в 2 раза.

Задача 1.181. На фабрике, перерабатывающей 10 000 т/сутки, получают концентрат, промпродукт и хвосты. Выход концентрата и

хвостов 4% и 90 % соответственно. Определить, сколько тонн пром-продукта отгружает фабрика в сутки потребителю.

Ответ: 600 т.

Задача 1.182. Найти выход концентрата и потери полезного компонента в хвостах, если из 2000 т руды с содержанием полезного компонента 0,8 % в процессе обогащения получено 26 т концентрата с содержанием полезного компонента 48 %.

Ответы: 1,3 и 22 %.

Задача 1.183. Производительность фабрики по руде 10 000 т/сутки. Рассчитать, сколько тонн хвостов в сутки получает фабрика, если извлечение металла в концентрат 90 %, массовая доля металла в руде 3%, а в концентрате 20 %.

Ответ: 8 650 т.

Задача 1.184. Определить массовую долю металла в хвостах и руде, если на фабрике получают хвосты и концентрат. Выход хвостов 90%, извлечение в них металла 9 %, массовая доля металла в концентрате 20 %.

Ответ: 0,22 и 2,2 %.

Задача 1.185. Вычислить массу олова и его содержание в суммарном концентрате, если на фабрике получают оловянный концентрат после обогащения руды на отсадочных машинах и столах. С отсадочных машин получают в сутки 3 т концентрата с содержанием олова 20 %, а со столов - 2 т с содержанием олова 15 %.

Ответы: 0,9 т и 18 %.

Задача 1.186. Рассчитать выход концентрата и извлечение в него марганца, если фабрика обогащает марганцевую руду с содержанием марганца 18 %. Производительность фабрики по руде 300 т/ч; из этой руды получают 60 т/ч концентрата с содержанием марганца 45 %. Определить также эффективность обогащения. Полезный минерал содержит 60 % марганца.

Ответы: 20; 50 и 42,85 %

Задача 1.187. Определить массовую долю металла в концентрате, если выход этого продукта 10 %, массовая доля металла в исходной руде 3 %, а извлечение металла в хвосты 10 %.

Ответ: 21%.

Задача 1.188. Фабрика отгружает металлургическому заводу 200 т/сутки металла с концентратом. Производительность фабрики по исходной руде 20 000 т/сутки, в исходной руде массовая доля металла 1,5 %. Вычислить извлечение металла в концентрат.

Ответ: 66,6 %.

Задача 1.189. Найти выход концентрата, если на обогатительную фабрику поступает оловянная руда с двух рудников в равном количестве с содержанием олова соответственно 0,3 и 0,5 % и после обогащения этой смеси руды фабрика получает концентрат с содержанием олова 28 % и хвосты с содержанием олова 0,2%.

Ответ: 0,72 %.

Задача 1.190. Установить, сколько тонн свинцового концентрата отгружает обогатительная фабрика, если её суточная производительность по руде 5000 т; содержание свинца в исходной руде 2 %, в концентрате 60 %, а извлечение свинца в концентрат 90 %.

Ответ: 150 т.

Задача 1.191. Определить, сколько тонн в сутки отправляет фабрика хвостов на хвостохранилище, если производительность фабрики по исходной руде 10 000 т/сутки, извлечение металла в концентрат 90 %, массовая доля металла в руде 2 %, а в концентрате 20 %.

Ответ: 91 000 т.

Задача 1.192. Узнать, сколько нужно переработать руды для получения 1 т концентрата, если выход его составляет 4 %. Рассчитать выход хвостов.

Ответы: 25 т и 96 %.

Задача 1.193. Определить выход хвостов, если фабрика получает 100 т/сутки концентрата, а производительность фабрики 10 000 т/сутки.

Ответ: 99 %.

Задача 1.194. Вычислить извлечение металла в концентрат и эффективность обогащения, если фабрика после обогащения 1 000 т руды с содержанием металла 0,5 % получила 10 т концентрата с содержанием металла 45 %. Содержание металла в полезном минерале 86 %.

Ответы: 90 и 89,5 %.

Задача 1.195. Фабрика перерабатывает «объединенную» руду, поступающую с двух шахт: с первой в количестве 800 т/ч, со второй – 900 т/ч; содержание полезного компонента в «первой» руде составляет 35,5 %, во «второй» – 30 %; после переработки получается концентрат с содержанием полезного компонента 65,5 %, и хвосты с содержанием – 9,0 %. Определить извлечение полезного компонента в концентрат.

Ответ: 83,91 %.

Задача 1.196. Вычислить массовую долю металла в руде, если фабрика получает 200 т/сутки 20 %-го концентрата и 800 т хвостов с массовой долей металла в них 0,1 %.

Ответ: 4,08%.

Задача 1.197. Фабрика перерабатывает «объединенную» руду, поступающую с двух шахт: с первой в количестве 40 %, со второй – 60 %; содержание полезного компонента в «первой» руде составляет 35,5 %, во «второй» – 31,0 %; после переработки получается концентрат с содержанием полезного компонента 65,7 %, и хвосты с содержанием – 9,0 %. Определить извлечение полезного компонента в концентрат.

Ответ: 84,08 %.

Задача 1.198. Определить извлечение металла в промпродукт, если известно, что в результате обогащения получают три продукта: концентрат, хвосты и промпродукт. Выход концентрата 5 %, промпродукта 10 %. Массовая доля металла в продуктах: концентрате - 50 %, промпродукте 10%, хвостах - 0,1 %.

Ответ: 21,9 %.

Задача 1.199. В результате переработки чернового концентрата в количестве 1200 т/ч получается окончательный концентрат в количестве 810 т/ч и промпродукт. Рассчитать частный выход промпродукта.

Ответ: 32,5 %.

Задача 1.200. Найти содержание металла в хвостах при обогащении руды с содержанием металла 2 %, если извлечение его в концентрат 88 %, а выход концентрата 4 %.

Ответ: 0,25 %.

## 2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Основная задача подготовительных процессов раскрыть сростки минералов, т.к. в одном и том же куске добытой руды, как правило, содержится несколько минералов. И прежде чем такую руду обогащать (т.е. выделять полезные минералы) их (минералы) необходимо «разобщить» (раскрыть сростки). Это и есть задача подготовительных процессов (рудоподготовки).

К подготовительным относят процессы дробления, измельчения, грохочения и классификации.

Следует отметить, что процессы дробления и измельчения самые дорогие на обогатительной фабрике.

### 2.1. Определение гранулометрического состава минерального сырья

Важней характеристикой обогащаемого материала является его гранулометрический состав. *Гранулированный* состав материала характеризуется количественным распределением зёрен по крупности. За крупность зерна (его диаметр) условно принимается максимальный размер квадратного отверстия сетки, через которое зерно проваливается. Масса зерен характеризуется содержанием зерен крупнее или меньше размера отверстий сетки. Те зерна, которые проваливаются через сетку с размером отверстий  $d$  в миллиметрах, составляют нижний класс и обозначаются  $-d$ , а зерна, которые остаются на сетке, составляют верхний класс и обозначаются  $+d$ .

Один из самых распространённых способов определения гранулометрического состава материалов – ситовой анализ, т.е. рассев на ситах с последовательно уменьшающимися размерами отверстий. При этом на каждой сетке получают узкие классы крупности, характеризующиеся размером верхней сетки, через которую зерно прошло  $d_1$ , и размером данной сетки (сетке на которой лежит данный класс крупности), на которой зерна остались (не просеялись) –  $d_2$ . Крупность такого класса обозначается  $-d_1 + d_2$ .

Для обработки результатов ситового анализа заполняется таблица 2.1.

Таблица 2.1

## Результаты ситового анализа

Крупность класса, мм	Мас- са, г	Вы- ход, %	Суммарный выход по "+"		Суммарный выход по "-"	
			Крупность класса, мм	Выход, %	Крупность класса, мм	Выход, %
+1,2	0	0	1,2	0,0	1,2	100,0
-1,2+1	5,1	4,24	1,0	4,24	1,0	95,8
-1+0,8	17,2	14,30	0,8	18,54	0,8	81,5
-0,8+0,63	18,1	15,05	0,63	33,69	0,63	66,4
-0,63+0,4	14,8	12,30	0,4	45,89	0,4	54,1
-0,4+0,2	16,0	13,30	0,2	59,19	0,2	40,8
-0,2+0,1	13,3	11,06	0,1	70,25	0,1	29,8
-0,1+0,071	14,1	11,72	0,071	81,97	0,071	18,04
-0,071+0,0	21,7	18,04	0,000	100,00	0,000	0,0
	120,3	100,00				

Исходный материал  $Q_{исх} = \sum Q_i$ .

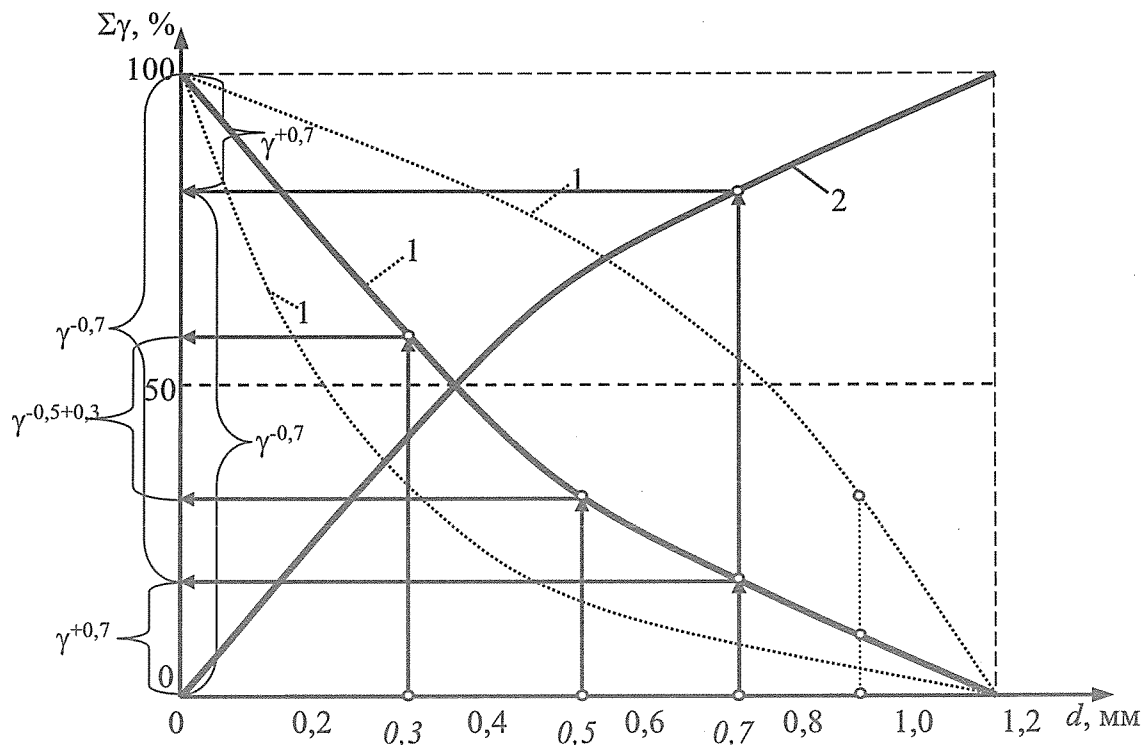


Рис. 2.1 Суммарные характеристики крупности.

1 — по «+», 2 — по «-»

Полученные результаты обычно интерпретируются графически. Можно построить гистограмму, показывающую зависимость выхода определенного класса крупности от крупности этого класса.

Наиболее часто строятся так называемые суммарные (кумулятивные) характеристики крупности, соответственно «по +» и по «-» (рис. 2.1).

По суммарным характеристикам крупности можно определить выход любого класса крупности (см. рис. 2.1).

### 2.1.1 Задачи на построение характеристик крупности минерального сырья

В задачах 2.1 – 2.14 (табл. 2.2) необходимо построить суммарные характеристики крупности по «+» и по «-».

Таблица 2.2

Условия задач 2.1 – 2.14

Крупность класса, мм	Вар. 2.1	Вар. 2.2	Вар. 2.3	Вар. 2.4	Вар. 2.5	Вар. 2.6	Вар. 2.7
	Мас- са, г	Мас- са, г	Мас- са, г	Мас- са, г	Мас- са, г	Мас- са, г	Мас- са, г
Крупность класса, мм	Вар. 2.8	Вар. 2.9	Вар. 2.10	Вар. 2.11	Вар. 2.12	Вар. 2.13	Вар. 2.14
-1,2+1,0	4,5	3,7	6,5	9,4	4,5	1,5	6,8
-1,0+0,8	17,4	19,2	9,3	25,2	22,2	12,7	19,2
-0,8+0,63	28,8	23,9	13,9	29,7	28,4	18,4	32,7
-0,63+0,4	34,6	28,7	38,7	26,3	28,3	19,3	28,3
-0,4+0,2	34,7	39,6	39,1	35,3	34,9	25,5	26,6
-0,2+0,1	33,3	39,7	29,7	34,8	34,7	39,6	10,5
-0,1+0,071	14,2	29,3	28,3	24,6	24,2	24,2	10,7
-0,071+0	13,7	31,2	12,4	11,2	31,2	21,3	6,5
Крупность класса, мм	Вар. 2.8	Вар. 2.9	Вар. 2.10	Вар. 2.11	Вар. 2.12	Вар. 2.13	Вар. 2.14
-2,2+2	9,2	4,5	1,5	7,8	3,7	6,5	10,1
-2+1	25,2	22,2	12,7	18,9	19,2	9,3	25,2
-1+0,5	29,7	28,4	18,4	22,6	23,9	13,9	28,1
-0,5+0,25	26,3	28,3	19,3	29,3	28,7	38,7	24,8
-0,25+0,125	35,3	34,9	25,5	36,6	39,6	39,1	36,0
-0,125+0,0	23,8	24,6	26,6	30,1	28,2	21,3	25,7



## 2.2. Процесс грохочения

*Грохочение* – процесс разделения зернистых материалов по крупности на просеивающих поверхностях с калиброванными отверстиями.

Зерна (куски) материала, размер которых больше размера отверстий сита, остаются при просеивании на сите, а зерна меньших размеров проваливаются через отверстия.

Материал, поступающий на грохочение, называется *исходным*, остающийся на сите – *надрешетным* (верхним) продуктом, проваливающийся через отверстия сита – *подрешетным* (нижним) продуктом.

Качество проведенной операции грохочения определяется эффективностью грохочения, выражаемой в долях единицы или процентах. Эффективность грохочения называют отношением массы подрешетного продукта к массе класса в исходном материале. Эффективность грохочения подсчитывается по всему нижнему классу, т.е. классу меньше размера отверстий сетки, и по узким классам крупности, составляющим нижний продукт. Эффективность грохочения может быть определена по любой из следующих формул:

$$E = \frac{Q_n \beta}{Q_{исх} \alpha} \cdot 100\%$$

$$E = \frac{\gamma_n \beta}{\alpha}$$

$$E = \frac{\beta}{\alpha} \frac{\alpha - \vartheta}{\beta - \vartheta} \cdot 100\%$$

где  $Q_n$  и  $Q_{исх}$  – масса соответственно нижнего и исходного продукта, т/ч и т/сутки;  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\nu$  – содержание расчетного класса соответственно в исходном, нижнем и верхнем продукте, %;  $\gamma_n$  – выход нижнего продукта, %. Расчетный класс в грохочении – это класс меньше размера ячейки сита грохота, т.е. тонкий класс, нижний продукт - подрешетный материал.

При расчете величины  $E$  по всему нижнему классу в формулах (2.1)-(2.3) принимать  $\beta = 100\%$ .

## 2.2.1 Задачи на расчёт показателей грохочения

Задача 2.15. Определить выход нижнего продукта, если содержание верхнего класса в исходном материале 70 %, а эффективность грохочения 80 %.

Ответ: 24 %.

Задача 2.66. Рассчитать выход нижнего продукта, если содержание нижнего класса в исходном материале 50 %, а в верхнем продукте 10 %.

Ответ: 44,5 %.

Задача 2.17. Найти эффективность грохочения, если содержание нижнего класса в исходном материале 40 %, а в верхнем продукте 10 %.

Ответ: 83,5 %.

Задача 2.18. Вычислить, сколько получится нижнего продукта из 500 т материала, если содержание нижнего класса в нём 20 %, а эффективность грохочения 90 %.

Ответ: 90 т.

Задача 2.19. Определить содержание нижнего класса в верхнем продукте грохочения, если содержание его в исходном материале 40 % и эффективность грохочения 80 %.

Ответ: 11,75 %.

Задача 2.20. Найти выход надрешётного продукта, если содержание нижнего класса в исходном материале 25 % и эффективность грохочения 70 %.

Ответ: 82,5 %.

Задача 2.21. Установить содержание нижнего класса в исходном материале, если выход надрешётного продукта 40 % и содержание в нём нижнего класса 6 %.

Ответ: 62,4 %.

Задача 2.22. Вычислить эффективность грохочения, если выход надрешётного продукта 60 % и содержание в нём нижнего класса 10 %.

Ответ: 87 %.

Задача 2.23. Определить эффективность грохочения по всему нижнему классу, если выход верхнего продукта 40 % и содержание

зёрен крупнее размера отверстий сетки в исходном материале 35 %.

Ответ: 92,3 %.

Задача 2.24. Определить количество подрешётного материала, если содержание класса крупнее размера отверстий сетки составляет 70 %, эффективность грохочения 90 %, и производительность грохота по исходному материалу 1 000 т/ч.

Ответ: 270 т/ч.

Задача 2.25. Найти производительность грохота по исходному продукту, если содержание нижнего класса в исходном материале 30 %, а в верхнем продукте 10 %. Производительность по верхнему продукту 773 т/ч.

Ответ: 1 000 т/ч.

Задача 2.26. Рассчитать содержание нижнего класса в исходном материале, если выход нижнего продукта 40 %, а эффективность грохочения 80 %.

Ответ: 50%.

Задача 2.27. Определить эффективность грохочения материала 500-0 мм с прямолинейной характеристикой крупности на грохоте с размером отверстий 250 мм, если содержание нижнего класса в верхнем продукте грохочения 15 %.

Ответ: 82,3 %.

Задача 2.28. Определить выход верхнего продукта грохочения на сетке с размером отверстий 25 мм, если эффективность грохочения 85 %, а содержание класса +25 мм в исходном материале 60 %.

Ответ: 66 %.

Задача 2.29. Определить содержание класса +50 мм в исходном для грохочения продукте при эффективности грохочения 80 % на сите 50 мм составляет 70 %.

Ответ: 12,5 %.

Задача 2.30. На грохот с размером отверстия сетки 15 мм поступает 800 т/ч исходной руды. Определить эффективность грохочения и количество полученного нижнего продукта, если содержание нижнего класса в исходной руде 25 %, а в верхнем продукте 5 %.

Ответы: 84,2 % и 162,4 т/ч.

## 3 ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ КОНЦЕНТРАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

### 3.1 Физические процессы концентрации минерального сырья

#### 3.1.1 Гравитационная концентрация

*Гравитационным обогащением (гравитационной концентрацией)* называют такой метод, в котором разделение минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером и формой, обусловлено различием в характере и скорости их движения в текучих средах под действием силы тяжести и сил сопротивления.

Гравитационное обогащение занимают ведущее место (наряду с флотационными и магнитными) среди других методов обогащения.

Гравитационное обогащение представлено рядом процессов, которые можно классифицировать следующим образом: процессы, в которых сила тяжести является преобладающей, называются собственно гравитационными (используются для разделения сравнительно крупных частиц); если разделение частиц производится под действием центробежной силы, то процессы называются центробежными (применяются преимущественно для мелких частиц).

Движение частиц может происходить в воде, воздухе, тяжелой суспензии (и редко в тяжелой жидкости). Если разделение происходит в воздушной среде, то процессы называются пневматическими. В остальных случаях – гидравлическими.

И, наконец, по типу используемых аппаратов гравитационные процессы можно разделить на отсадку, обогащение в тяжелых средах, концентрацию на столах, обогащение на шлюзах, в желобах, винтовых сепараторах, центробежную концентрацию, противоточную водную сепарацию. К гравитационным процессам также обычно относят промывку.

*Задачи на расчет параметров частиц и сред при гравитационном обогащении.*

В задачах 3.1–3.10 требуется рассчитать плотность сростков, состоящих из двух минералов (удельно-тяжелого и удельно-

легкого), зная плотности этих минералов и массовую (или объемную) их долю в сростке. Дополнительно, если задана массовая доля какого-то минерала в сростке, необходимо рассчитать ее объемную долю и наоборот. Исходные данные задач приведены в табл.3.1.

Таблица 3.1

Условия задач 3.1-3.10

Номер задачи	Плотность минералов кг/м <sup>3</sup>		Состав сростка				Что требуется определить, кроме $\rho_c$	Ответы	
	$\rho_T$	$\rho_L$	Массовая доля %		Объемная доля, доли единицы			$\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ или $\beta$
			$\beta_T$	$\beta_L$	$\lambda_T$	$\lambda_L$			
3.1	7000	2650		20			$\lambda_T$	5270	0,60
3.2	7000	2650				0,64	$\beta_T$	4230	60
3.3	7000	2650				0,89	$\beta_T$	3140	25
3.4	7000	2650	40				$\lambda_L$	3530	0,8
3.5	2650	1150	10				$\lambda_L$	1220	0,95
3.6	2650	1150	25				$\lambda_T$	1340	0,13
3.7	2650	1150			0,45		$\beta_T$	1820	65
3.8	2650	1150				0,74	$\beta_T$	1540	45
3.9	2650	1150	35				$\lambda_L$	1430	0,81
3.10	2650	1150		50			$\lambda_T$	1600	0,3

В задачах 3.11–3.20 требуется рассчитать плотность сростков, состоящих из трех минералов различной плотности, зная плотности этих минералов и массовую их долю в сростке. Исходные данные задач приведены в табл.3.2.

Таблица 3.2

№ задачи	Показатель	Минерал 1	Минерал 2	Минерал 3
3.11	Доля минерала	25	40	35
	Плотность минералов, кг/м <sup>3</sup>	7500	4500	2900
3.12	Доля минерала	25	40	35
	Плотность минералов, кг/м <sup>3</sup>	7200	4300	2800
3.13	Доля минерала	30	40	30
	Плотность минералов, кг/м <sup>3</sup>	7500	4500	2900
3.14	Доля минерала	25	45	30
	Плотность минералов, кг/м <sup>3</sup>	7500	4500	2650

Окончание табл. 3.2

№ задачи	Показатель	Минерал 1	Минерал 2	Минерал 3
3.15	Доля минерала	37	41	22
	Плотность минералов, кг/м <sup>3</sup>	3270	2650	2850
3.16	Доля минерала	15	40	45
	Плотность минералов, кг/м <sup>3</sup>	7000	4500	2650
3.17	Доля минерала	12	35	53
	Плотность минералов, кг/м <sup>3</sup>	7500	4500	2900
3.18	Доля минерала	10	30	60
	Плотность минералов, кг/м <sup>3</sup>	7200	4300	2800
3.19	Доля минерала	16	30	54
	Плотность минералов, кг/м <sup>3</sup>	5000	4500	2900
3.20	Доля минерала	12	43	45
	Плотность минералов, кг/м <sup>3</sup>	4800	4500	2650

Процесс обогащения в тяжелых средах – это процесс разделения минеральных частиц в тяжелой суспензии, имеющей плотность промежуточную между плотностями разделяемых частиц. Тяжелая суспензия – это взвесь мелких удельно-тяжелых частиц (утяжелителя) в среде, которой обычно является вода.

В задачах 3.21 – 3.90 (табл. 3.3) вычислить объёмную концентрацию твёрдого во взвеси. Задана масса зерен, плотность зерен, общий объем взвеси.

Таблица 3.3

Условия задач 3.21-3.30

Вар. №	Масса зерен, г	Плотность зерна, кг/м <sup>3</sup>	Общий объем взвеси, мл	Вар. №	Масса зерен, г	Плотность зерна, кг/м <sup>3</sup>	Общий объем взвеси, мл
3.21	500	2650	1200	3.78	700	3500	1060
3.22	400	3500	1300	3.79	400	2650	1080
3.23	700	2650	1500	3.80	1100	2650	1050
3.24	400	2650	1000	3.81	1200	5000	1020
3.25	200	5000	1200	3.82	750	6500	990
3.26	700	6500	800	3.83	1200	7500	960
3.27	800	7500	2000	3.84	1050	3200	930
3.28	800	7500	1500	3.85	900	3100	900
3.29	900	2650	2000	3.86	750	4800	850
3.30	1000	2650	2500	3.87	600	5000	1000

В задачах 3.31 – 3.40 (табл. 3.4) рассчитать плотность водной минеральной суспензии, если известна плотность утяжелителя и его объемная концентрация.

Таблица 3.4

Условия задач 3.31-3.40

Номер задачи	Плотность утяжелителя $\rho$ кг/м <sup>3</sup>	Объемная концентрация утяжелителя $\lambda$ , доли единицы	Номер задачи	Плотность утяжелителя $\rho$ кг/м <sup>3</sup>	Объемная концентрация утяжелителя $\lambda$ , доли единицы
3.31	4650	0,025	3.108	2650	0,154
3.32	2650	0,155	3.109	4650	0,151
3.33	4650	0,035	3.110	6500	0,217
3.34	6500	0,575	3.111	2650	0,05
3.35	4650	0,055	3.112	4650	0,178
3.36	6500	0,465	3.113	6500	0,158
3.37	4650	0,065	3.114	4650	0,21
3.38	6500	0,385	3.115	2650	0,252
3.39	4650	0,085	3.116	4650	0,248
3.40	6500	0,318	3.117	6500	0,135

*Отсадка* – процесс разделения материала преимущественно по плотности в вертикальных потоках воды (реже воздуха) пульсирующих в вертикальном направлении.

Отсадка – самый распространенный процесс гравитационного обогащения. Отсадкой можно обогащать материалы крупностью от 0,5 (0,1) до 400 мм. Отсадка применяется при обогащении углей, сланцев, окисленных железных, марганцевых, хромитовых, касситеритовых, вольфрамитовых, а также золотосодержащих руд.

Преимущества отсадки следующие: универсальность, простота технологической схемы (по сравнению с тяжелосредной сепарацией), высокая производительность, экономичность. Но эффективность процесса ниже, чем при тяжелосредной сепарации.

Содержание расчетного компонента в продуктах разделения обычно определяется химическим анализом.

*Задачи на определение показателей отсадки.* В задачах 3.41 – 3.50, табл.3.5 необходимо рассчитать технологические показатели материала отсадкой, т.е. определить выходы и извлечения всех про-

дуктов, содержание расчетного компонента в исходном питании. Разделение исходного материала происходит на три продукта: концентрат, промпродукт и хвосты.

Таблица 3.5

Исходные данные

№ вар.	Наименование продукта	Производительность, Q, т/ч	Содержание β, %	№ вар.	Производительность, Q, т/ч	Содержание β, %
3.41	Концентрат	435	86,70	3.46	435	89,23
	Промпродукт	246	38,96		246	37,34
	Хвосты	754	10,78		758	11,08
3.142	Концентрат	475	89,30	3.47	464	88,30
	Промпродукт	226	34,75		238	33,75
	Хвосты	747	9,23		739	10,78
3.43	Концентрат	438	85,70	3.48	4531	85,70
	Промпродукт	259	44,64		252	43,12
	Хвосты	757	11,49		771	11,49
3.44	Концентрат	452	87,14	3.49	470	86,80
	Промпродукт	273	37,21		243	42,34
	Хвосты	729	10,12		791	11,23
3.45	Концентрат	422	86,25	3.50	487	88,85
	Промпродукт	267	46,67		225	40,32
	Хвосты	769	11,11		778	10,05

*Концентрация (обогащение) на столах* – это процесс разделения по плотности в тонком слое воды, текущей по слабо-наклонной плоскости (деке), совершающей асимметричные возвратно-поступательные движения в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению движения воды. Концентрацию на столе применяют при обогащении мелких классов – 3+0,01 мм для руд и –6(12)+0,5 мм для углей. Данный процесс используется при обогащении руд олова, вольфрама, редких, благородных и черных металлов и др.; для обогащения мелких классов углей, в основном для их обессеривания.

Преимущества концентрационных столов в высокой эффективности разделения, основной недостаток в низкой удельной производительности.



*Задачи на определение показателей концентрации на столах.* В задачах 3.51–3.180 (табл.3.6 необходимо рассчитать технологические показатели концентрации на столах (разделение происходит на три продукта: концентрат, промпродукт и хвосты).

Таблица 3.6

Условия задач

№ вар.	Наименование продукта	Выход пр-та, %	Содержание, %	№ вар.	Выход пр-та, %	Содержание, %
3.51	Концентрат	0,71	58,23	3.56	1,04	72,37
	Промпродукт	4,25	0,59			1,29
	Хвосты		0,07		93,96	0,19
3.52	Концентрат	0,69	68,14	3.57		70,41
	Промпродукт	3,91	0,78		4,52	1,08
	Хвосты		0,09		95,64	0,13
3.53	Концентрат	0,69	66,25	3.58	0,84	69,54
	Промпродукт		0,86		3,24	1,08
	Хвосты	95,40	0,08			0,08
3.54	Концентрат	0,76	65,28	3.59	1,04	67,83
	Промпродукт	3,81	0,77		3,42	1,25
	Хвосты		0,09			0,09
3.55	Концентрат	0,60	68,86	3.60	0,79	68,14
	Промпродукт	2,99	0,79		2,61	0,79
	Хвосты		0,09			0,08

### 3.1.2 Магнитная сепарация

Магнитное обогащение основано на различии в магнитных свойствах подлежащих разделению минералов.

Магнитные свойства минералов определяются магнитной восприимчивостью – величиной, которая характеризует изменение магнитного момента частицы при внесении ее в магнитное поле. Различают объемную магнитную восприимчивость вещества и тела и удельную магнитную восприимчивость вещества и тела. Все эти четыре величины связаны друг с другом следующим образом:

$$\chi_0 = \frac{\chi}{1 + N\chi};$$

$$\chi_0 = \frac{\chi_0}{\rho};$$

$$\chi = \frac{\chi}{\rho};$$

$$\chi_0 = \frac{\chi}{1 + N\chi\rho}.$$

где  $\chi$  и  $\chi_0$  - объемная магнитная восприимчивость вещества и тела;  $\chi$  и  $\chi_0$  - удельная магнитная восприимчивость вещества и тела, м<sup>3</sup>/кг;  $\rho$  - плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;  $N$  - коэффициент размагничивания, для тел сферической формы и дробленой руды  $N$  соответственно равно 0,32 и 0, 16.

Для слабомагнитных и немагнитных минералов ( $\chi < 600 \cdot 10^{-6}$  см<sup>3</sup>/Г или  $7,5 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/кг)  $\chi_0 \cong \chi$  и  $\chi_0 \cong \chi$ .

Величиной, характеризующей магнитное поле, является сила магнитного поля, т.е. произведение его напряженности на градиент напряженности:  $HgradH$ .

Удельная магнитная сила притяжения (сила, действующая на единицу массы зерна)

$$F_{y\partial} = k\mu_0\chi_0 HgradH,$$

где  $\mu_0$  - магнитная постоянная,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;  $\chi_0$  - удельная магнитная восприимчивость тела, м<sup>3</sup>/кг;  $H$  - напряженность поля, А/м;  $gradH$  - градиент напряженности, А/м<sup>2</sup>;  $F_{y\partial}$  - удельная магнитная сила притяжения, Н/кг;  $k$  - поправочный коэффициент, учитывающий непостоянство  $HgradH$  в объеме зерна (зависит от крупности обогащаемой руды):  $k=1,0$  при обогащении тонкой руды ( $d < 1$  мм),  $k=1,1$  - при обогащении мелкой руды (-5 мм),  $k$  - при обогащении руды в пределах крупности 5-0 до 25-0 мм,  $k=2,2$  - при обогащении крупной руды (+25 мм).

В задачах 3.61 – 3.70 рассчитать объемную и удельную магнитные восприимчивости тела для минеральных зерен разной плотности и форм. Условия задач приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

## Условия задач

№ вар.	Объемная магнитная восприимчивость вещества $\chi$	Коэффициент размагничивания $N$	Плотность зерна $\rho$ , $\text{кг}/\text{м}^3$
3.61	$12,6 \cdot 10^{-5}$	0,16	4800
3.62	11,34	0,32	6800
3.63	13,86	0,16	4300
3.64	$6,3 \cdot 10^{-2}$	0,32	4500
3.65	$4,5 \cdot 10^{-4}$	0,12	3000
3.66	$10^{-3}$	0,16	2900
3.67	$12,6 \cdot 10^{-6}$	0,32	2500
3.68	$12,6 \cdot 10^{-4}$	0,32	4500
3.69	15,1	0,32	5000
3.70	$10^{-4}$	0,32	4000

В задачах 3.71 – 3.80 рассчитать напряженность поля  $H$  и силу магнитного поля  $H_{\text{grad}}H$  двух открытых многополюсных магнитных систем с концами полюсов, расположенных на цилиндрической поверхности (при различном шаге полюсов) на разном расстоянии  $u$  от концов полюсов.

Таблица 3.8

## Условия задач

№ вар.	Напряженность на уровне полюсов $H_0$ , $\text{кА}/\text{м}$	Радиус цилиндрической поверхности $R$ , см	Шаг полюсов $S$ , см
3.71	80	25	21;10,5
3.72	100	40	28;14
3.73	120	45	30;15
3.74	104	30	27;13,5
3.75	64	40	26;13
3.76	112	35	12;6
3.77	116	40	13;6,5
3.78	128	32	15;7,5
3.79	124	75	16;8
3.80	136	60	17;8,5

## 4. РАСЧЕТ СХЕМ КОНЦЕНТРАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

### 4.4.1. Основные понятия

Совокупность последовательных технологических операций обработки, которым подвергают полезные ископаемые на обогатительных фабриках, называется схемой обогащения. В зависимости от характера сведений, которые содержатся в схеме обогащения, ее называют технологической, качественной, количественной, качественно-количественной, водно-шламовой и схемой цепи аппаратов.

*Расчет качественно-количественной схемы.* Рассчитать качественно-количественную схему – это значит по имеющимся (заданным) технологическим показателям рассчитать недостающие показатели для каждого из продуктов. Для расчета качественно-количественной схемы используют ранее приведенные формулы (1.1 – 1.7). Операции схемы нумеруются сверху вниз римскими цифрами, продукты – арабскими.

*Пример расчета фрагмента качественной схемы при получении двух продуктов (рис. 4.1).* Задано  $\beta_5, \beta_6, \beta_7$  в процентах;  $\gamma_5$  рассчитан ранее. Следует отметить, что выход продукта 6  $\gamma_6$  не равен 100 %, т.к. это не исходный продукт ( $\gamma_{исх} = 100$  %).

Рассчитываем выход продукта 6:

$$\gamma_6 = \frac{\beta_5 - \beta_7}{\beta_6 - \beta_7} \gamma_5,$$

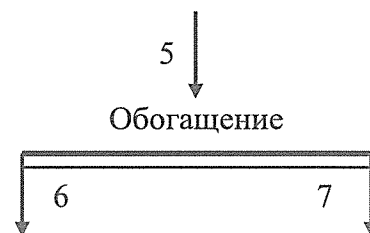


Рис.4.1

Выход продукта 7 можно рассчитать по разности  $\gamma_7 = \gamma_5 - \gamma_6$ .  
Производительность  $Q_6$  рассчитывается по формуле:

$$Q_6 = \gamma_2 \cdot Q_{исх},$$

где  $Q_{исх}$  – заданная исходная производительность.

Извлечение расчетного компонента в продукты 6 и 7 рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_6 = \frac{\gamma_6 \beta_6}{\beta_{исх}},$$

Очевидно, что  $\varepsilon_5 = \varepsilon_6 + \varepsilon_7$ .

Если задано  $\beta_5, \beta_6, \gamma_6$  в процентах,  $\gamma_5$  рассчитан ранее. Необходимо найти  $\beta_7$ . Воспользуемся уравнением баланса для этого фрагмента схемы:

$$\gamma_5 \beta_5 = \gamma_6 \beta_6 + \gamma_7 \beta_7$$

Тогда

$$\beta_7 = \frac{\gamma_5 \beta_5 - \gamma_6 \beta_6}{\gamma_7}$$

Пример расчёта фрагмента качественной схемы при получении трёх продуктов (рис.4.2). Задано:  $\beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8$  в процентах и  $\gamma'_7$  – частный выход, т.е. выход от операции продукта 7;  $\gamma_5$  рассчитан ранее.

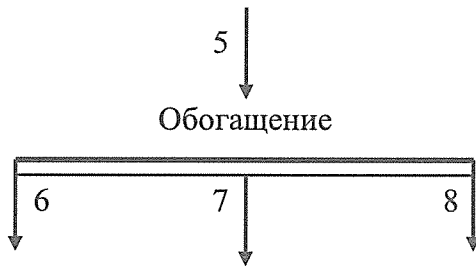


Рис.4.2

Рассчитывают абсолютный выход продукта 7:

$$\gamma_7 = \gamma_5 \gamma'_7,$$

где  $\gamma'_7$  – в долях единицы.

Составляют два уравнения баланса

$$\gamma_5 = \gamma_6 + \gamma_7 + \gamma_8;$$

$$\gamma_5 \beta_5 = \gamma_6 \beta_6 + \gamma_7 \beta_7 + \gamma_8 \beta_8.$$

Решая эту систему уравнений с двумя неизвестными, находят формулы для расчёта выходов продуктов 6 и 8:

$$\gamma_6 = \frac{\gamma_5(\beta_5 - \beta_8) - \gamma_7(\beta_7 - \beta_8)}{\beta_6 - \beta_8},$$

$$\gamma_8 = \frac{\gamma_5(\beta_5 - \beta_6) - \gamma_7(\beta_7 - \beta_6)}{\beta_8 - \beta_6}.$$

Проверка решения:  $\gamma_6 + \gamma_7 + \gamma_8$  должно равняться  $\gamma_5$ . Извлечение расчётного компонента в продукты 6, 7, 8 рассчитывается по таким же формулам, что и в предыдущем примере.

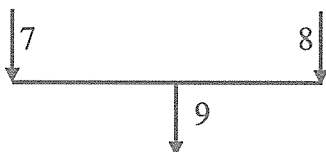


Рис. 4.3

Пример расчёта фрагмента качественной схемы при объединении двух продуктов (рис. 4.3). Ранее рассчитаны  $\beta_7, \beta_8$ , и  $\gamma_7, \gamma_8$ ,

необходимо найти  $\gamma_9$ ,  $\beta_9$ . Рассчитываем  $\gamma_9$ :

$$\gamma_9 = \gamma_7 + \gamma_8$$

Здесь также можно составить уравнение баланса, как и в примере по рис. 1, тогда

$$\gamma_9 \beta_9 = \gamma_8 \beta_8 + \gamma_7 \beta_7, \text{ а } \beta_9 = \frac{\gamma_8 \beta_8 + \gamma_7 \beta_7}{\gamma_9}.$$

**Расчет водно-шламовой схемы.** Рассчитать водно-шламовую схему это значит определить количество воды в каждой операции и продукте; необходимое количество воды, добавляемое в конкретную операцию. Разжижения, влажности или содержания твердого в отдельных операциях и продуктах выбираются по литературным источникам, либо задаются по данным практики.

**Расчётные формулы:**  $R_i = W_i:Q_i$  – разжижение по массе (отношение массы воды к массе твёрдого в продукте);

$M_i = W_i/(W_i+Q_i)$  – влажность (по массе), т.е. отношение массы воды в продукте к массам воды и твёрдого в продукте, %;

$S_i = Q_i/(W_i+Q_i)$  – содержание твёрдого в продукте (отношение массы твёрдого к массе твёрдого и жидкого в продукте);

где  $Q_i$  – производительности по продуктам, т/ч;  $W_i$  – количество воды в  $i$ -ом продукте  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

**Примечание:** очевидно, что если известен один из трёх этих параметров (разжижение, влажность или содержание твёрдого), то два других можно рассчитать (не нужно задавать).

$L_i$  – количество свежей воды, добавляемой в операцию,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Производительности по продуктам известны после расчёта качественно-количественной схемы. Тогда количество воды в кубических метрах в час в любом продукте можно рассчитать по формуле:

$$W_i = Q_i M_i / (100 - M_i).$$

Либо зная содержание твёрдого, также можно рассчитать количество воды:

$$W_i = Q_i (100 - S_i) / S_i.$$

**Пример расчёта узла** (рис 4.4).  
Задаются содержанием твердого (или

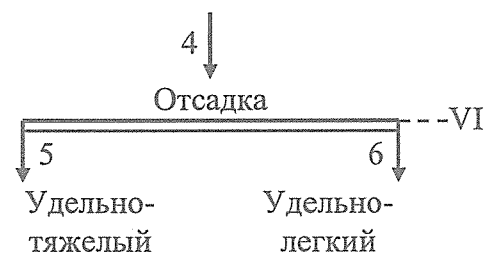


Рис.4.4

разжижением) в операции разделения и в одном из продуктов разделения. В данном примере  $S_{VI}$ ,  $S_5$ . (Обратите внимание, что арабскими числами обозначаются продукта, римскими – операции).

Рассчитывают потребное количество воды для операции:

$$W_{IV} = Q_4 (100 - S_{IV})/S_{IV} \text{ или}$$

$$W_{IV} = Q_4 R_{IV}.$$

Зная количество воды, поступающей в операцию с исходным материалом, рассчитывают количество свежей воды, которое необходимо добавить в операцию для обеспечения требуемого разжижения:

$$L_{IV} = W_{IV} - W_4.$$

Рассчитывается количество воды, уходящее с продуктом 5:

$$W_5 = Q_5 (100 - S_5)/S_5 .$$

Затем по разности рассчитывается количество воды в другом продукте разделения:

$$W_6 = W_4 - W_5.$$

В операциях классификации (в спиральных классификаторах и гидроциклонах) задается содержание твёрдого или разжижение в сливе и песках, рассчитывается количество воды в этих продуктах, а количество воды в операции рассчитывается как сумма воды в сливе и песках.

При расчете водной схемы необходимо учитывать, что при отсадке, концентрации на столах, обогащении на шлюзах, винтовых, струйных и конусных концентраторах задаваться следует содержанием твёрдого (разжижением) в удельно-тяжёлых продуктах (а не в удельно-легких).

Кроме того, необходимо помнить, что для крупных материалов содержание твёрдого в продуктах выше, чем для мелких.

При мокром грохочении, обесшламливании на грохотах, при промывке руд для расчёта водно-шламовой схемы задаются содержанием твёрдого в надрешётных и мытых продуктах.

#### 4.4.2. Задачи на расчет качественно-количественных схем концентрации минерального сырья

В задачах 4.1 – 4.11 рассчитать схему гравитационной концентрации минерального сырья, т.е. рассчитать «недостающие» технологические показатели обогащения по всем продуктам (производительность, выход, содержание, извлечение).

Схема приведена на рис. 4.5, исходные данные для расчета в таблице 4.1.

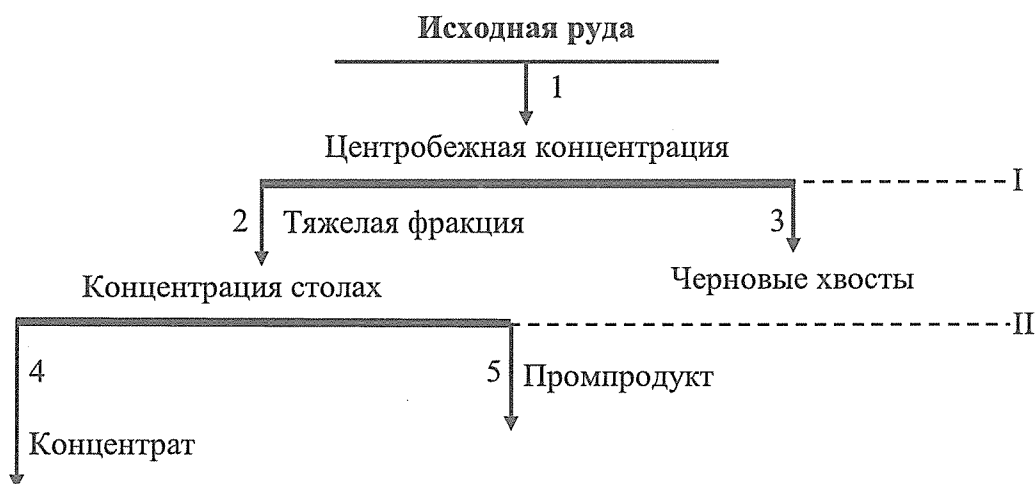


Рис. 4.5 Технологическая схема

Таблица 4.1

#### Исходные данные

№ вар.	Показатель	Номер продукта			№ вар.	Номер продукта		
		1	2	4		1	2	4
4.1	Содержание, %	20,65	30,29	60,34	4.6	20,68	31,31	60,34
	Извлечение, %		87,68	73,01			87,68	73,01
	Производительность, т/ч	1900					1950	
4.2	Содержание, %	20,64	32,45	60,22	4.7	20,67	32,45	60,22
	Извлечение, %		87,73	72,11			87,73	72,11
	Производительность, т/ч	2200					2000	
4.3	Содержание, %	20,63	33,03	60,05	4.8	20,66	33,12	60,15
	Извлечение, %		86,45	72,78			86,65	72,84
	Производительность, т/ч	1800					1930	
4.4	Содержание, %	20,47	30,34	61,01	4.9	21,14	30,74	61,65
	Извлечение, %		86,78	0,00			86,78	71,11
	Производительность, т/ч	1550					1550	
4.5	Содержание, %	20,65	30,38	60,34	4.10	21,64	31,28	61,46
	Извлечение, %		87,68	72,45			87,89	72,87
	Производительность, т/ч	1900					1980	



В задачах 4.11 – 4.20 рассчитать технологические показатели гравитационной схемы концентрации минерального сырья приведенной на рис. 4.6 по всем продуктам (производительность, выход, содержание, извлечение).

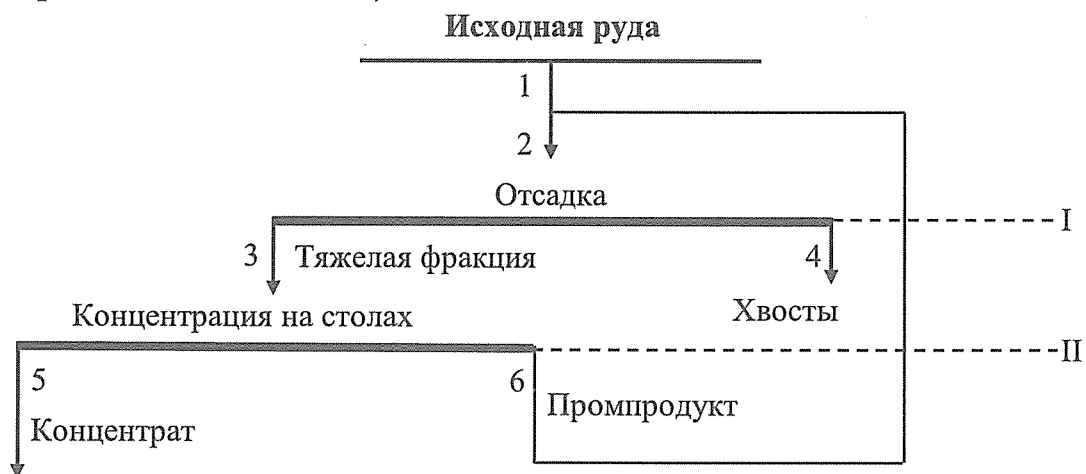


Рис. 4.6 Технологическая схема

Таблица 4.2

Исходные данные

№ вар.	Показатель	Номер продукта				
		1	3	4	5	6
4.11	Содержание, %	18,14	33,37	6,67	60,86	14,37
	Производительность, т/ч	1650				
4.12	Содержание, %	18,13	33,40	60,14	60,88	14,25
	Производительность, т/ч	1680				
4.13	Содержание, %	18,12	33,33	60,01	60,89	14,13
	Производительность, т/ч	1679				
4.14	Содержание, %	18,11	33,36	59,88	60,90	14,85
	Производительность, т/ч	1750				
4.15	Содержание, %	18,09	33,38	59,75	60,91	14,73
	Производительность, т/ч	1780				
4.16	Содержание, %	18,08	33,32	59,62	60,93	14,61
	Производительность, т/ч	1850				
4.17	Содержание, %	19,57	33,34	59,49	60,91	14,49
	Производительность, т/ч	1950				
4.18	Содержание, %	19,55	33,36	59,36	60,89	14,37
	Производительность, т/ч	2000				
4.19	Содержание, %	19,54	33,30	59,23	60,87	14,25
	Производительность, т/ч	1999				
4.20	Содержание, %	19,23	33,45	59,10	60,85	14,97
	Производительность, т/ч	2000				

В задачах 4.21 – 3.30 рассчитать технологические показатели схемы гравитационной концентрации минерального сырья, приведенной на рис. 4.7 по всем продуктам (производительность, выход, содержание, извлечение).



Рис. 4.7 Технологическая схема

Таблица 4.3

Исходные данные

Вар.	Содержание в продукте №...						Производительность по исходному, т/ч
	1	2	3	4	5	6	
4.21	32,83	52,33	9,87	70,31	31,38	10,21	2000
4.22	32,81	52,37	9,89	70,19	31,39	10,09	1900
4.23	32,80	52,41	9,91	70,07	31,40	9,97	1850
4.24	32,79	52,22	9,94	69,95	31,41	9,85	1650
4.25	32,78	52,26	9,96	69,83	31,43	9,73	1780
4.26	32,77	52,30	9,98	69,71	31,44	9,61	1800
4.27	32,75	52,34	9,92	69,59	31,45	9,49	1550
4.28	32,74	52,38	9,94	69,47	31,46	9,37	1650
4.29	32,73	52,19	9,97	60,14	11,23	9,25	1680
4.30	32,72	52,37	9,90	60,01	11,27	9,13	1680

В задачах 4.31 – 4.40 – рассчитать технологические показатели схемы гравитационной концентрации минерального сырья, приведенной на рис. 4.8 по всем продуктам (производительность, выход, содержание, извлечение).

Таблица 4.4

## Исходные данные

Вар.	Исходные технологические показатели						Производительность по исходному, т/ч
	$\beta_1$	$\gamma_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\varepsilon_5$	
4.31	22,5	45,5	23,7	58,5	6,7	-	1950
4.32	22,0	45,0	23,5	58,0	6,6	-	2000
4.33	22,1	45,1	23,6	58,1	6,6	-	1800
4.34	22,3	45,3	23,7	58,3	6,7	-	1600
4.35	22,4	45,4	23,7	58,4	6,7	-	1700
4.36	22,5	45,5	23,7	58,5	-	46,5	1850
4.37	22,2	45,4	23,5	58,4	-	46,4	1900
4.38	23,0	46,0	23,9	59,0	-	47,8	1950
4.39	23,2	46,1	24,0	59,1	-	47,9	1750
4.40	23,5	46,4	24,2	59,2	-	50,0	1650

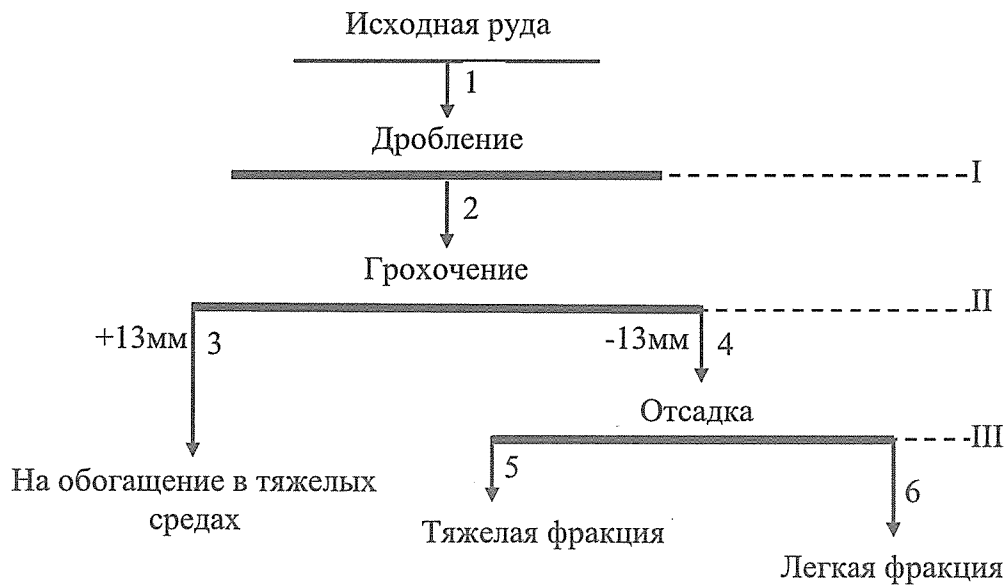


Рис. 4.8 Технологическая схема

В задачах 4.41 – 4.50 – рассчитать технологические показатели схемы гравитационной концентрации минерального сырья, приведенной на рис. 4.9 по всем продуктам (производительность, выход, содержание, извлечение).

Таблица 4.4

## Исходные данные

№ вар.	Пок-ль	Номер продукта				Пр-ть по исх, т/ч
		1 (Исх. руда)	6	7	9	
4.41	Сод-е, %	20,65	20,57	33,08	60,34	1900
	Извл-е, %			87,68	71,65	
4.42	Сод-е, %	20,65	20,52	32,65	60,34	1910
	Извл-е, %			87,73	72,15	
4.43	Сод-е, %	20,75	20,47	32,68	63,45	1920
	Извл-е, %			87,75	72,23	
4.44	Сод-е, %	20,65	20,74	32,72	60,34	1920
	Извл-е, %			87,68	73,01	
4.45	Сод-е, %	20,64	20,69	32,45	60,22	1930
	Извл-е, %			87,73	72,11	
4.46	Сод-е, %	20,63	20,64	33,03	60,05	1940
	Извл-е, %			88,01	72,33	
4.44	Сод-е, %	20,47	20,59	30,34	61,01	1940
	Извл-е, %			86,78	73,21	
4.48	Сод-е, %	20,65	20,54	30,38	60,34	1950
	Извл-е, %			87,68	72,45	
4.49	Сод-е, %	20,64	20,81	32,45	60,22	1960
	Извл-е, %			87,73	72,11	
4.50	Сод-е, %	20,62	20,76	33,03	60,05	1960
	Извл-е, %			86,45	72,73	
	Извл-е, %			87,73	72,15	

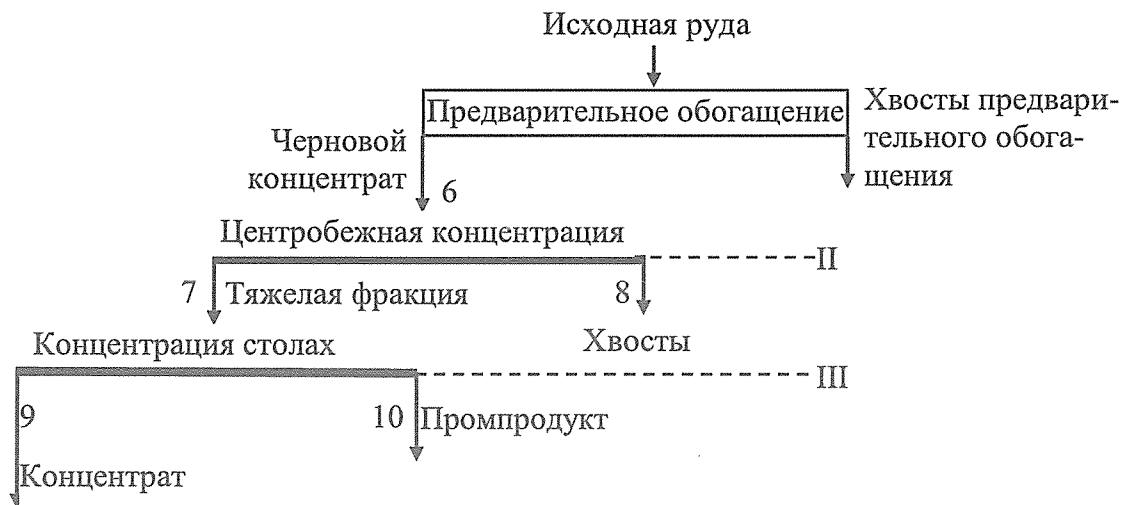


Рис. 4.9 Технологическая схема

В задачах 4.51 – 4.60 – рассчитать технологические показатели схемы магнитного обогащения железной руды, приведенной на рис.

4.10 по всем продуктам (производительность, выход, содержание, извлечение).

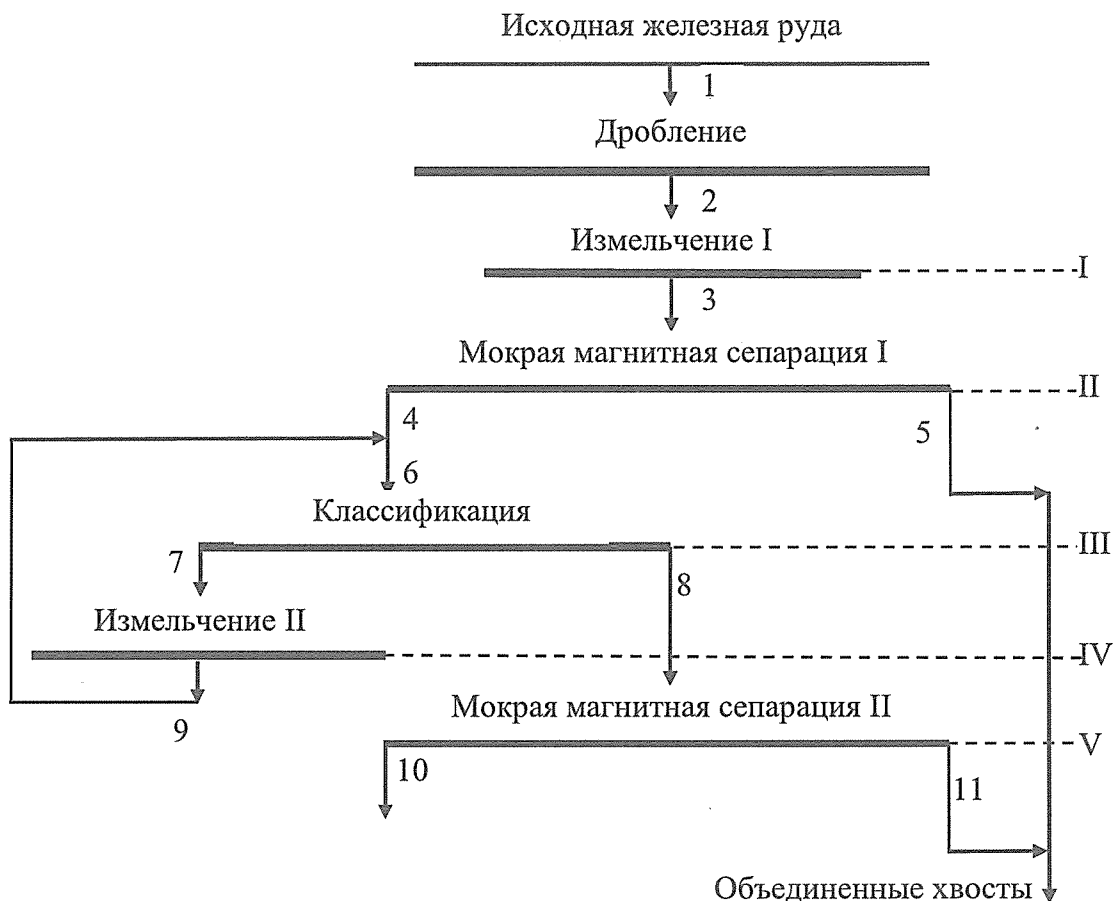


Рис. 4.10 Технологическая схема

Таблица 4.5

Исходные данные

Показатель	Номер варианта									
	4.51	4.52	4.53	4.54	4.55	4.56	4.57	4.58	4.59	4.60
$\beta_1$	31,0	30,5	31,0	32,0	31,0	30,0	32,0	32,2	30,0	32,0
$\beta_4$	54,0	53,5	54,0	55,0	54,0	54,0	54,0	55,5	53,0	53,0
$\beta_5$	10,0	10,0	10,0	11,0	10,0	10,0	10,0	11,0	10,5	10,0
$\gamma_9'$	300,0	250,0	300,0	250,0	250,0	300,0	300,0	250,0	260	240
$\beta_{10}$	60,0	60,0	61,0	61,0	61,0	60,0	62,0	61,5	60,0	61,5
$\beta_{11}$	11,0	11,0	11,5	12,0	11,5	11,0	11,5	12,0	11,5	11,5
$Q_1$	2000	1900	2100	2200	2300	2400	2500	3000	2450	2500

### 4.4.3. Задачи на расчет водно-шламовых схем

В задачах 4.61 – 4.70 рассчитать водно-шламовую схему (сх. рис. 4.11) измельчения. Составить баланс воды.  $M$  – влажность продукта,  $S$  – содержание твердого (римскими цифрами в операции, арабскими – в продукте). Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.6.

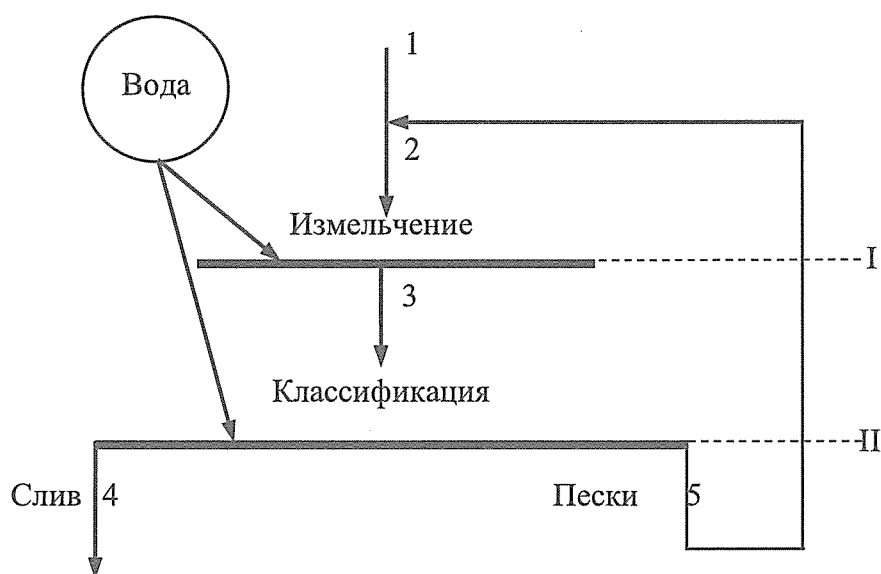


Рис. 4.11 Схема измельчения

В задачах 4.71 – 4.80 рассчитать водно-шламовую схему (сх. рис. 4.8) гравитационного обогащения. Составить баланс воды.  $M$  – влажность продукта,  $S$  – содержание твердого (римскими цифрами в операции, арабскими – в продукте). Исходные данные приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.6

## Исходные данные

Вар.	№ пр-та или операции	Пр-ть $Q$ , т/ч	Разжижение $R$ в пр-те или операции	Вар.	Пр-ть $Q$ , т/ч	Разжижение $R$ в пр-те или операции
4.61	1	2000	0,02	4.66	2150	0,021
	$I$		0,3			0,33
	4		2,0			2,22
	5	3000	0,25		3250	0,24
4.62	1	2100	0,025	4.67	2000	0,015
	$I$		0,35			0,33
	4		2,1			2,2
	5	3100	0,25		3500	0,26
4.63	1	2200	0,019	4.68	2050	0,019
	$I$		0,32			0,3
	4		2,2			1,95
	5	3200	0,24		3100	0,25
4.64	1	1900	0,015	4.69	2250	0,025
	$I$		0,33			0,35
	4		2,2			2,2
	5	2900	0,26		3500	0,26
4.65	1	1800	0,018	4.70	2180	0,022
	$I$		0,29			0,32
	4		1,95			2,2
	5	2600	0,24		3600	0,021

Таблица 4.7

## Исходные данные

Вар.	Влажность или содержание твердого, %				Производительность по исходному, т/ч
	$M_1$ , %	$M_3$ , %	$S_{III}$	$S_5$	
4.71	4,0	3,5	45,0	80,0	1850
4.72	4,1	3,5	45,1	81,0	2000
4.73	4,2	3,6	45,2	81,2	1800
4.74	4,3	3,6	45,5	81,5	1700
4.75	4,4	3,7	45,6	81,5	1750
4.76	4,2	3,6	45,0	81,0	1850
4.77	4,4	3,7	45,2	80,5	1900
4.78	4,3	3,6	45,3	81,1	1950
4.79	4,1	3,5	45,1	80,7	1750
4.80	4,0	3,3	44,8		1700

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Авдохин В.М.* Основы обогащения полезных ископаемых. Том 1. Обогащительные процессы: Учебник. – 4-е изд. – 2016, 417 стр.
2. *Авдохин В.М.* Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Т.2. Технология обогащения: Учебник. – 4-е изд. – 2017, 312 стр.
3. *Авдохин В.М.* Основы обогащения полезных ископаемых. Том 1. Обогащительные процессы: Учебник. – 3-е изд. – 2014.
4. *Авдохин В.М.* Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Т.2. Технология переработки и обогащения полезных ископаемых: Учебник. – 3-е изд. – 2014.
5. Обогащение полезных ископаемых. Учебник / Т.Н. Александрова, В.Б. Кусков, В.В. Львов, Н.В. Николаева. РИЦ Национального минерально-сырьевого университета «Горный», Заказ 503. С 144 (ISBN 978-5-94211-731-3), 2015, 530 с. [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<.>)
6. Обогащение полезных ископаемых: учеб. пособие / К.И. Лукина, В. П. Якушкин, А. Н. Муклакова. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 224 с. — (Высшее образование: Специалитет). <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=561064>
7. Кармазин В.И. Расчеты технологических показателей обогащения полезных ископаемых. Автор: В.И. Кармазин, И. К. Младецкий, П. И. Пилов – 2009. 221 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ.....	3
1.1. Определения и формулы для расчёта.....	3
1.2. Задачи на определение технологических показателей концентрации минерального сырья.....	5
2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ.....	22
2.1. Определение гранулометрического состава минерального сырья.....	22
2.1.1 Задачи на построение характеристик крупности минерального сырья.....	24
2.2. Процесс грохочения .....	25
2.2.1 Задачи на расчёт показателей грохочения.....	26
3 ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ КОНЦЕНТРАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ.....	28
3.1 Физические процессы концентрации минерального сырья.....	28
3.1.1 Гравитационная концентрация .....	28
3.1.2 Магнитная сепарация.....	33
4. РАСЧЕТ СХЕМ КОНЦЕНТРАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ.....	36
4.4.1. Основные понятия.....	36
4.4.2. Задачи на расчет качественно-количественных схем концентрации минерального сырья.....	40
4.4.3. Задачи на расчет водно-шламовых схем.....	46
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	48