

СӘТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТИ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Гравитационные методы обогащения

Лекция 2 Свойства минералов и сред используемых при
гравитационном обогащении

Преподаватель: Мотовилов Игорь Юрьевич
доктор PhD. Кафедры «Металлургия и обогащение
полезных ископаемых»

motovilov88@inbox.ru

Содержание

- 1. Свойства минералов**
- 2. Реологические свойства сред гравитационного обогащения**
- 3. Методы определения реологических свойств**
- 4. Фракционный анализ**
- 5. Оценка обогатимости исходного материала**

Свойства минералов

Горные породы вмещают около **3000** минералов, каждый из которых характеризуется более **80** свойствами. В процессах гравитационного обогащения участвуют около **250** минералов. Для их гравитационного разделения используют преимущественно различия в плотности, крупности и форме частиц.

Плотность ρ минерала – отношение массы частицы m к ее объему V :

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3$$

Крупность частицы принято обозначить одним линейным размером – диаметром.

Для определения размера d частицы неправильной формы предложен ряд формул:

$$d = \sqrt[3]{abc}, \quad d = \frac{3abc}{ab + ac + bc} \text{ и др.}$$
$$V = \frac{\pi d^3}{6}; \quad d_{\text{э}} = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi\rho}} = 1,24 \sqrt[3]{\frac{m}{\rho}}.$$

Форма зерен характеризуется коэффициентом формы, представляющим собой отношение поверхности равновеликого шара (эквивалентного диаметра зерна) к поверхности зерна неправильной формы (размеру зерна неправильной формы):

$$\varphi = \frac{S_{\text{ш}}}{S} = 4,87 \frac{V^{\frac{2}{3}}}{S}$$

Свойства минералов

Таблица характеристика основных минералов по плотности

Минерал	Формула	Плотность, кг/м ³	Ценный компонент	Содержание ценного компонента в минерале, %
Золото, самородное	Au	до 19 300	золото	до 100
Галенит	PbS	7400—7600	свинец	86,6
Молибденит	MoS ₂	4300—5000	молибден	59,94
Пирит	FeS ₂	4900—5200	железо	46,55
Сфалерит	ZnS	3900—4100	цинк	67,10
Халькопирит	CuFeS ₂	4100—4300	медь	34,36
Касситерит	SnO ₂	6100—7300	олово	78,8
Кварц	SiO ₂	2650	кремний	46,7
Ильменит	FeTiO ₃	4400—5000	титан	31,6
Магнетит	Fe ₃ O ₄	4500—5300	железо	72,4
Кальцит	CaCO ₃	2700—2730	окись	56,0
Магнезит	MgCO ₃	3000	окись	47,6
Барит	BaSO ₄	4300—4500	окись бария	65,7
Гематит	Fe ₂ O ₃	5000—5200	железо	70,0
Пиролюзит	MnO ₂	4820	марганец	63,2
Уголь	C	1300—1400	углерод	—

Реологические свойства сред гравитационного обогащения

В качестве сред гравитационного обогащения полезных ископаемых используют воду, воздух, тяжелые жидкости, суспензии.

Среды характеризуются следующими реологическими параметрами: плотностью, вязкостью, предельным сопротивлением сдвигу, устойчивостью.

Плотность среды – отношение массы среды m к занимаемому ею объему V :

$$\Delta = \frac{m}{V}$$

Плотность воды при атмосферном давлении $1,01 \cdot 10^5$ Па и температуре 20°C равна $\Delta = 1000 \text{ кг/м}^3$, а плотность воздуха $\Delta = 1,23 \text{ кг/м}^3$.

Жидкость	Химическая формула	Плотность, кг/м ³	Растворимость
Четыреххлористый углерод	CCl_4	1604	В ацетоне, бензине, бензоле
Бромформ	CHBr_3	2889	В ацетоне, бензине, бензоле, четыреххлористом углероде
Тетрабромэтан	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$	2960	В бензине, бензоле, толуоле
Йодистый метилен	CH_2I_2	3352	В бензине, ксилоле
Хлористый цинк	ZnCl_2	2500	В воде
Хлористый кальций	CaCl_2	2500	
Жидкость Туле	$\text{HgI}_2 + \text{KI}$	3170	
Жидкость Сушина-Рорбаха	$\text{BaI}_2 + \text{HgI}_2$	3500	В воде, хорошо растворима в эфире
Жидкость Клеричи	$\text{CH}_2(\text{COOTL})_2$	4250	В воде

Реологические свойства сред гравитационного обогащения

Плотность суспензий зависит от плотности утяжелителя и объемного содержания его в суспензии. Взаимосвязь отмеченных параметров легко установить, исходя из следующих рассуждений. Обозначим:

V_c – объем суспензии, $V_c = 1 \text{ м}^3$;

Δ – плотность суспензии, кг/м^3 ,

V_m – содержание утяжелителя в суспензии по объему, доли ед.;

$\tilde{\rho}$ – плотность утяжелителя, кг/м^3 ,

$V_c - V_m$ – содержание воды в суспензии по объему, доли ед.;

$\Delta_e = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды.

Балансовое уравнение может быть представлено в следующем виде:

$$V_c \Delta = V_m \tilde{\rho} + (V_c - V_m) \Delta_e \quad \text{откуда} \quad \Delta = V_m \tilde{\rho} + (1 - V_m) 1000 \quad \text{откуда}$$

$$V_m = (\Delta - 1000) / (\tilde{\rho} - 1000)$$

Количество утяжелителя в единице объема суспензии составит:

$$C = V_m \tilde{\rho} = (\Delta - 1000) / (\tilde{\rho} - 1000) \cdot \tilde{\rho}$$

Массовая концентрация утяжелителя q в суспензии выражается формулой

$$q = V_m \tilde{\rho} / \Delta = (\Delta - 1000) / (\tilde{\rho} - 1000) \cdot \tilde{\rho} / \Delta$$

Количество утяжелителя для приготовления суспензии заданного объема может быть представлено в следующем виде:

$$Q = V_c V_m \tilde{\rho} = V_c (\Delta - 1000) / (\tilde{\rho} - 1000) \cdot \tilde{\rho}$$

Реологические свойства сред гравитационного обогащения

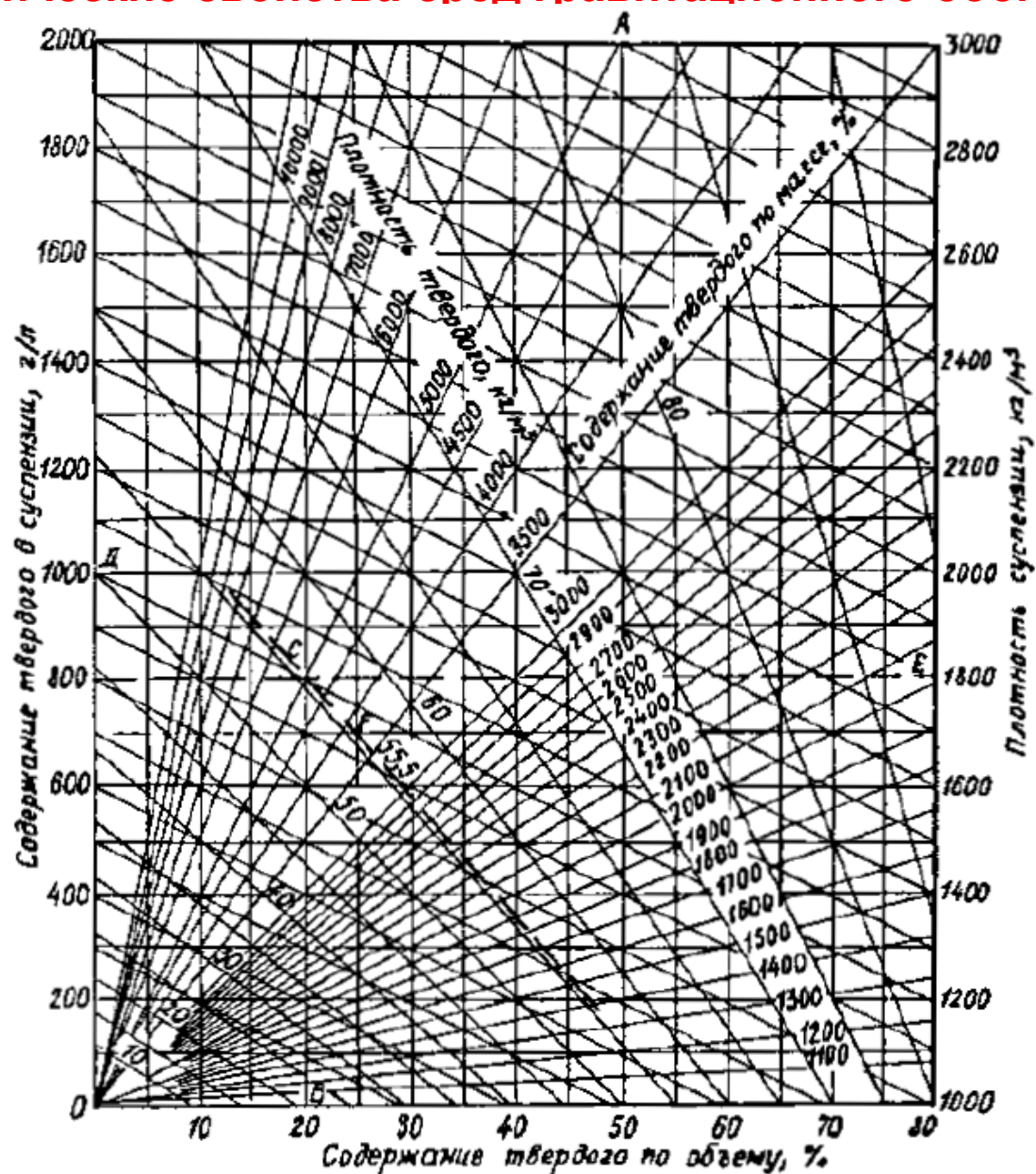


Диаграмма для определения параметров суспензии

Реологические свойства сред гравитационного обогащения

Вязкость – свойство сред оказывать сопротивление относительно движению его элементарных слоев. Силы, возникающие при скольжении слоев, называются силами внутреннего трения, а среды, характеризующиеся наличием внутреннего трения, называются вязкими. В результате внутреннего трения в вязких средах возникают касательные напряжения, которые определяются путем деления силы внутреннего трения на площадь соприкасающихся слоев:

$$\tau = T/S = \mu \, du / dh,$$

где: T – сила внутреннего трения;

S – площадь соприкасающихся слоев;

μ – коэффициент вязкости (коэффициент внутреннего трения или абсолютной вязкости);

du / dh – градиент скорости;

du – разность скоростей движения соседних элементарных соприкасающихся слоев;

dh – расстояние между осями соседних элементарных слоев.

Понятие «вязкость» характерно только для динамически подвижных сред, поэтому часто коэффициент вязкости называют **динамическим коэффициентом вязкости**.

В природе наряду со средами, подчиняющимися закону Ньютона, существуют среды, особенно двухфазные системы (суспензии), коллоидные растворы, эмульсии, которые сохраняют сцепление и при отсутствии разности скоростей. Такие среды в отличие от бесструктурных ньютоновских получили название **структурированных**. В этих средах касательное напряжение выражается более сложной формулой, предложенной Шведовым-Бингамом:

$$\tau = \eta \, du / dh + \tau_0$$

где: τ_0 – предельное напряжение сдвига, т. е. сила, которую необходимо приложить к системе, чтобы началось ее течение (начало текучести среды);

η -коэффициент структурной вязкости, П.

Реологические свойства сред гравитационного обогащения

Опытными данными установлено, что предельное напряжение сдвига τ_0 и коэффициент структурной вязкости η для структурированных суспензий зависят от:

удельной поверхности и объемной концентрации утяжелителя (с их увеличением τ_0 и η увеличиваются);

химической природы утяжелителя и формы частиц;

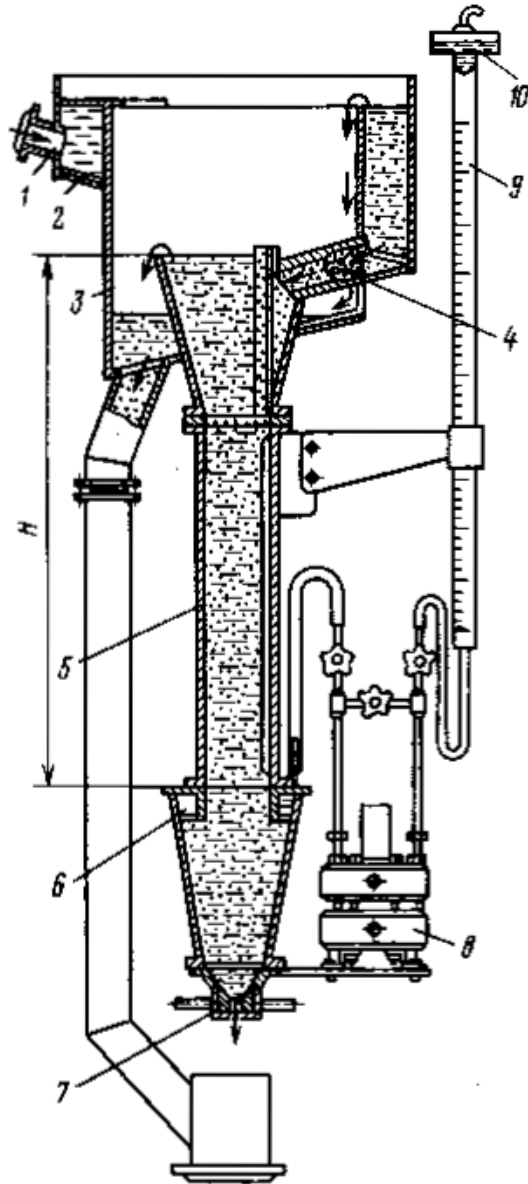
наличия в пульпе поверхностно-активных веществ (в присутствии их существенно повышается τ_0 и незначительно η);

наличия в пульпе реагентов-пептизаторов (в присутствии их снижается τ_0 незначительно снижается η).

В практике обогащения структурированные суспензии разделяют на два типа: слабоструктурные при $\tau_0 < 30 \text{ Н/м}^2$ и структурные при $\tau_0 > 30 \text{ Н/м}^2$.

Устойчивость – способность суспензии сохранять заданную плотность по высоте слоя. Бесструктурные суспензии относятся к числу неустойчивых. Структурообразование способствует увеличению устойчивости суспензий. Повышение устойчивости суспензий достигается добавлением глины, тонкозернистых утяжелителей или накоплением в магистрали рудных шламов. Поскольку добавки приводят к интенсивному структурообразованию используют реагенты-пептизаторы.

Методы определения реологических свойств



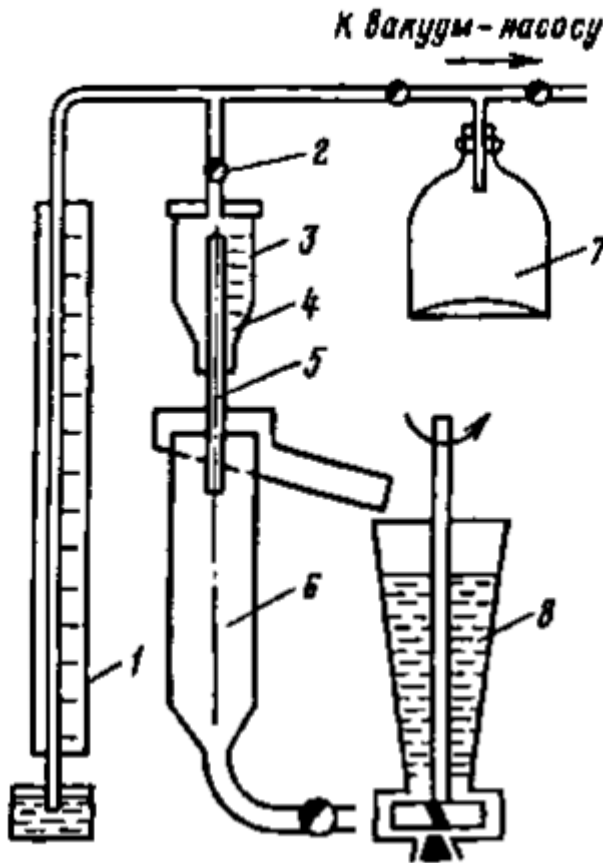
Определение плотности суспензии

Устройства датчика плотномера РПСМ

1,4 – патрубок; 2 – воздухоотделитель; 3 – сборник; 5 – измерительная труба; 6 – кольцевая камера отбора давления; 7 – сливная насадка; 8 – дифманометр ДМ-6; 9 – труба компенсатора; 10 – гидравлический компенсатор

Методы определения реологических свойств

Определение вязкости



вязкость $\mu_{\text{отн}} = \frac{t_c}{t_b} \cdot \frac{\mu_b \Delta}{\Delta_b}$

коэффициент структурной вязкости $\eta = k \frac{(p-p_c)}{Q}$ где $k = 3r/(8L)$

предельное напряжение сдвига $\tau_0 = 3rp_c/(8L)$

коэффициент структурной вязкости для бесструктурной суспензии $\eta = 3rp/(8LQ)$

Вакуумный капиллярный вискозиметр

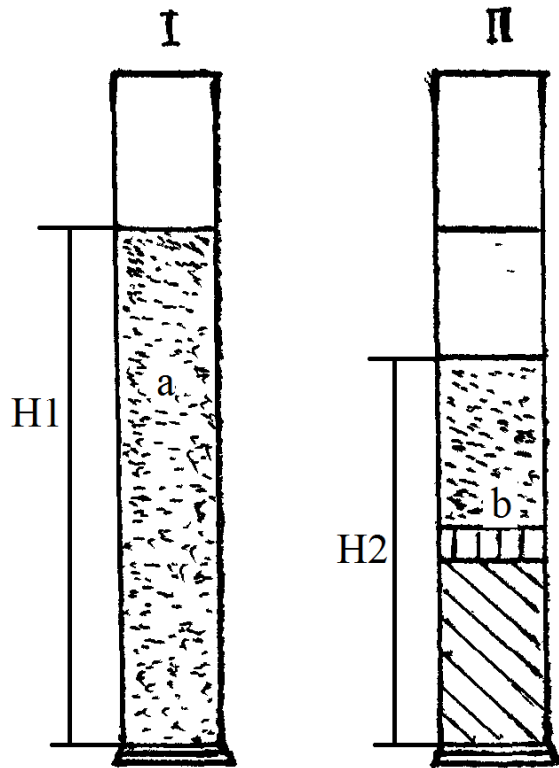
Механобра:

- 1 – манометр; 2 – трехходовой кран; 3 – резервуар вискозиметра; 4 – шкала отсчета уровня суспензии; 5 – капилляр; 6 – емкость циркулирующей суспензии; 7 – буферная емкость; 8 – зумпф насоса

Методы определения реологических свойств

Определение устойчивости

Устойчивость суспензий определяется измерением средней скорости ее осветления в цилиндре.



При определении устойчивости вначале фиксируют высоту $H1$, а затем по формуле рассчитывают $H2$:

$$H2 = \frac{b}{a} H1$$

Далее следят за осветлением и измеряют время t в момент, когда граница зоны осветления достигнет высоты $H2$.

Средняя скорость осветления определяется по формуле

$$V_{cp} = (H1 - H2)/t$$

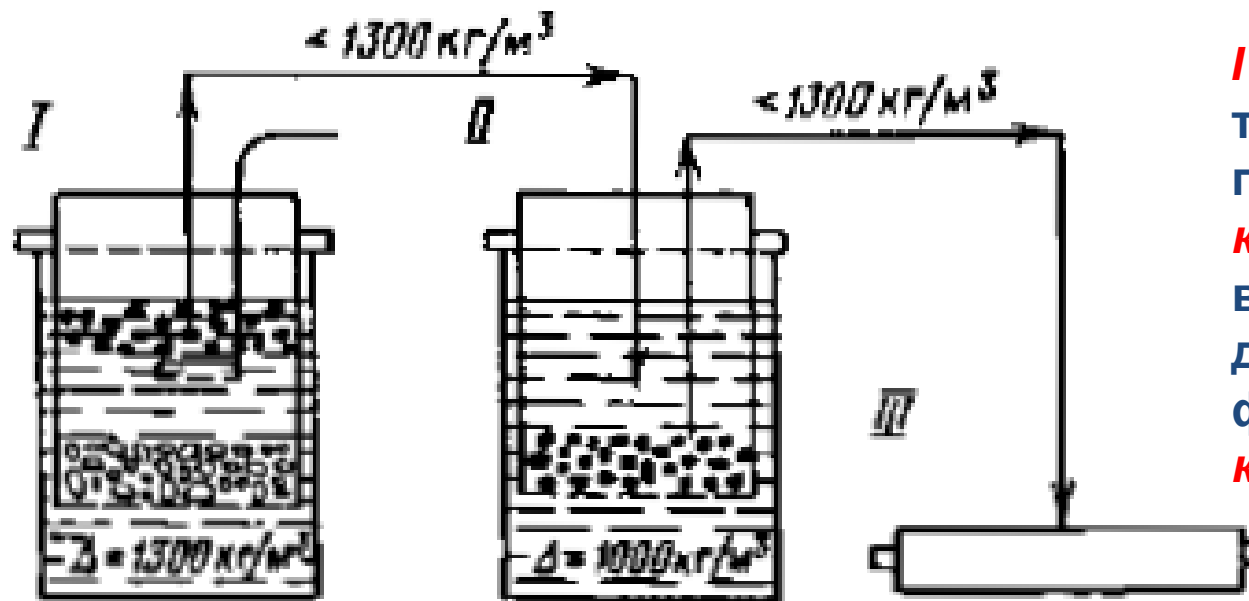
Осветление суспензии в цилиндре

Фракционный анализ

Фракционным анализом называют разделение полезного ископаемого на фракции различной плотности с целью определения характеристики его обогатимости.

Для расслоения проб угля используют тяжелые жидкости, плотность которых более 1000 кг/м^3 , а именно $1300, 1400, 1500, 1600, 1800 \text{ кг/м}^3$ и реже $2000, 2200 \text{ кг/м}^3$.

Для расслоения руд пользуются тяжелыми жидкостями и суспензиями плотностью $2400, 2700, 300, 3500, 3700, 4000, 4200 \text{ кг/м}^3$.



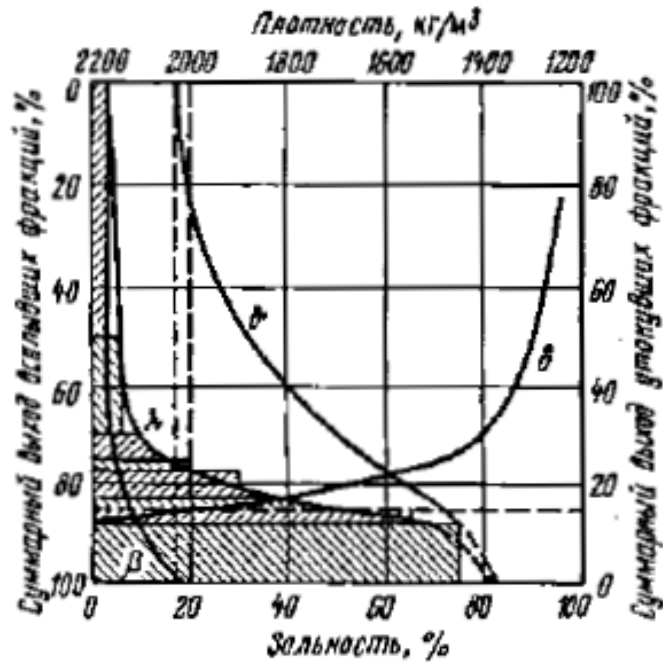
I – емкость с тяжелой жидкостью плотностью **1300 кг/м^3** ; **II** – емкость с водой; **III** – приемник для всплывшей фракции плотностью **кг/м^3** .

Схема производства фракционного анализа

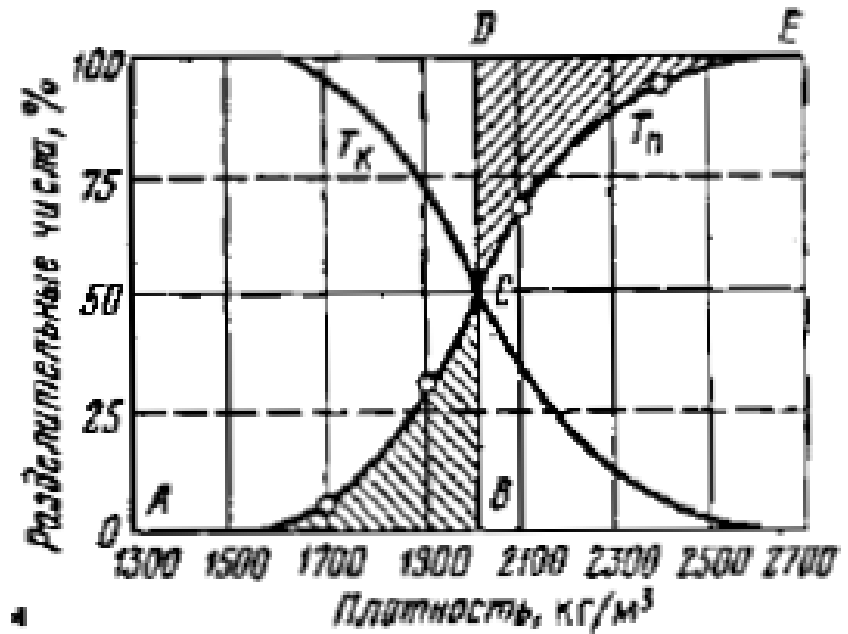
Фракционный анализ

Плотность кг/м³		Выход			Зольность, %	Произведе ние цифр граф 4 и 6	Суммарные произведения			
фракций	средняя	от класса		от исходной пробы, %			сверху вниз по графе 7	снизу вверх о графе 7		
		кг	%							
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
<1300	1270	12,60	50,09	6,30	5,0	250,45	250,45	1832,35		
1300-1400	1350	5,20	20,83	2,60	7,0	145,90	396,35	1581,90		
1400-1500	1450	1,26	5,02	0,63	10,0	50,20	446,55	1436,00		
1500-1600	1550	0,54	2,27	0,27	20,0	45,40	491,95	1385,80		
1600-1800	1700	0,96	3,94	0,48	30,0	118,20	610,15	1340,40		
1800-2000	1900	0,4	2,58	0,32	40,0	103,20	713,35	1222,20		
2000-2200	2100	0,72	2,91	0,36	65,0	189,00	902,35	1119,00		
>2200	2400	3,08	12,36	1,54	75,0	930,00	1832,35	930,00		
Итого	-	25,0	100,0	12,5	18,32	1832,35	-	-		
Суммарные, %				Результаты расслоения, %				Расчетный фракционный состав или эквивалентное исходное, %	Распределительные числа, %	
Всплывшие фракции		Утонувшие фракции		Выход фракции концентрата		Выход фракции породы			Для кривой концентр ата	Для кривой породы
выход	зольность	выход	зольнос ть	от конце- нтрата	от исход- ного	от породы	от исходно го			
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
50,09	5,00	100,0	18,32	58,53	50,09	0	0	50,09	100	0
70,92	5,60	49,91	31,80	24,34	20,83	0	0	20,83	100	0
75,94	5,90	29,08	49,10	5,87	5,02	0	0	5,02	100	0
78,21	6,30	24,06	57,50	2,65	2,27	0	0	2,27	100	0
82,15	7,40	21,79	61,50	4,47	3,83	0,77	0,11	3,94	97,21	2,79
84,73	8,45	17,85	68,80	2,13	1,82	5,29	0,76	2,58	70,54	29,46
87,64	10,15	15,27	73,20	1,17	1,00	13,25	1,91	2,91	34,36	65,64
100,00	18,32	12,36	75,00	0,84	0,72	80,69	11,64	12,36	5,83	94,17
-	-	-	-	100,0	85,58	100,0	14,42	100,0	-	-

Фракционный анализ



Кривые обогатимости



Кривые распределения

Вероятное отклонение: $E_{pm} = \frac{\Delta_{75} - \Delta_{25}}{2}$

Коэффициент несовершенства процесса (I): $I = \frac{E_{pm}}{\Delta_p - 1000}$

Эффективность обогащения руд: $E = 100 \frac{\gamma_k(\beta - \alpha)}{\alpha(100 - \alpha)}$