

ОСНОВЫ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ЛЕКЦИЯ 5

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Назначение измельчения в цикле рудоподготовки

Раскрытие минеральных ассоциаций, с минимальным ошламованием

Эффективность измельчения низкая (20%), уменьшается от стадии к стадии

Измельчение. Классификация мельниц

Механические

- Барабанные
- Планетарные
- Вибрационные

Аэродинамические (струйные)

Классификация барабанных мельниц по измельчительной среде

Стержневые МСЦ - стержни, максимальный кусок руды -30 мм, низкое ошламование руды (минимальное переизмельчение), только с центральной разгрузкой

Шаровые МШР и МШЦ – шары, изометрические тела, мак.кусок -15 мм

Рудногалечные МРГ – галля, максимальный кусок руды -6 мм, крупность гали минус 100 (75) +40 (25) мм не затирает поверхность, разгрузка через решетку

Самоизмельчения ММС– куски руды, максимальный кусок -250 (350-500) мм, разрушение по дефектам; полусамоизмельчение ММПС – добавляют стальные шары

Бисерные - вертикальные, горизонтальные; керамические или металлические шары диаметром 60-20 мм, максимальный кусок руды 6-0,1 мм до 2 мкм

Рабочие режимы

измельчения

Основной способ разрушения

– истирание

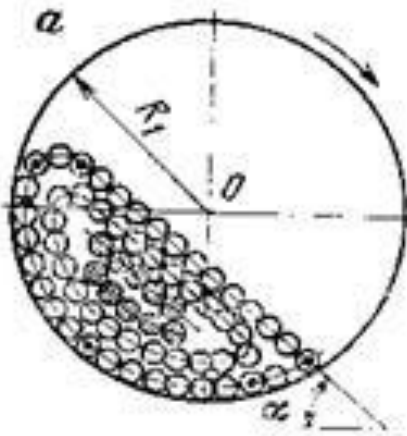
Основной способ разрушения

- удар

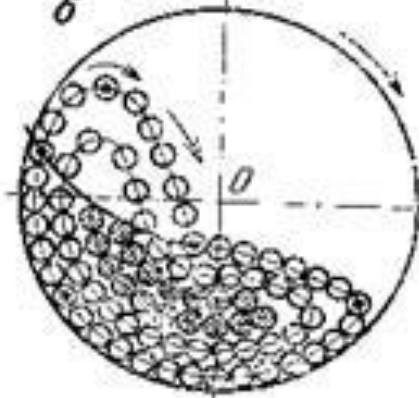
Мягкие
руды

Руды с различными
прочностными
свойствами

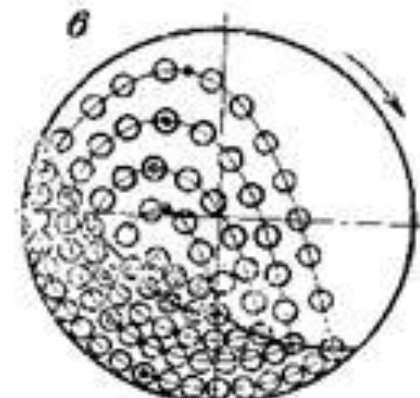
Хрупкие



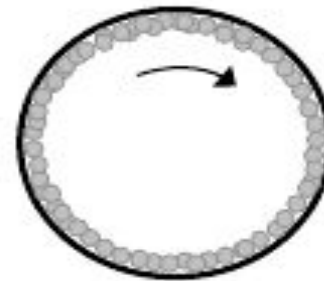
Каскадный режим



Смешанный режим



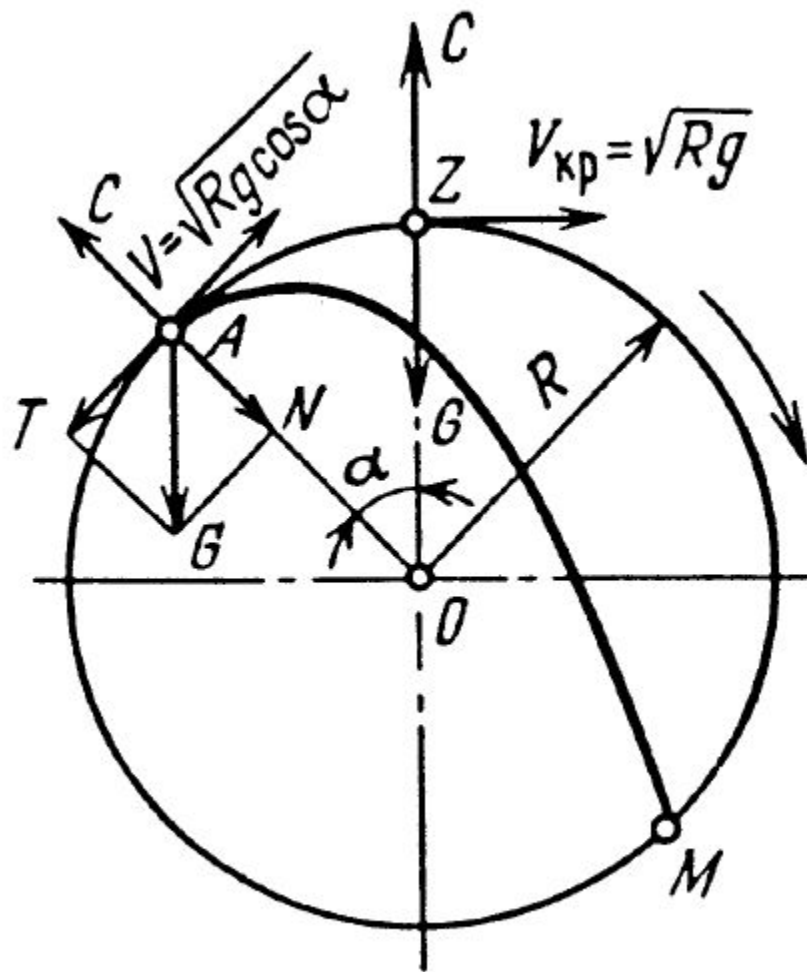
Водопадный режим



z

Режим центрифугирования (махового колеса) –

Измельчение не происходит



$$\psi = n/n_{\text{кр}} = \sqrt{\cos \alpha},$$

$$n = 30 \sqrt{g \cos \alpha} / \pi \sqrt{R} = n_{\text{кр}} \sqrt{\cos \alpha},$$

Режимы измельчения $\psi = \frac{n}{n_{кр}}$

1) Каскадный режим при частоте вращения 50-60% от критической

2) Водопадный режим при частоте вращения барабана 78-85% от критической

3) Смешанный 60-75%

4) Режим махового колеса (центрифугирование шаров)

$$n = (32 - 36) / \sqrt{D}$$

$$\varphi = \frac{V_{\text{шаров}}}{V_{\text{мельницы}}}$$

$$M_{\text{шаровойнагрузки}} = 3,73\varphi D^2 L$$

$$M_{\text{стержневойнагрузки}} = 5,1\varphi D^2 L$$

$$n = \frac{8(5\varphi + 2)}{D}$$

диаметр барабана

Частота вращения барабана зависит

ОТ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ

Стержневые 0,3-0,4

Шаровые 0,4-0,5

Самоизмельчения 0,35-0,45

ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Диаметр шара D

$$D = kd \quad (k=13-32,5)$$

$$D_{шара} = 28\sqrt{d_{куска}}$$

$$n = \frac{8(5\varphi + 2)}{D}$$

диаметр барабана

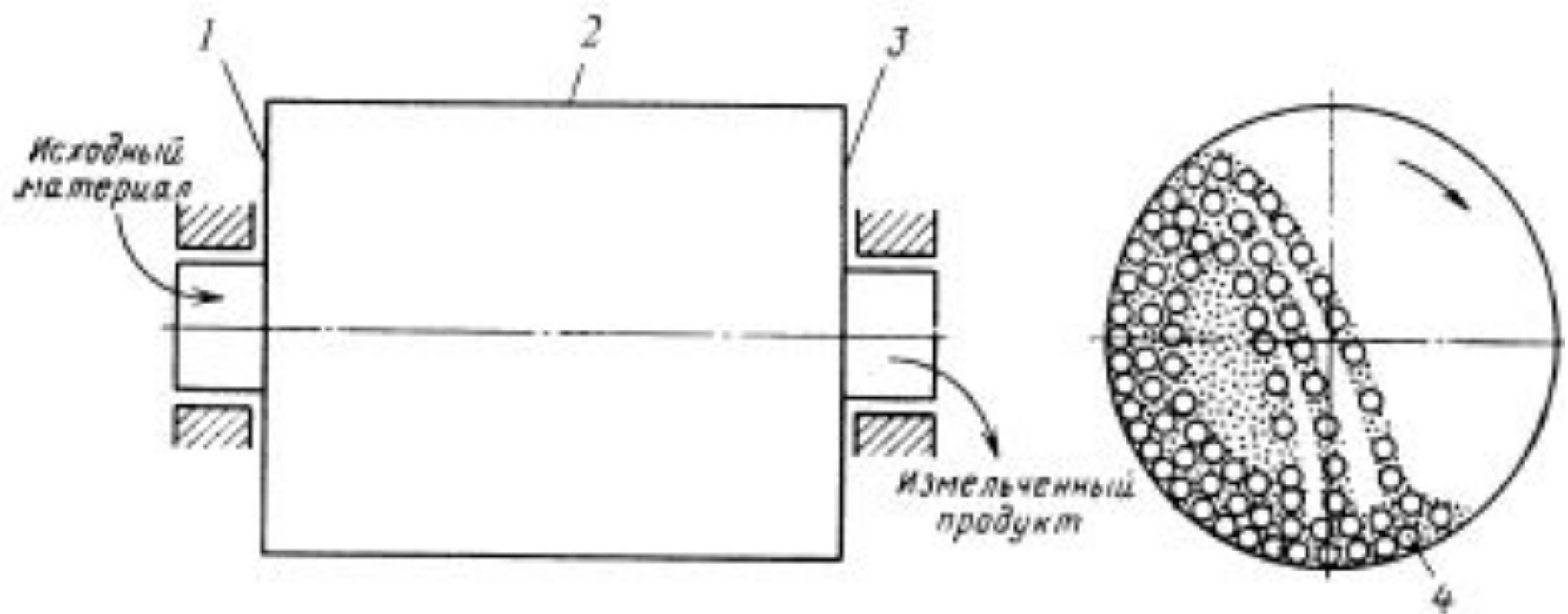


Схема устройства и принцип действия
вращающейся барабанной мельницы:

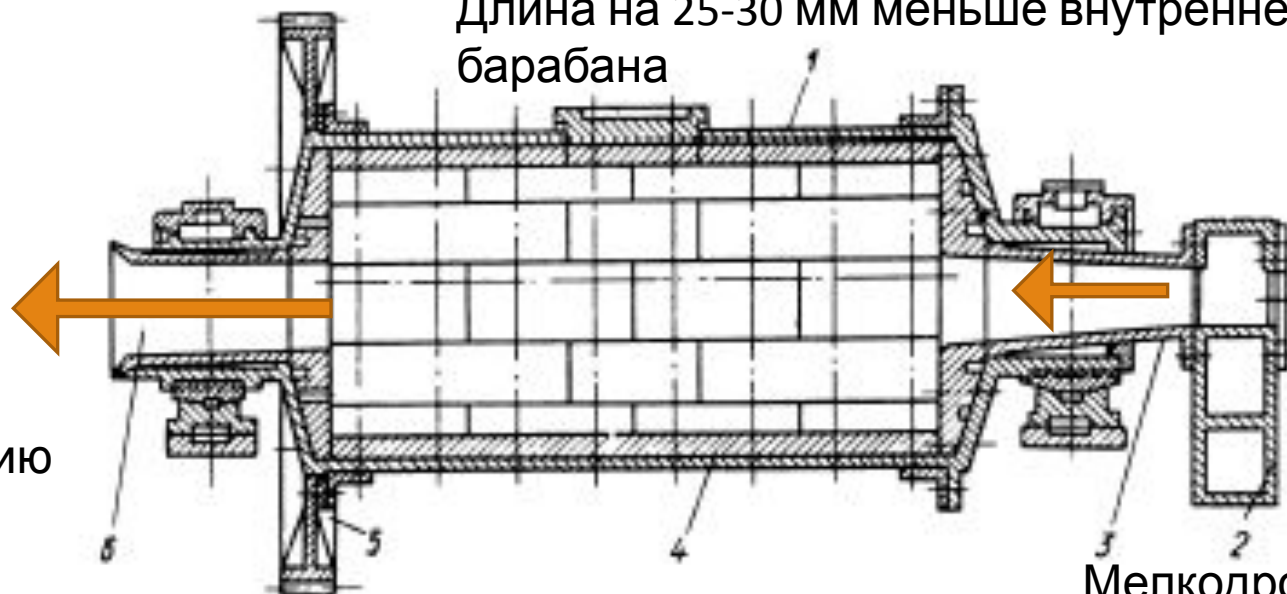
1 – 1 и 3 – загрузочная и разгрузочная крышки с пустотелыми цапфами; 2 – барабан; 4 – измельчающие тела

$L > D$

Грубое измельчение до 0,5-3 мм; перед гравитационным или магнитным обогащением;

первая стадия в открытом цикле перед флотацией

Диаметр стержней 40-100 мм,
Длина на 25-30 мм меньше внутренней дины барабана



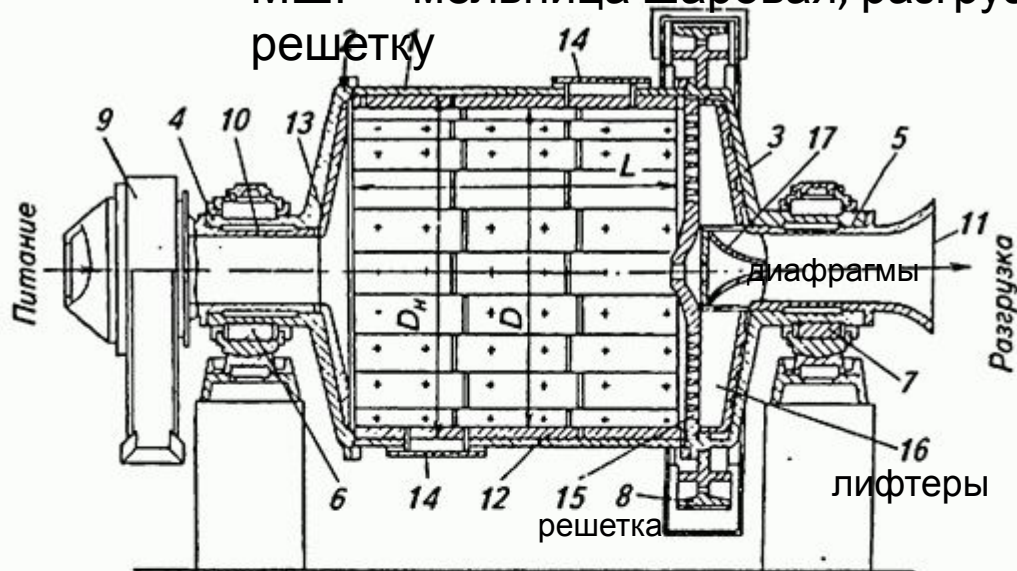
На
классификацию

Мелкодробленая
руда $d_{\text{мак}} = 40-18 \text{ мм}$

Стержневая мельница

- 1 – барабан; 2 – улитковый питатель; 3 – загрузочная втулка;
4 – футеровка барабана; 5 – венцовая шестерня;
6 – разгрузочная горловина

МШР – мельница шаровая, разгрузка через решетку



$$d_{\text{мак}} = 18-10 \text{ мм}$$

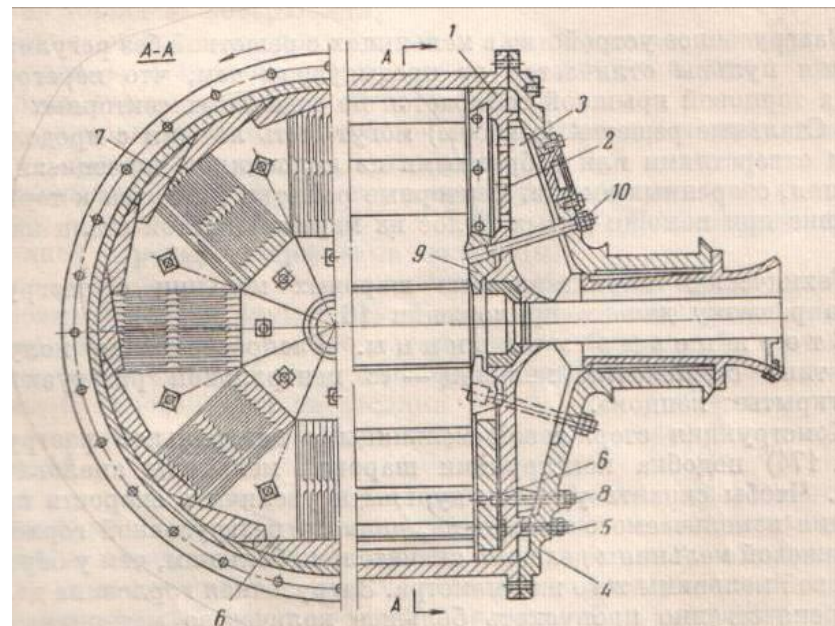
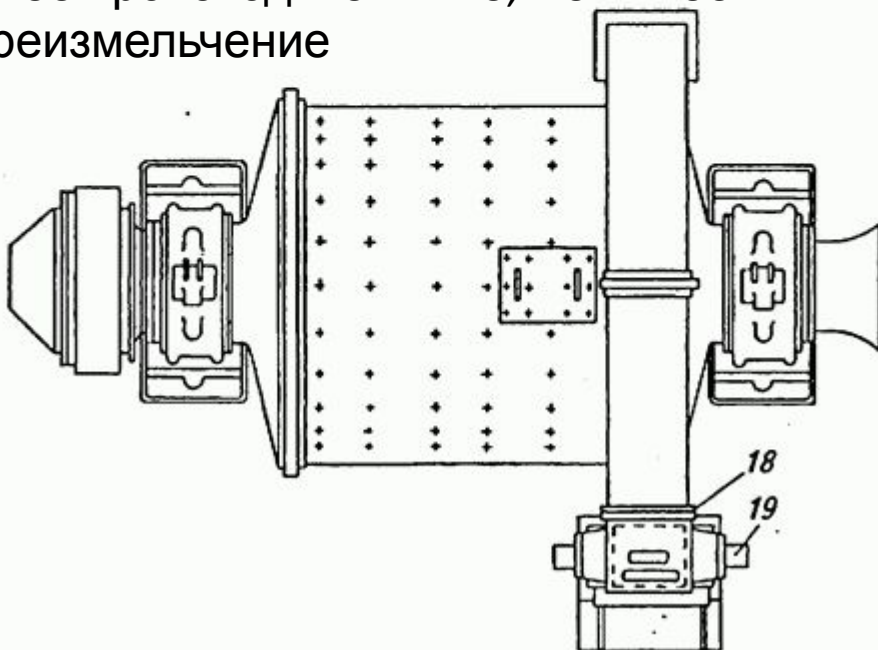
МШР-4500x500

0
Габариты

15100x9100x6800

$L > D$

Более производительные, меньшее переизмельчение



1 – диафрагма

7 – колосниковая решетка

Низкий уровень пульпы, принудительная разгрузка, высокая производительность

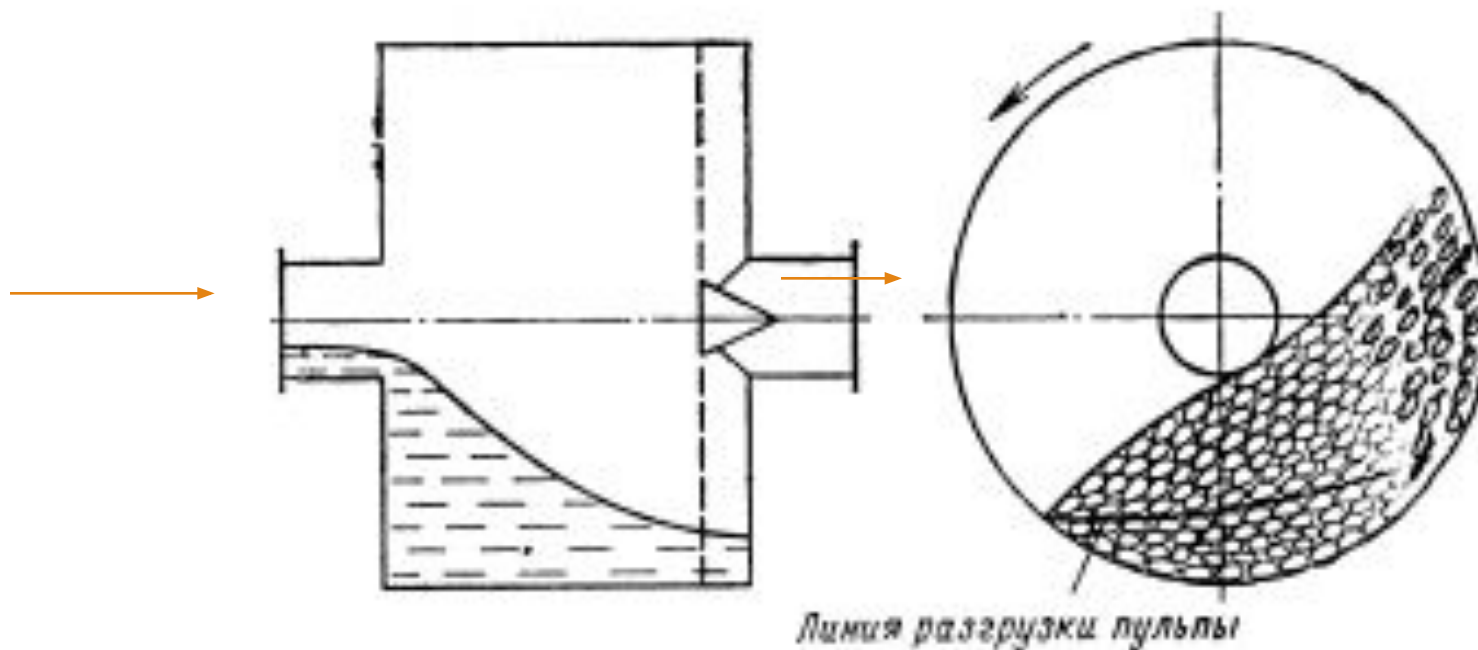
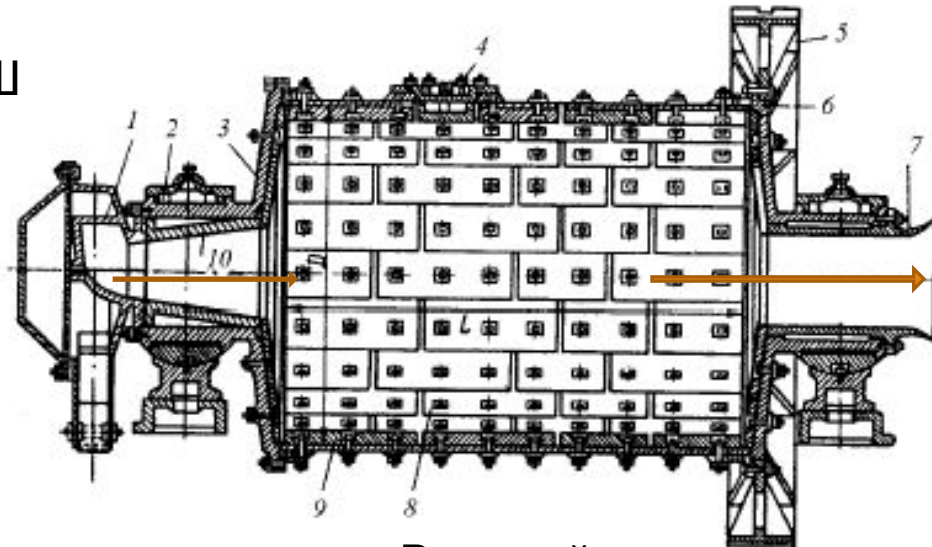


Схема шаровой мельницы с решеткой

$L > D$

МШ
Ц

$d_{\text{мак}} = 15-10 \text{ мм}$

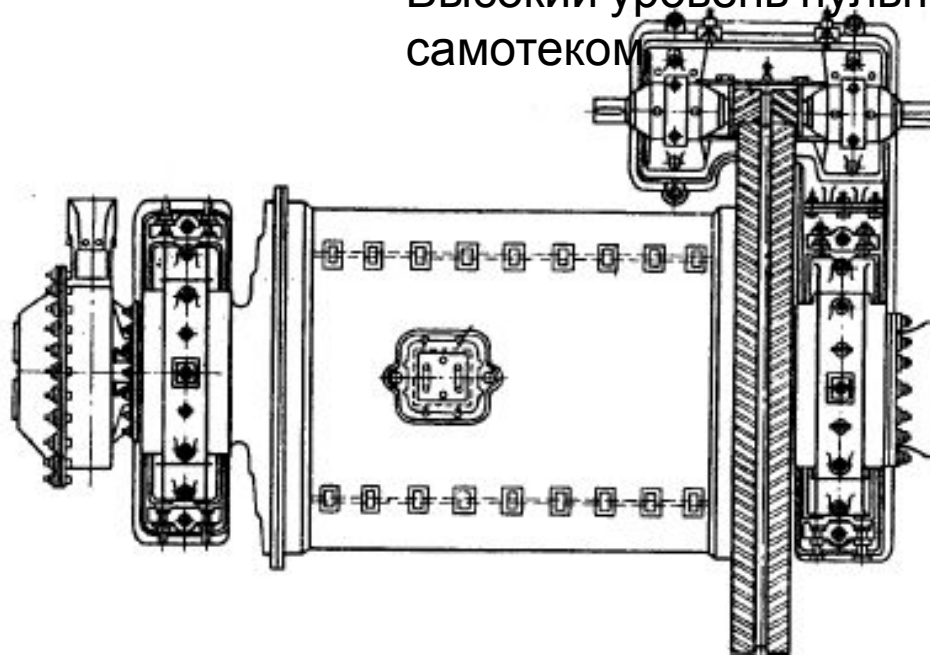


МШЦ-5500x650

Габариты

25500x12400x8800

Высокий уровень пульпы, разгрузка самотеком



Шаровая мельница с центральной разгрузкой МШЦ:

- 1 – питатель; 2 – коренные подшипники; 3, 6 – торцевые крышки;
- 4 – люк; 5 – зубчатый венец; 7 – разгрузочная воронка; 8 – стальные футеровочные плиты; 9 – барабан; 10 – загрузочная воронка

МШ
Ц



Необходимый диаметр шаров при измельчении (взаимосвязь диаметра шаров (D) и максимального куска (d), поступающего на измельчение)

d, мм	0,2	0,3-0,42	0,6-0,8	1,2-1,7	2,4-3,3	4,7-6,7	6,8-9,5	13-19	27-38	38-53	53-60
D, мм	15	20	25	30	40	50	60	70-80	90-100	100-110	125

$L < D$ $D:L=3:1$

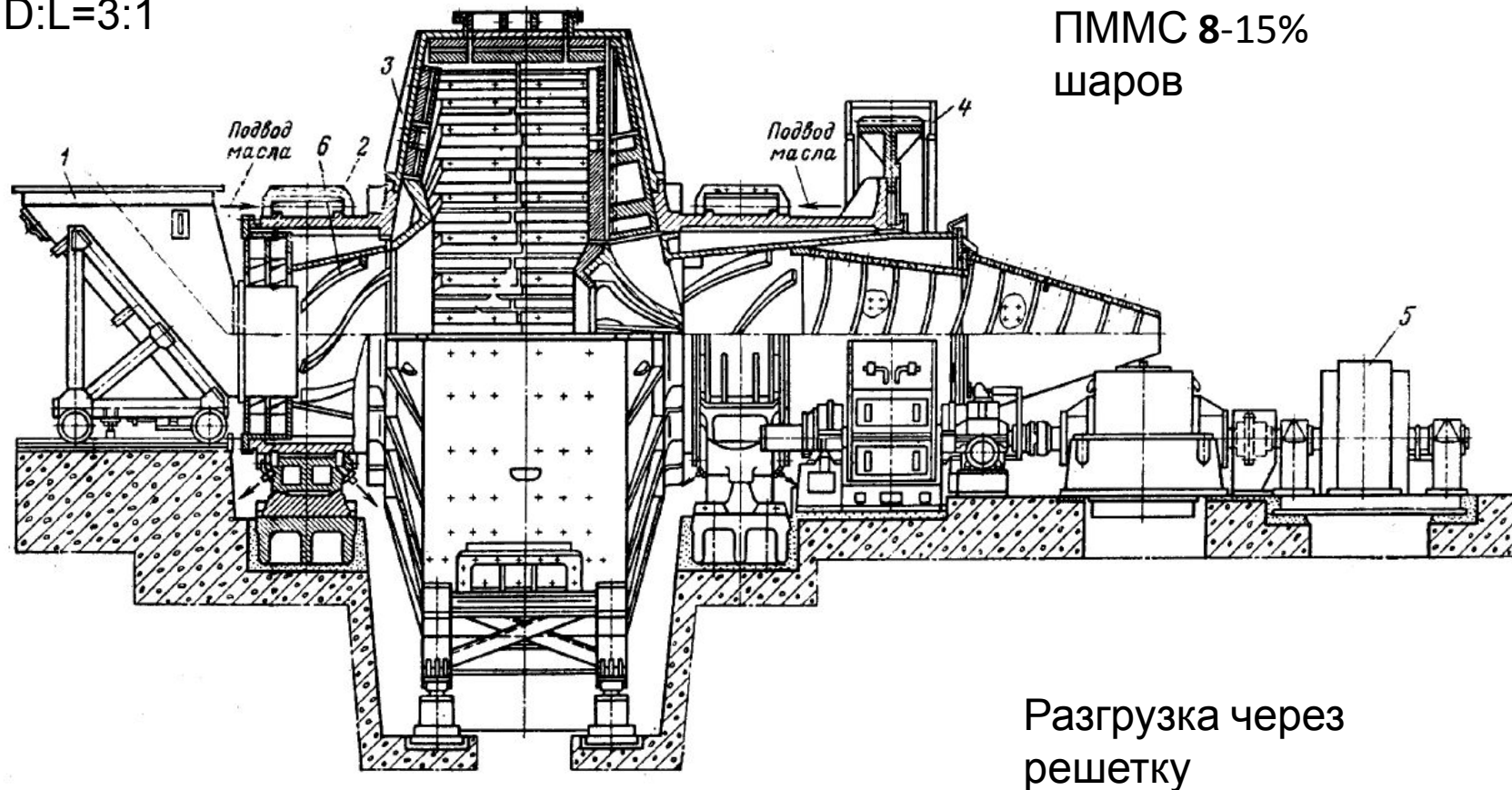


Рис. 4.7. Мельница для мокрого самоизмельчения:
1 – откатная загрузочная воронка; 2 – подшипник;
3 – корпус мельницы; 4 – зубчатый венец привода;
5 – электродвигатель; 6 – спираль подачи пульпы

Самоизмельчение

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ

Уменьшается переизмельчение руды благодаря разлому кусков преимущественно по межзерновым контактам, т.е. по наиболее ослабленным связям кристаллической решётки

Отсутствует наклеп железа на золоте

Замена среднего и мелкого дробления

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ

Высокая энергоёмкость

Высокая стоимость оборудования

Накопление класса критической крупности

Рудно-галечное измельчение

Источник рудной гали – куски руды после среднего дробления,
либо самоизмельчения

Размер гали – 100(75) + 40 (25) мм

Область применения мельниц различного типа

Тип мельницы	Номинальная крупность кусков, мм		Тип руды	Стадия измельчения
	исходного материала	Измельченного продукта		
ММС	500—300	25—3	Железные, золотые, алмазосодержащие, медно-молибденовые, вольфрамо-молибденовые	I
ММС	350—250	0,3-0,2	Железные, золотые, алмазосодержащие, медно-молибденовые, вольфрамо-молибденовые	Одностадиальное
МСЦ; МШР	40—25	6—0,5	Железные, золотые, полиметаллические, оловянные, вольфрамовые	I
МШР; МШЦ	15—10	0,3—0,2	Все типы	Одностадиальное
МШР; МРГ	25—3	0,5—0,2	Все типы	II
МШР; МРГ; МШЦ	13—2	0,35—0,15	Все типы	II и III
МРГ; МШЦ	6-0,5	0,2-0,1 и тоньше	Все типы	II и III

Характеристика пульпы

Т:Ж (ПЛОТНОСТЬ ПУЛЬПЫ)

Шаровые – 65-75%

Стержневые – 50-60%

ИСХОДНАЯ КРУПНОСТЬ
ПИТАНИЯ, ММ

Шаровые 8-15 мм

Стержневые 15-25 мм

СМ 1/3 диаметра загрузочной
цапфы

VTM-1500-WB VERTIMILL Metso

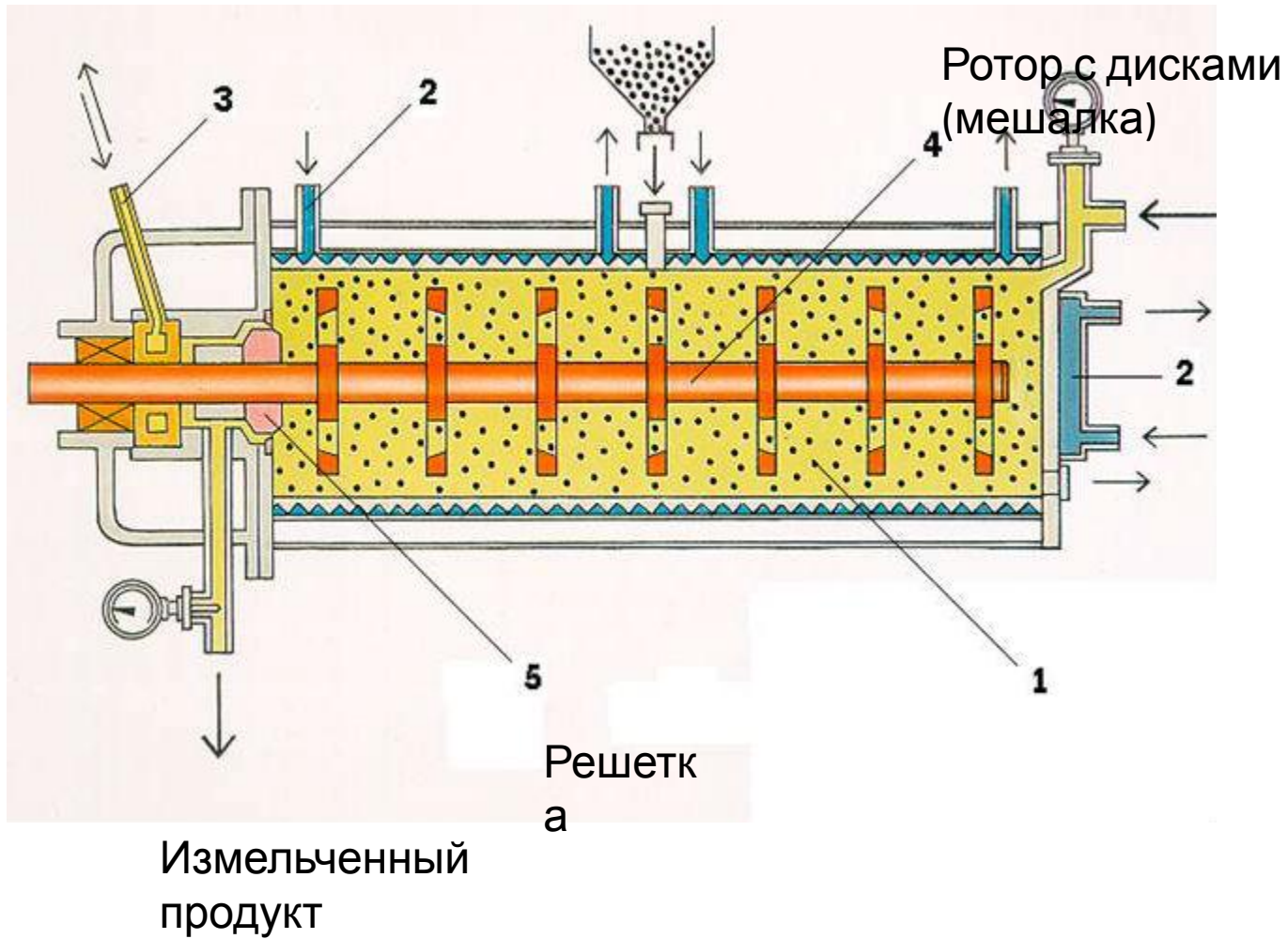


Готовый продукт



Питание

Бисерная мельница



Удельная производительность мельницы, т/(м³·ч)

$$q = \frac{Q}{V}$$

Удельная производительность по вновь образованному классу

$$q = \frac{4Q(\beta_k - \beta_u)}{\pi D^2 L}$$

Классификация

ВОДНАЯ СРЕДА

Гидравлическая в
классификаторах

Механические
классификаторы

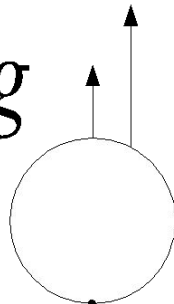
Гидроциклоны (ц/б)

Тонкое грохочение

ВОЗДУШНАЯ СРЕДА

Пневматическая

Классификация в поле гравитационных сил (гидравлическая)



The diagram shows a sphere with four force vectors: an upward arrow from the top, a downward arrow from the bottom, a shorter upward arrow from the top, and a shorter downward arrow from the bottom. The equations are arranged around the sphere to describe these forces.

$$F_a = -V\rho_{H_2O}g$$
$$F_c = \zeta S \frac{\rho_{H_2O} u_0^2}{2}$$
$$F_T = V\rho_T g$$
$$F_{gp} = F_T - F_a$$

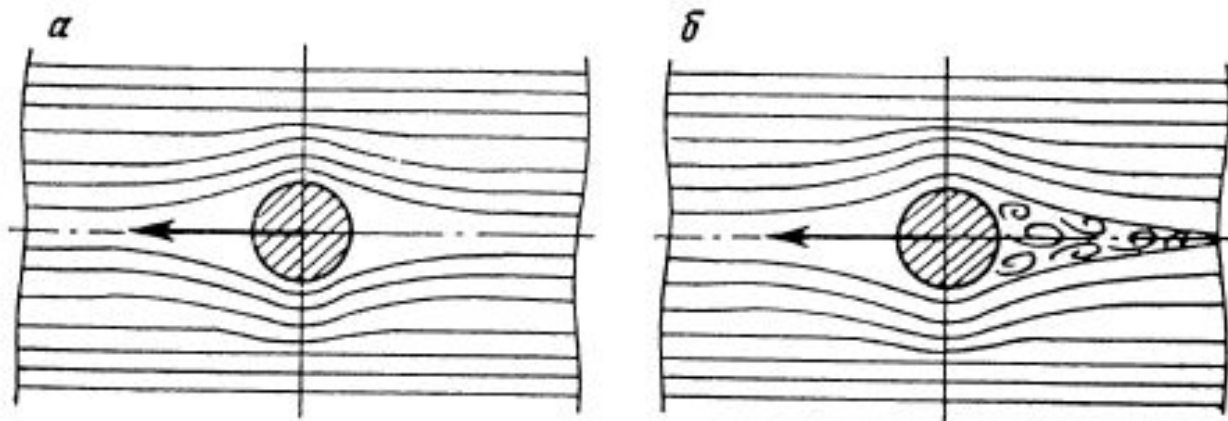


Рис. 5.1. Характер обтекания жидкостью тел при ламинарном (а) и турбулентном (б) режимах

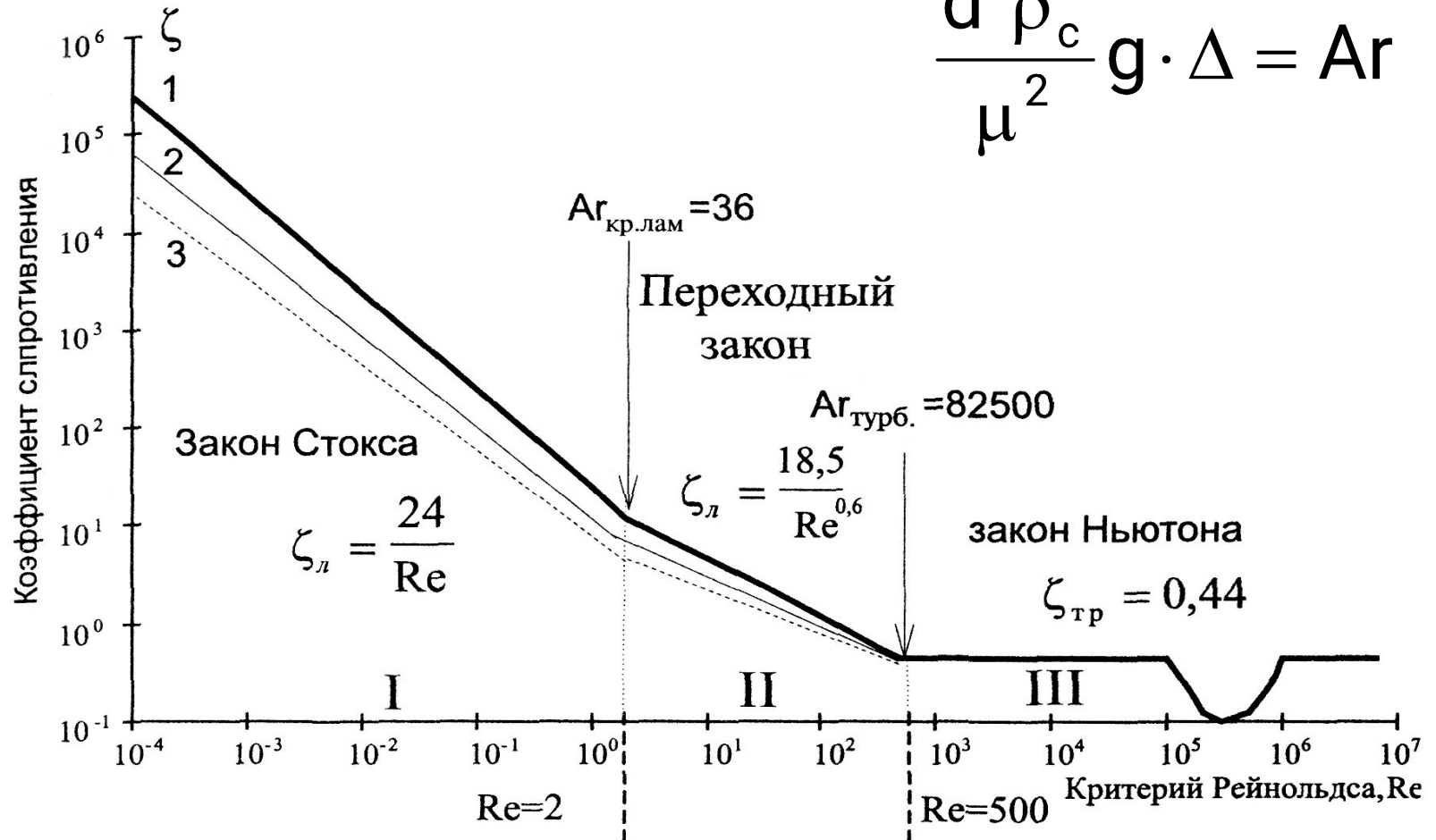
$$P_d/P_s = Re,$$

Соотношение сил инерции к силам вязкости

$$\zeta \cdot Re^2 = \frac{4}{3} Ar,$$

$$\Delta = \frac{\rho_T - \rho_c}{\rho_c}$$

$$\frac{d^3 \rho_c^2}{\mu^2} g \cdot \Delta = Ar$$



Сила гидродинамического сопротивления

$$F_c = \zeta S \frac{\rho_{cp} u_0^2}{2}$$

При $Re < 2$

$$\zeta = \frac{24}{Re}$$

$$Re = \frac{u_0 \cdot d \cdot \rho_{жс}}{\mu} = \frac{u_0 \cdot d}{\eta}$$

$$F_c = \frac{24 \cdot \mu \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho_{cp} \cdot u^2}{U \cdot d \cdot \rho_{cp} \cdot 4 \cdot 2} = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d \cdot u$$

μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с; для воды составляет 0,001

η – кинематическая вязкость, м²/с

Формула гидравлической крупности

$$\frac{\pi d^3}{6} \cdot (\rho_{ч} - \rho_{жс}) = 3\pi\mu_0 d,$$

$$w_0 = \frac{d^2 g (\rho_{ч} - \rho_{жс})}{18\mu}$$

Данная формула применима для расчета гидравлической крупности частиц при малых скоростях движения (параметр $Re < 2$) и размерах частиц менее 0,1 мм.

В отличие от грохочения, производящего разделение материала по крупности, гидравлическая классификация делит материалы на классы по равнопадаемости, т.е. каждый класс, полученный при гидравлической классификации, содержит зерна, имеющие одинаковую скорость падения в воде.

Для определения конечной скорости свободного падения зерен (см/с) крупностью от 1,5 до 15 мм применяют формулу Риттингера:

$$v_0 = K\sqrt{d(\delta - \Delta)/\Delta} = K\sqrt{d(\delta - 1)}, \quad (5.4)$$

где K – коэффициент формы зерна, принимаемый равным 51,2 для частиц шарообразной формы;

d – диаметр зерна, см;

δ, Δ – соответственно плотность зерна и среды (воды), г/см³.

Следовательно, зерна кварца диаметром 10 мм и зерно галенита диаметром 2 мм падают с одинаковой скоростью. Эти зерна являются равнопадающими. Отношение $d_1/d_2 = e$ называется коэффициентом равнопадаемости.

В нашем случае $e = 10/2 = 5$.

Коэффициент равнопадаемости в общем виде для минеральных частиц можно определить на основании формул конечных скоростей падения.

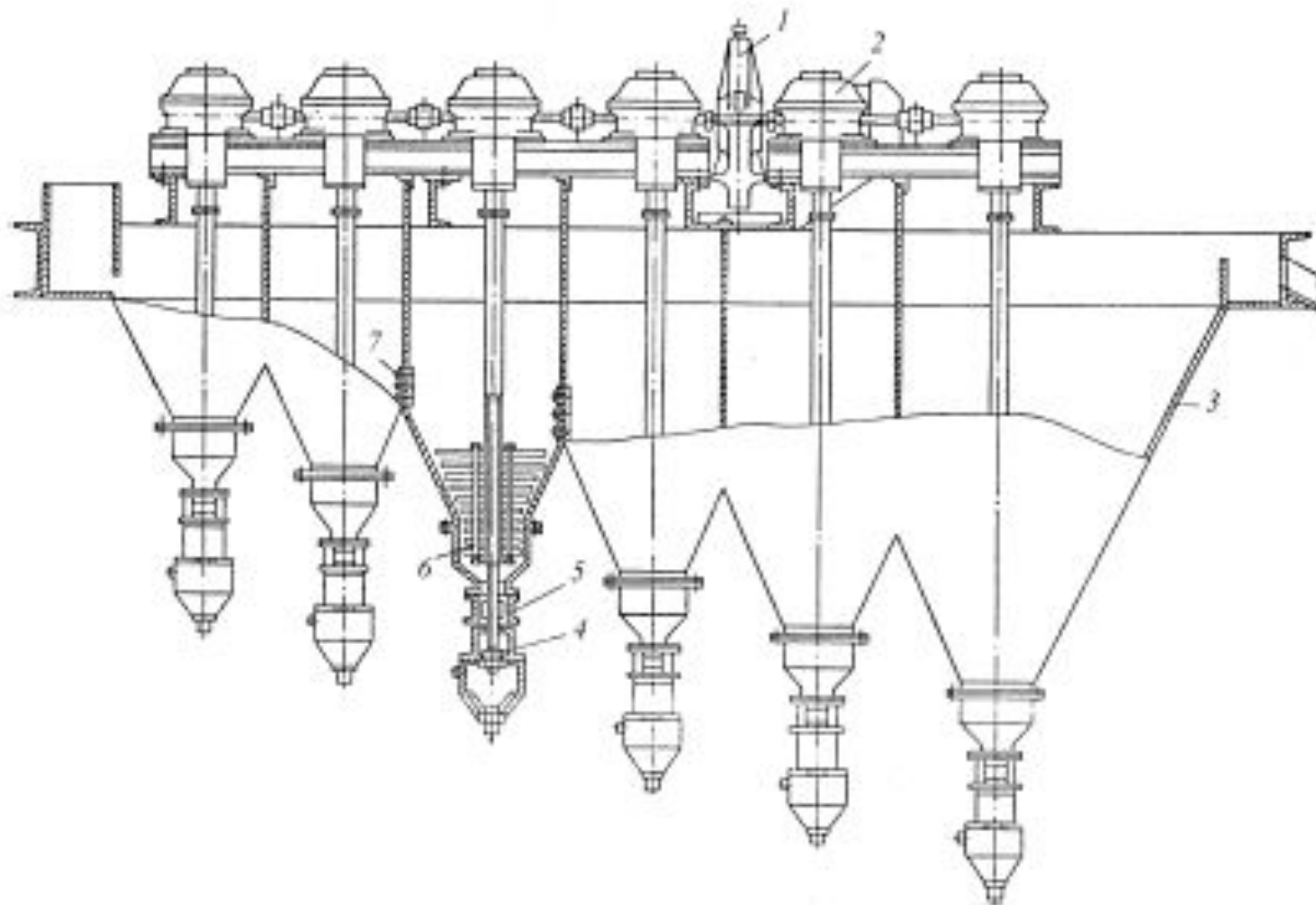
Следовательно, по формуле Риттингера для равнопадающих зерен (при незначительной разнице между K_1 и K_2)

$$v_1 = v_2 = K_1\sqrt{d_1(\delta_1 - 1)} = K_2\sqrt{d_2(\delta_2 - 1)},$$

откуда

$$e_1 = d_1/d_2 = (\delta_2 - 1)/(\delta_1 - 1). \quad (5.12)$$

Зернистый материал, крупность минус 6-5 мм



Гидравлический классификатор стесненного падения КГ-6
1 – редуктор; 2 – привод вала; 3 – корпус; 4 – клапан;
5 – классифицирующее устройство; 6 – мешалка; 7 – перегородка

$\alpha \leq 18^\circ$

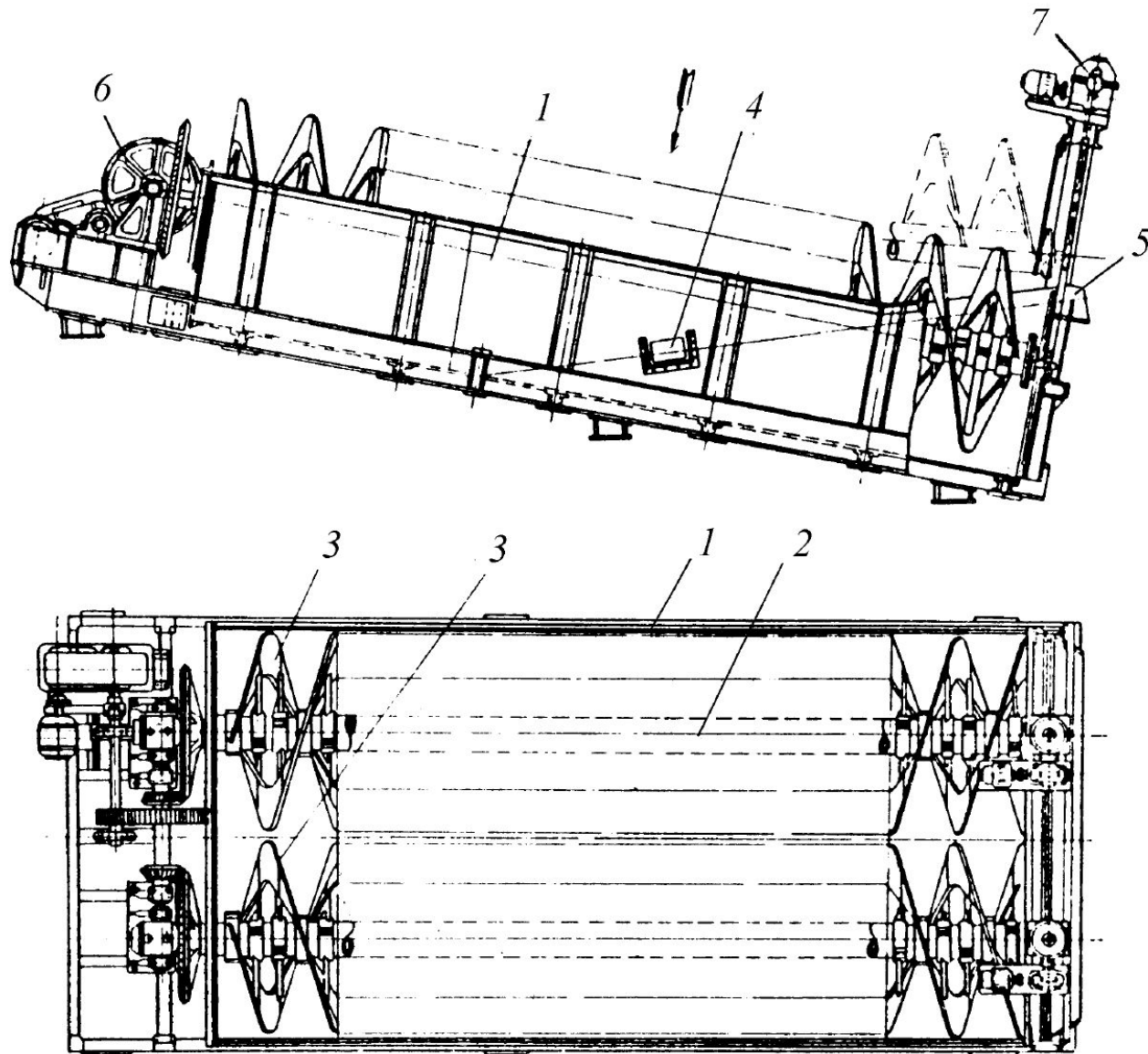


Рис. 5.4. Спиральный классификатор

1 – корыто; 2 – вал; 3 – спирали; 4 – питающий желоб;
5 – сливной желоб; 6 – привод; 7 – подъемное устройство

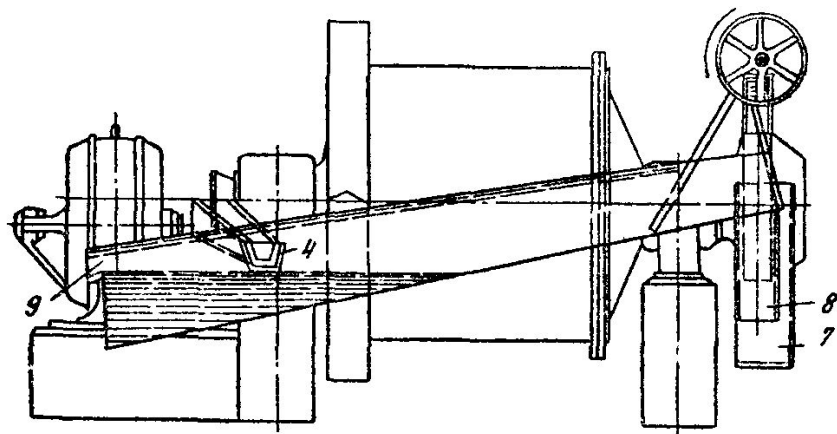
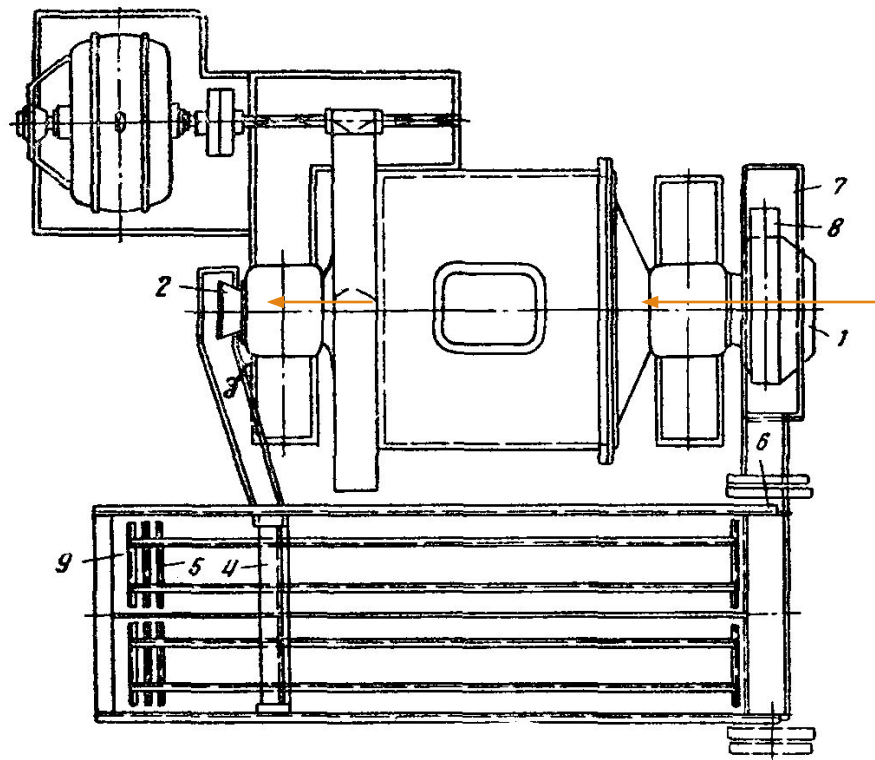


Рис. 46. Установка шаровой мельницы с классификатором:

- 1 — питатель мельницы; 2 — разгрузка мельницы; 3—4 — жолоб;
- 5 — гребки классификатора; 6 — жолоб; 7 — ящик мельницы;
- 8 — питатели; 9 — сливной порог

$\alpha 10-20^0$

Разгрузочное отношение

$$k = \frac{d_{\text{пес}}}{d_{\text{слив}}} = 0,2 - 0,7$$

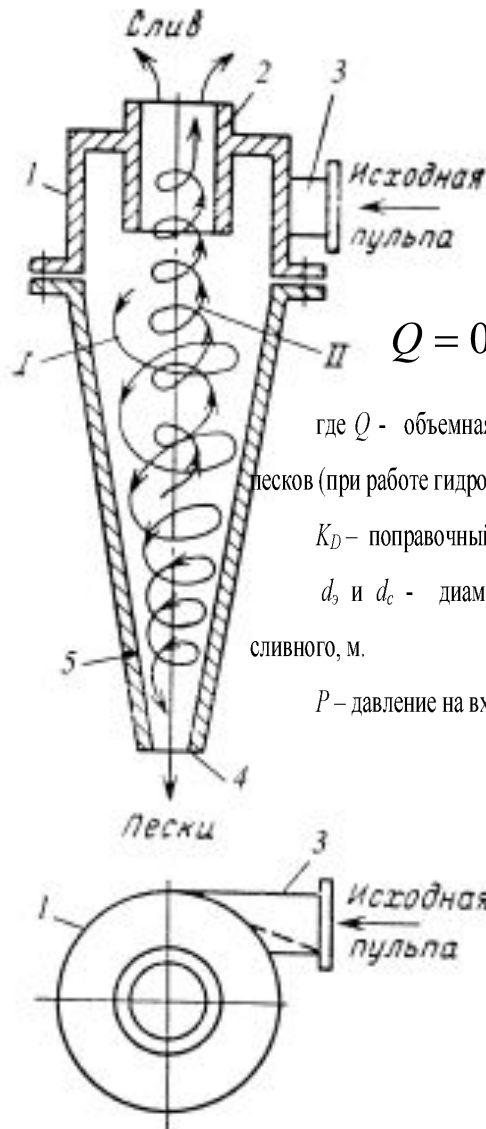
$$d_{\text{пит}} = (0,15-0,25)D$$

$$d_{\text{слив}} = (0,2-0,3)D$$

$$V_{\text{пульпы}} = \frac{Q + C \cdot Q}{\rho} + W_{\text{воды}}$$

$$q_{\text{пес}} = \frac{Q_{\text{пес}}}{0,785d_{\text{пес}}^2}$$

$$5 \cdot 10^3 \div 2,5 \cdot 10^4 \text{ т/(ч} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$



$$Q = 0,93 \cdot 10^4 \cdot K_D \cdot d_{\text{э.п}} \cdot d_{\text{сл}} \cdot \sqrt{10P}$$

где Q - объемная производительность гидроциклона, с учетом циркулирующих песков (при работе гидроциклона в замкнутом цикле с мельницей), м³/ч;

K_D - поправочный коэффициент на диаметр гидроциклона;

d_e и d_c - диаметры патрубков, соответственно эквивалентного питающего и сливного, м.

P - давление на входе в гидроциклон, МПа (0,1 МПа).

Гидроциклон:
1 - корпус; 2 - сливной патрубок; 3 - питающая насадка;
4 - песковая насадка; 5 - футеровка

Параметры	ГЦ-25	ГЦ-50	ГЦ-75	ГЦ-150	ГЦ-250	ГЦ-360	ГЦ-500	ГЦ-710	ГЦ-1000	ГЦ-1400	ГЦ-2000
Диаметр гидроциклона D , мм	25	50	75	150	250	360	500	710	1000	1400	2000
Угол конусности α , градус	10	10	10	10/20	20	20	20	20	20	20	20
Эквивалентный диаметр питающего отверстия d_3^* , мм	6	12	17	38	65	90	130	150	210	300	400
Диаметр сливного отверстия d_C , мм	7	13	22	50	80	115	150	200	250	380	500
Диаметр пескового отверстия d_D , мм	4; 6; 8	6; 8; 12	8; 12; 17	12; 27 (20); 24; 34	34; 48; 75	34; 48; 75; 96	48; 75; 96; 150	48; 75; 150; 200	75; 150; 200; 250	150; 200; 250; 300; 360	250; 300; 360; 500
Давление на вводе p , МПа	0,01-0,02			0,03-0,25				0,06-0,45			
Производительность по питанию с содержанием твердого 40 % при давлении 0,1 МПа, м ³ /ч, не менее**	0,7	2,5	5,0	15/20	50	95	180	260	470	900	1000
Габариты, мм, не более:											
длина L	120	230	300	500	600	700	900	1200	1500	2100	—
ширина B	70	100	350	450	650	750	1000	1400	1600	2200	—
высота H	250	400	600	1200	1400	1900	2500	3500	4500	6200	—
Масса, кг, не более	2	5	20	100	200	300	450	1450	2400	4500	—

Циркулирующая нагрузка

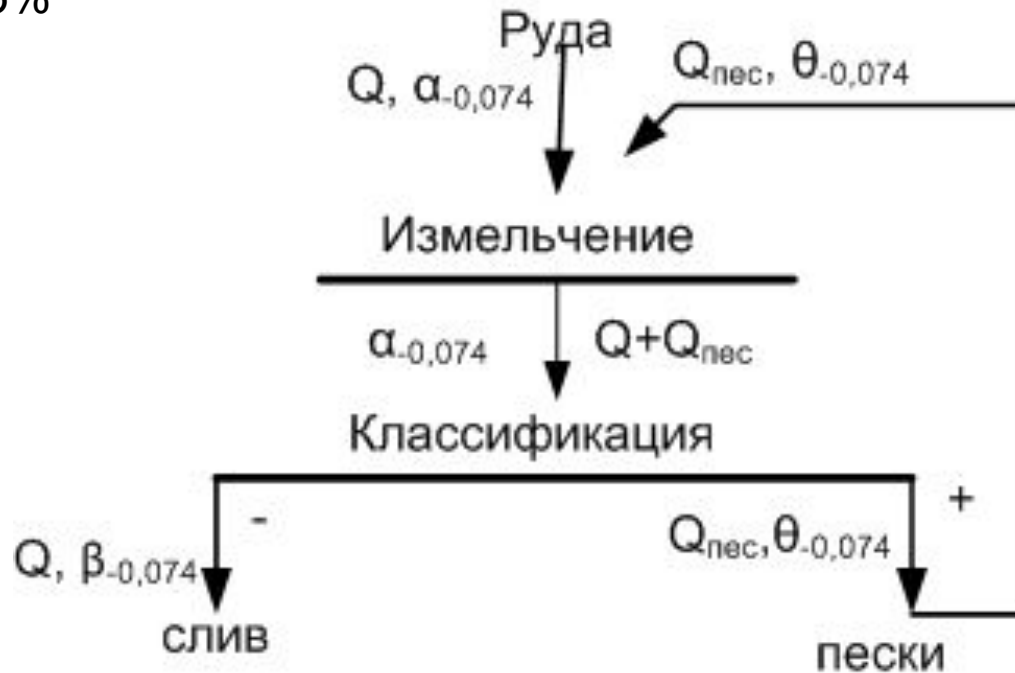
$$C_I = 200-250\%$$

$$C_{II} = 300-350\%$$

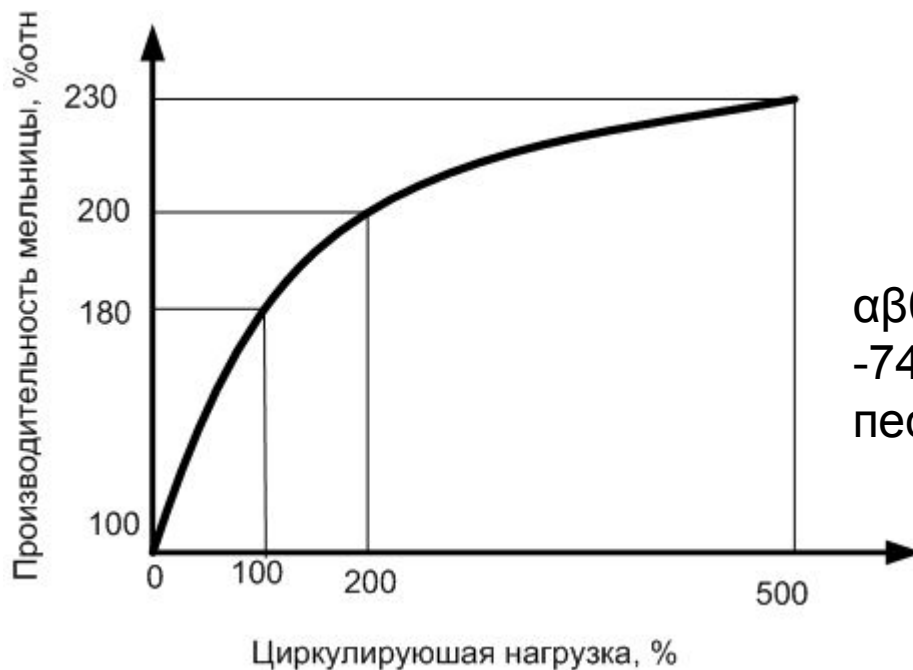
$$C_{III} = 400-450\%$$

$$C_{MMC} = 70-75\%$$

$$(Q + Q_{пес}) \cdot \alpha_{-0,074} = Q_{пес} \cdot \theta_{-0,074} + Q \cdot \beta_{-0,074}$$



$$C = \frac{Q_{пес}}{Q} 100 = \frac{(\beta_{-0,074} - \alpha_{-0,074})}{(\alpha_{-0,074} - \theta_{-0,074})}$$



$$C = \frac{(\beta - \alpha)}{(\alpha - \theta)} 100$$

$\alpha\beta\theta$ – содержание расчетного класса -74 мкм в сливе мельницы, в сливе г/ц и песках г/ц

$$C = \frac{R_2 - R}{R - R_1}$$

$R R_1 R_2$ – слива мельницы, в песках г/ц и в сливе г/ц

Взаимосвязь содержание контрольного класса и среднего размера куска руды в продукте измельчения – сливе. Разжижение в сливе

Крупность зерна, мм	Содержание класса -74 мкм в сливе гидроциклона , %	Ж:Т в сливе
-0,3	50-55	(1,6-2,0):1
-0,2	60-65	(2,0-2,5) :1
-0,15	70-75	(2,5-3,0) :1
-0,10	80-85	(3,0-3,6) :1
-0,07	90-95	(4,0-4,6) :1
-0,05 (контроль по классу минус 44 мкм)	75-80	(5,0-7,0) :1
-0,04 (контроль по классу минус 44 мкм)	85-90	(8,0-10,0) :1

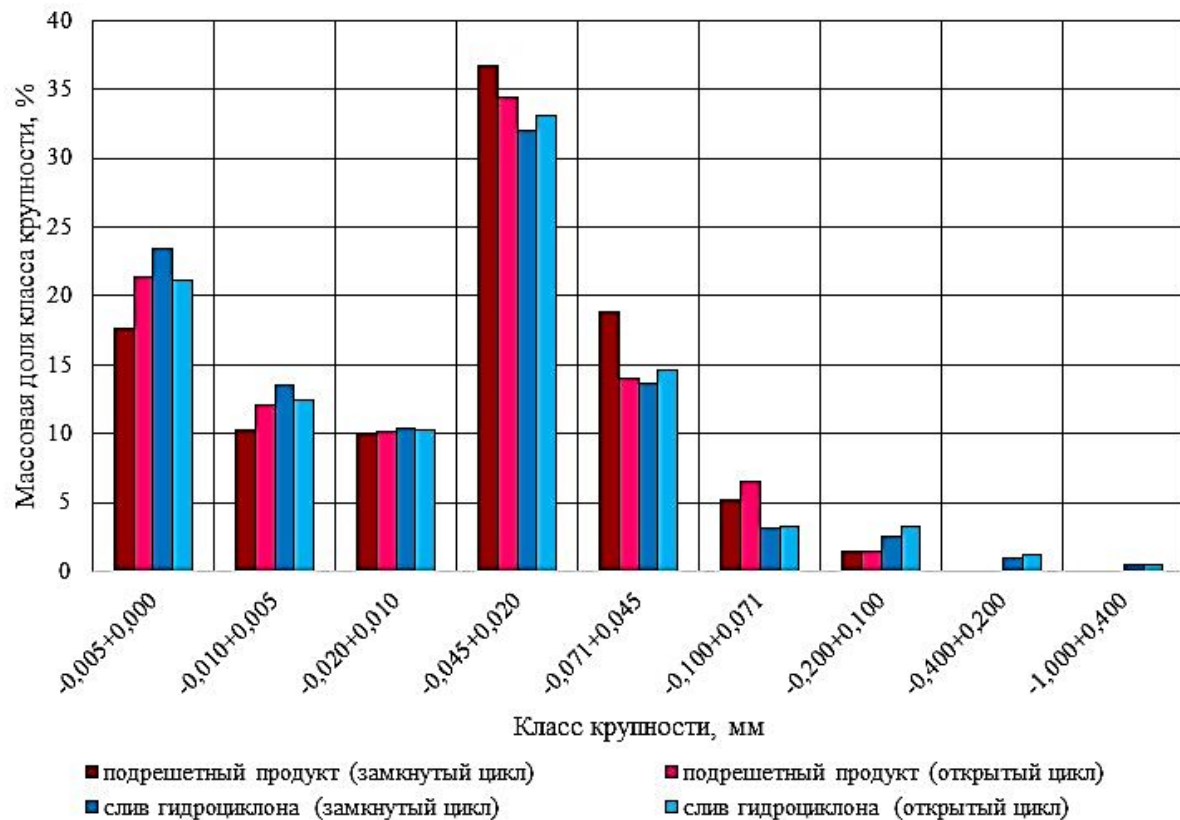
Взаимосвязь содержания контрольного класса и среднего размера куска руды в продукте измельчения – сливе. Разжижение в сливе

Крупность зерна, мм	Содержание класса -74 мкм в сливе спирального классификатора , %	Ж:Т в сливе
-1,6	12-17	(1,0-1,3):1
- 0,8	20-25	(1,3-1,5):1
-0,56	30-35	(1,5-1,8):1
-0,4	40-45	(1,5-2,2):1
-0,3	50-55	(2,5-3,0):1
-0,2	60-65	(3,0-3,5) :1
-0,15	70-75	(4,0-4,5) :1
-0,10	80-85	(5,0-6,0) :1
-0,07	90-95	(6,0-8,0) :1
-0,05 (контроль по классу минус 44 мкм)	75-80	(8,0-10,0) :1
-0,04 (контроль по классу минус 44 мкм)	85-90	(10,0-15,0) :1

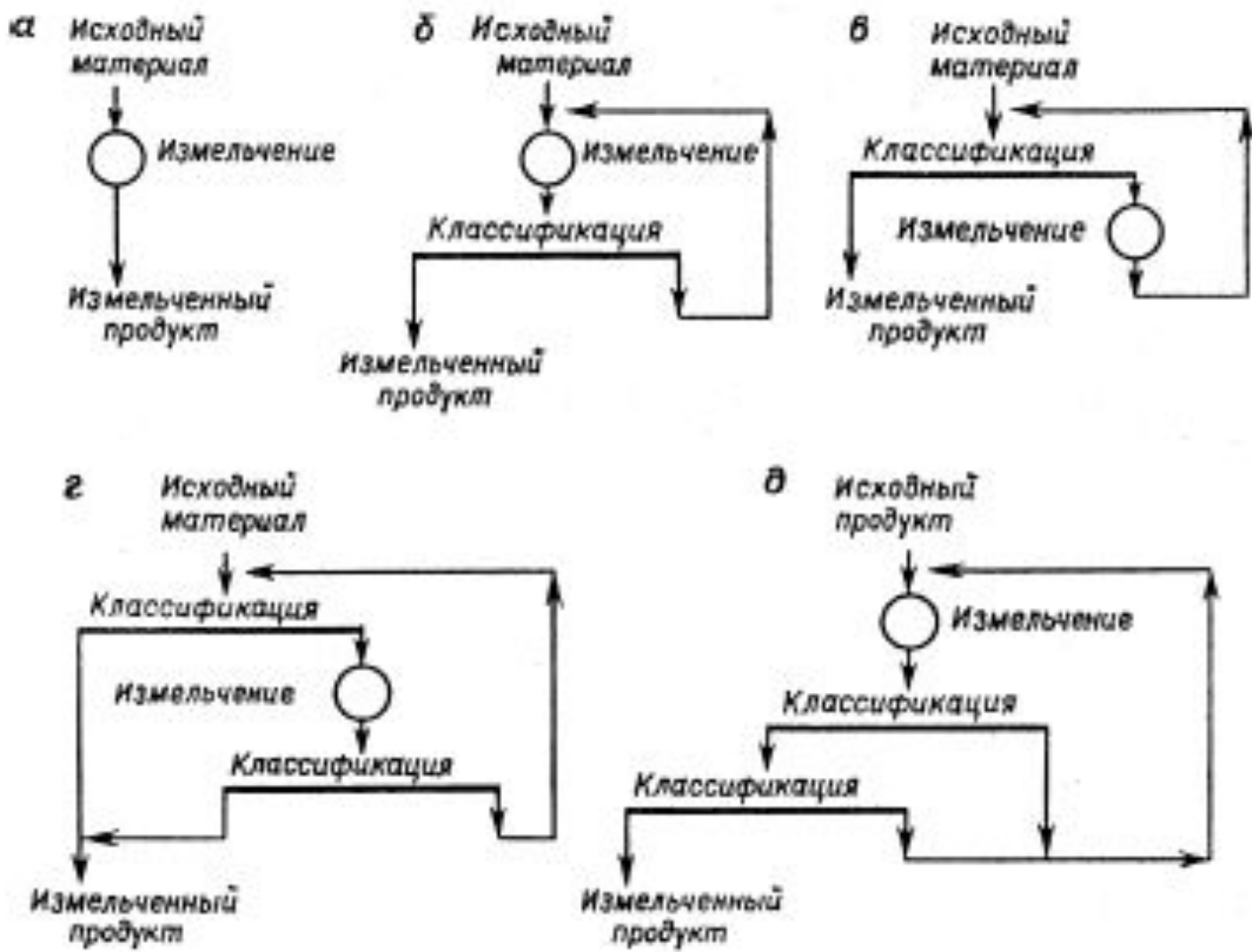


Тонкое грохочение – альтернатива гидроциклонированию?

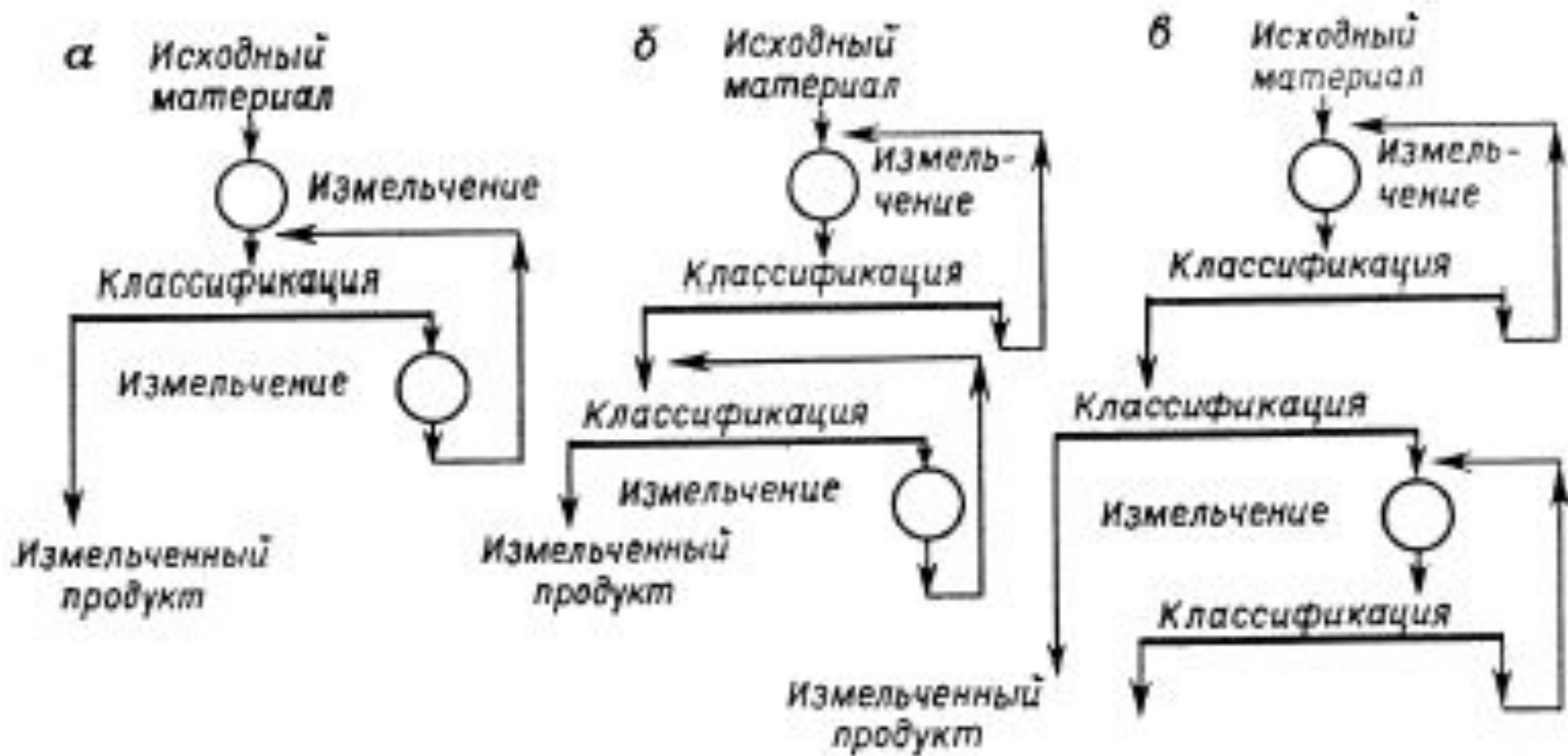
тонкое гидравлическое вибрационное грохочение



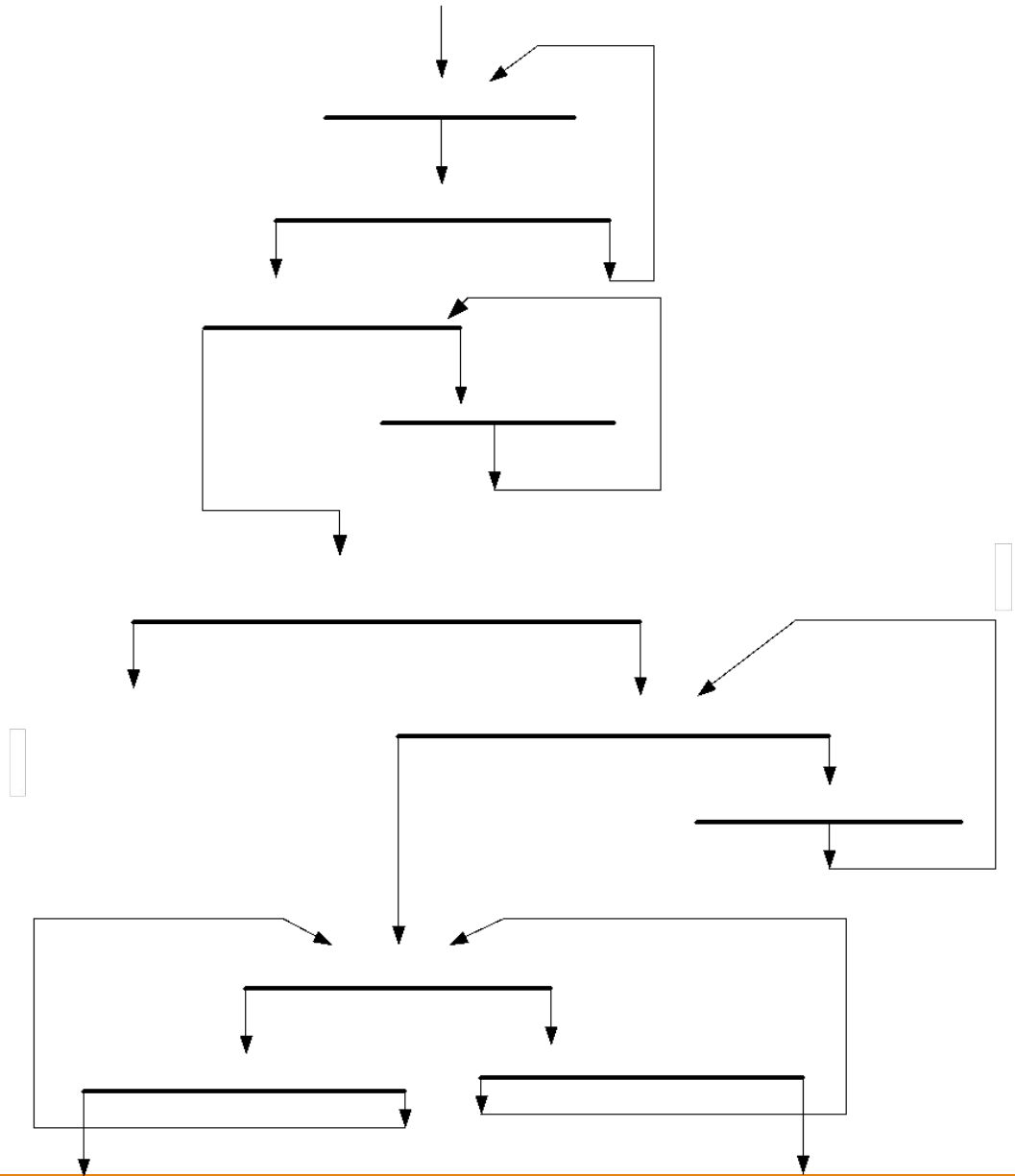
Продукт	Распределение минерала по крупности, %	
Подрешетный продукт грохота	Пирит	Халькопирит
	70–100 мкм = 39,3	70–100 мкм = 15,1
	40–70 мкм = 33,3	40–70 мкм = 58,9
	20–40 мкм = 19,6	20–40 мкм = 22,2
	10–20 мкм = 5,1	10–20 мкм = 3,2
	0–10 мкм = 2,7	0–10 мкм = 0,6
	Сфалерит	Нерудные минералы
	70–100 мкм = 12,6	70–100 мкм = 25,3
	40–70 мкм = 60,0	40–70 мкм = 48,1
	20–40 мкм = 22,6	20–40 мкм = 23,7
10–20 мкм = 4,1	10–20 мкм = 2,7	
0–10 мкм = 0,7	0–10 мкм = 0,2	
Слив гидроциклона	Пирит	Халькопирит
	70–160 мкм = 38,1	70–100 мкм = 21,3
	40–70 мкм = 25,9	40–70 мкм = 44,9
	20–40 мкм = 24,2	20–40 мкм = 27,3
	10–20 мкм = 7,6	10–20 мкм = 5,2
	0–10 мкм = 4,2	0–10 мкм = 1,3
	Сфалерит	Нерудные минералы
	70–100 мкм = 15,3	100–130 мкм = 12,2
	40–70 мкм = 56,6	70–100 мкм = 18,2
	20–40 мкм = 18,1	40–70 мкм = 45,8
10–20 мкм = 6,2	20–40 мкм = 20,3	
0–10 мкм = 3,8	10–20 мкм = 3,0	
	0–10 мкм = 0,5	



Одностадийные схемы измельчения



Двухстадиальные схемы измельчения



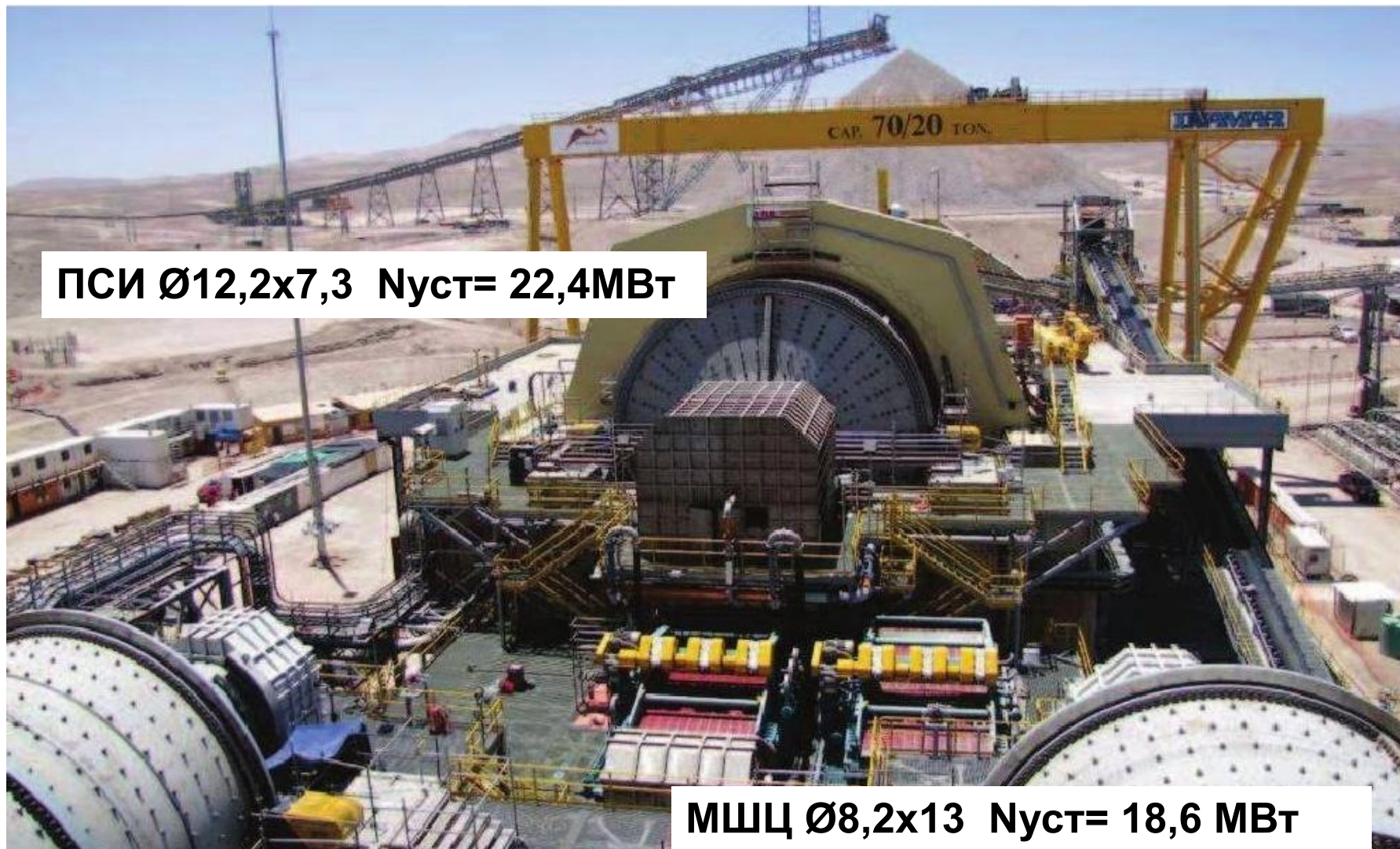
полусамоизмелечения-SABC

Name	Q, Mtpa	МПСИ/МСИ			Шаровые мельницы			Галечные дробилки	
		ØxL	N, MW	Кол-во	ØxL	N, MW	Кол-во	Тип	Кол-во
SINO (СИ)	84	12,2x11,0	28	6	7,9x13,6	16	6	Sandvik	12



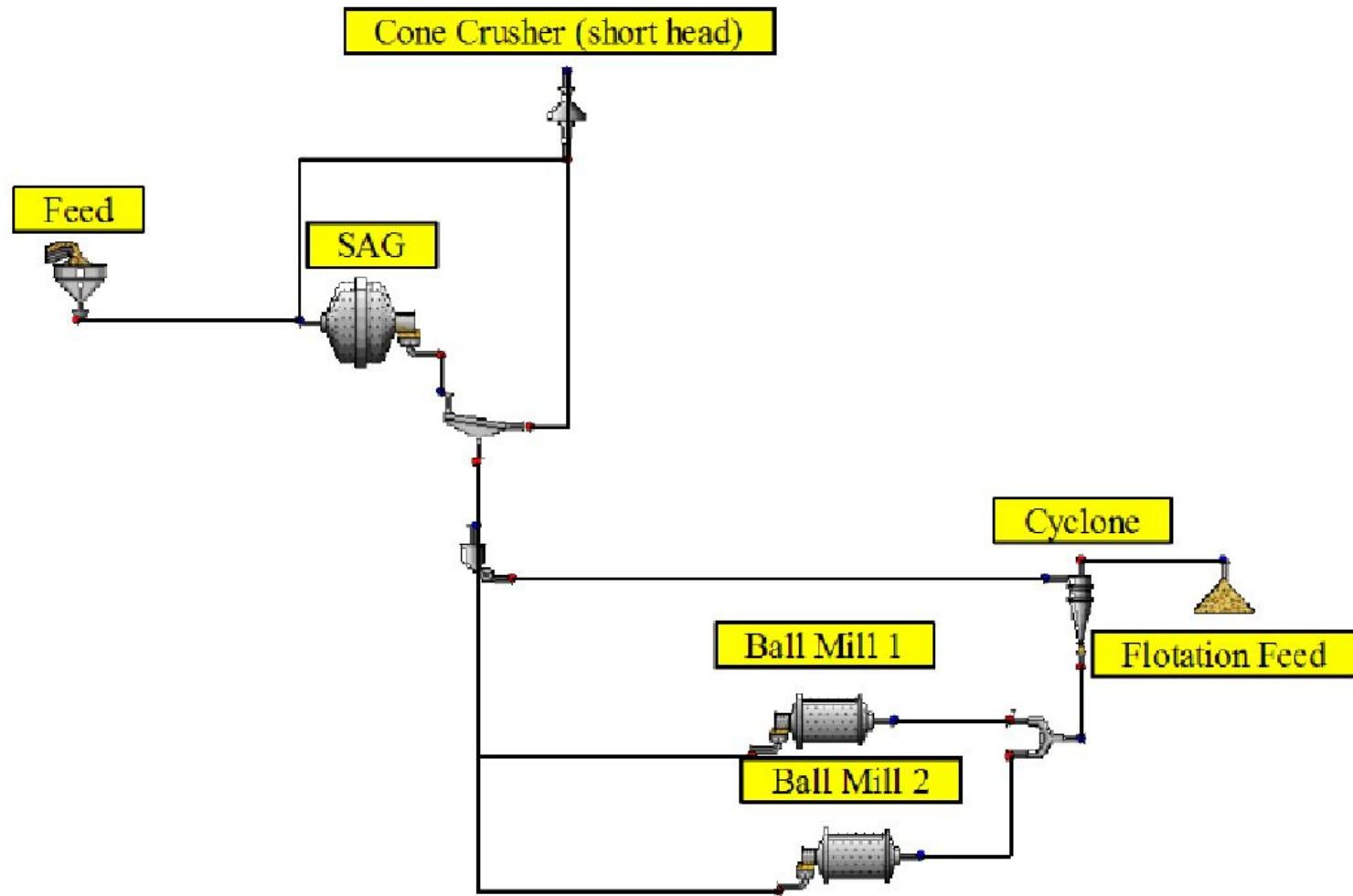


Медная фабрика Esperanza, Чили. Отделение рудоподготовки



ПСИ Ø12,2x7,3 $N_{уст} = 22,4$ МВт

МШЦ Ø8,2x13 $N_{уст} = 18,6$ МВт



Проекты на базе ПСМ (>20 млн. т/год)

№№	Name	Country	Q, Mtpa	Copper, 000's tpy	Year	Ore	Cost, US\$ mn
1	Toromocho	Peru	55	260	2013	Cu-Mo	2200
2	Petaquilla	Panama	44	197	201..	Cu-Mo	1592
3	El Galeno	Peru	32	228	201..	Cu-Mo	853
4	El Morro	Chile	32	184	н.д.	Cu-Mo	853
5	Mount Hope	USA	20	-	201..	Mo	852
6	Rio Blanco	Peru	25	126	201..	Cu-Mo	1440
7	Rosemont	USA	27	117	201..	Cu-Mo	750
8	Mount Milligan	Canada	22	40	201..	Cu-Mo	917
9	Penasquito	Mexico	48	-	2010	Au-Ag-Pb-Zn	1419
10	SINO	Australia	84	27 mn.t conc.	2010-12	Fe	5000
11	Ivanhoe (Oy Tolgoy)	Mongolia	36- 58	440-800	2013-15	Cu-Mo	4617
12	Cumo	USA	16,5 - 66	110 - 440	н.д.	Cu-Mo-Ag	1720-3820
13	Detour	Canada	16,5-25	-	н.д.	Au-Ag	995
14	Mina de Cobre	Panama	55	254-378	2016	Cu-Mo	4320
15	Aitik	Sweden	36	100	2010	Cu-Mo	990
16	ShaftCreek	Canada	36	96	н.д.	Cu-Mo	2950
17	Galore Creek	Canada	22	139	н.д.	Cu-Mo	2228
18	Bozshakol	Kazakhstan	28	76	2014	Cu-Mo	2000
19	Malartic	Canada	20,1	17 т Au	2011	Au-Ag	930
TOTAL							~39000

Проекты на базе ПСИ и СИ. Мельницы и дробилки

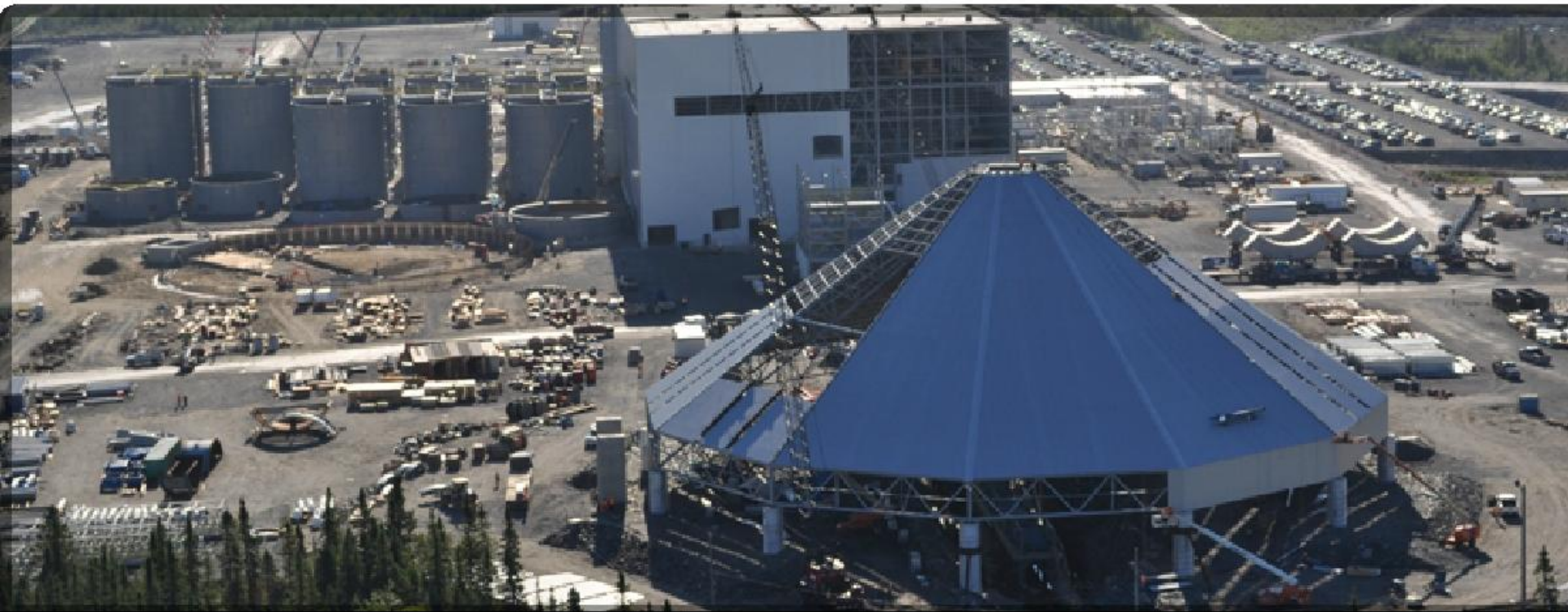
Name	Q, Mtpa	МПСИ/МСИ			Шаровые мельницы			Галечные дробилки	
		ØxL	N, MW	Кол-во	ØxL	N, MW	Кол-во	Тип	Кол-во
SINO (СИ)	84	12,2x11,0	28	6	7,9x13,6	16	6	Sandvik	12
Shaft Creek	36	11,6x6,1	18	2	7,9x12,2	18	4	MP-1000	4
Galore Creek	22	12,2x7,3	21	1	7,9x11,0	14	2	MP-1000	2
Petaquilla	44	11,6x7,6	19	2	7,3x12,3	14	4	MP-1000	4
Toromocho	55	12,2x7,9	28	2	8,5x13,4	22	4	MP-1000	4
Rio Blanco	25	12,2x6,1	20	1	7,9x11,9	10	2	MP-1000	2
Bozchacol	25	12,2x7,6	28	1	8,5x13,6	22	2	MP-1000	1
Mount Milligan	22	12,2x6,7	20	1	7,6x12,2	13	2	MP-1000	2
Esperanza	36	12,2 x 7,3	22,4	1	8,2 x 13,0	18,6	2	RaptorXL 1100	3
Penasquito	48	11,6x6,1	19	2	7,3x11,3	12	4	Sandvik+ RP-24/17	4+2
Aitik (СИ)	36	11,6x13,7	22,5	2	9,15x11,6	2x5,0	2	-	-
Malartic	20	11,6x6,4	20,1	1	7,3x11,1	12,0	3	RaptorXL 2000	1
Conga	N/A	12,8x7,6	28	1	7,9x12,9	16	2	Н.д.	Н.д.

Фабрика Penasquito. Вид на мельницы полусамоизмельчения



т/год.

Вид на строящуюся фабрику



Malartic, Канада, 20 млн.т/год.
Реновация отделения измельчения



ЗИФ Malartic, Канада. Вид на МПСИ



Магнетитовая фабрика SINO, Австралия . Панорама строительства



Монтаж МШЦ $\varnothing 7,9 \times 13,6$ м. Вес 800 т. Высота фундамента 23 м



H = 23 m



Не самая крупная, но
самая высоко
установленная
мельница в мире

Новейшие крупные проекты с ИВВД

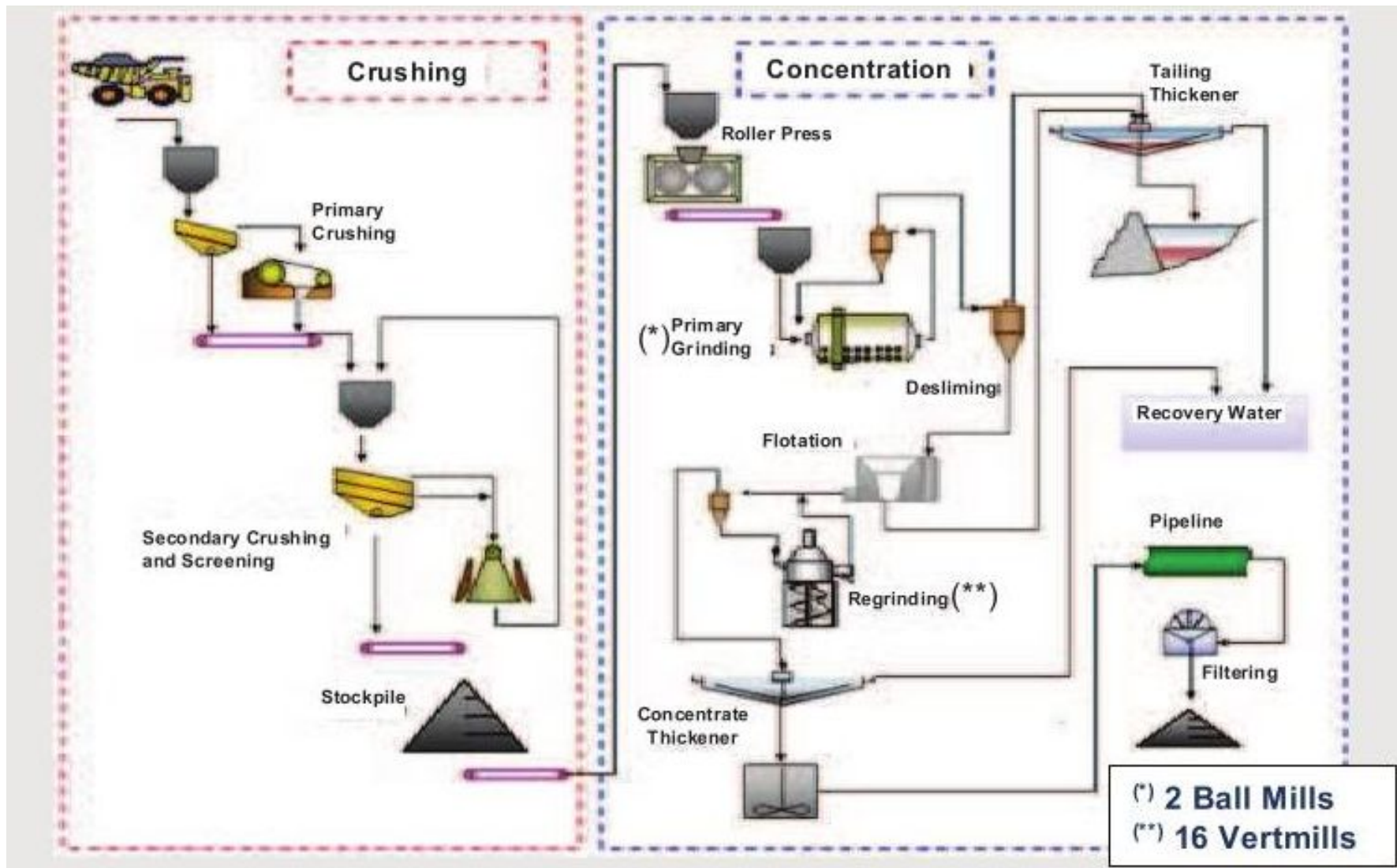
№№	Название	Страна	Q, млн.т/г	Год пуска	Руда	Капвл., US\$ млн.
1	Boddington	Australia	35	2009	Au-Cu	2900
2	Cerro Casale	Chile	58	2013	Au-Cu	4184
3	Seabridge Gold	Canada	43	2016	Au-Cu	3367
4	Spinifex Ridge	Australia	20	2011	Mo-Cu	1071
5	Minas Rio	Brazilia	52-150	2012	Fe	3800
6	Ke Mag	Canada	76	2015	Fe	3783
7	Lab Mag	Canada	52	2016	Fe	2753
8	Roche Bay	Canada	5	Н.д.	Fe	1113
9	Hawsons Iron	Australia	120	Н.д.	Fe	2950
10	Mt Ida Magnetite	Australia	25	Н.д	Fe	1583
11	Snowfield	Canada	44	2018	Cu-Mo-Au	3378
12	Karara	Australia	20	2011	Fe	417
13	Belanovsky	Ukraine	15	Н.д	Fe	N/A
14	Eristovsky	Ukraine	28	2014	Fe	2000
15	Salobo	Brazil	12-24	2011	Cu-Au-Mo-Ag	855
16	Ruby Creek	Canada	7,2	2013	Mo	550
17	Marathon	Canada	8	Н.д	PGM-Cu	386
18	Morrison	Canada	11	2013	Cu-Mo-Au-Ag	517
19	Andina (расшир. II)	Chile	+54,8=90	2018	Cu-Mo	Н.д

TOTAL

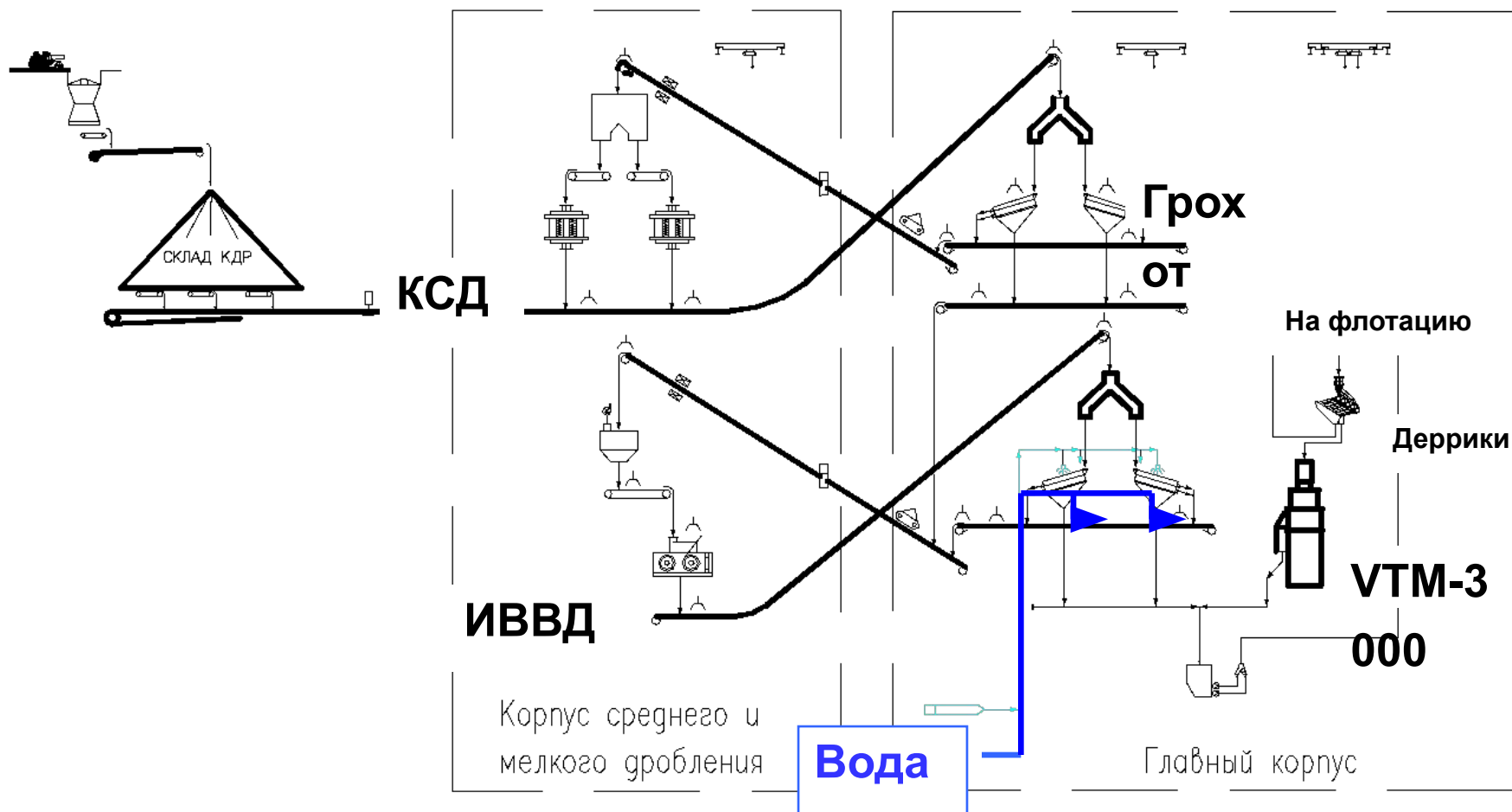
~35600

Новейшие крупные проекты с ИВВД. Дробилки и шаровые мельницы

Название	Q, Mtpa	Дробилки среднего дробления			ИВВД			Шаровые мельницы		
		Тип	N, MW	Кол-во	Тип	N, MW	Кол-во.	ØxL	Кол-во	N, MW
Cerro Verde	40	MP-1000	0,75	4	Polysius 24/17	5	6	7,3x10,7	4	12
Boddington	35	MP-1000	0,75	5	Polysius 24/17	5,6	4	7,9x13,4	4	14,8
Snowfield	22	MP-1000	0,75	4	Polysius 24/17	5,2	2	7,9x12,3	2	15
Ke Mag	76	MP-1000	0,75	8	Polysius 24/17	3,5	9	7,3x10,7	9	14
Lab Mag	56	MP-1000	0,75	6	Polysius 24/17	3,5	6	7,3x10,7	6	14
Minas Rio	52	Н.д.	-	Н.д.	Polysius 24/17	4,8	3	Н.д.	2	Н.д.
Spinifex Ridge	20	MP-1000	0,75	2	Polysius 24/17	5,3	2	7,3x12,5	2	14
Cerro Casale	58	MP-1000	0,75	8	Polysius 24/17	Н.д.	6	7,9x13,4	6	Н.д.
Morrison	11	MP-1000	0,75	1+1	Polysius 24/17	5	1	6,1x10,2	2	6,7
Andina	54,8	MP-1000	0,75	6	KHD 26/20(?)	6,3	6	7,9x11,4	4	15,0
Salobo	12-24	MP-1000	0,75	1	Polysius 20/15	4,0	2	7,9x13,4	2	16,4



Рудоподготовка фабрики будущего Вариант КСД+ИВВД+Вертимилл. Q до 10 млн.т/г



**Прогнозируемая экономия электроэнергии 40-45%
(15% ИВВД+30%VTM), измельчающей среды**

>50%

Особенности технических решений крупных фабрик на базе технологии ИВВД

3 или 4-стадии дробления до крупности $P_{80}=5-1 \text{ mm}$

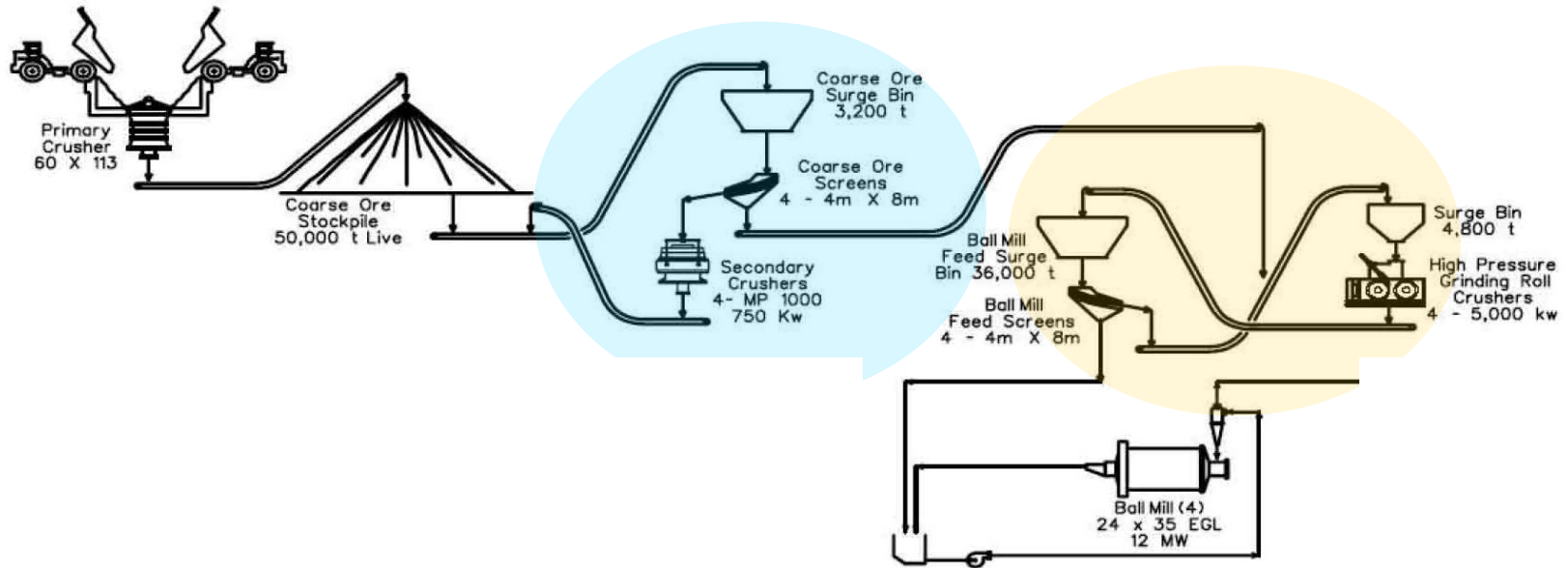
Замкнутый (как правило) цикл среднего дробления для получения калиброванного питания ИВВД

Отсутствие операций дезинтеграции разгрузки ИВВД, который способен саморазрушаться при прохождении узлов конвейерных перегрузок и при грохочении.

Мокрое грохочение в замкнутом цикле перед шаровыми мельницами

Однопоточная транспортная система продуктов высокоскоростными ленточными конвейерами

Сu-Мо фабрика Cerro Verde. Перу. Схема цепи аппаратов рудоподготовки



ОИФ Воддингтон
Только благодаря технологии ИВВД,
позволившей оптимизировать

рудоподготовку, проект
cost or possibly not been developed yet

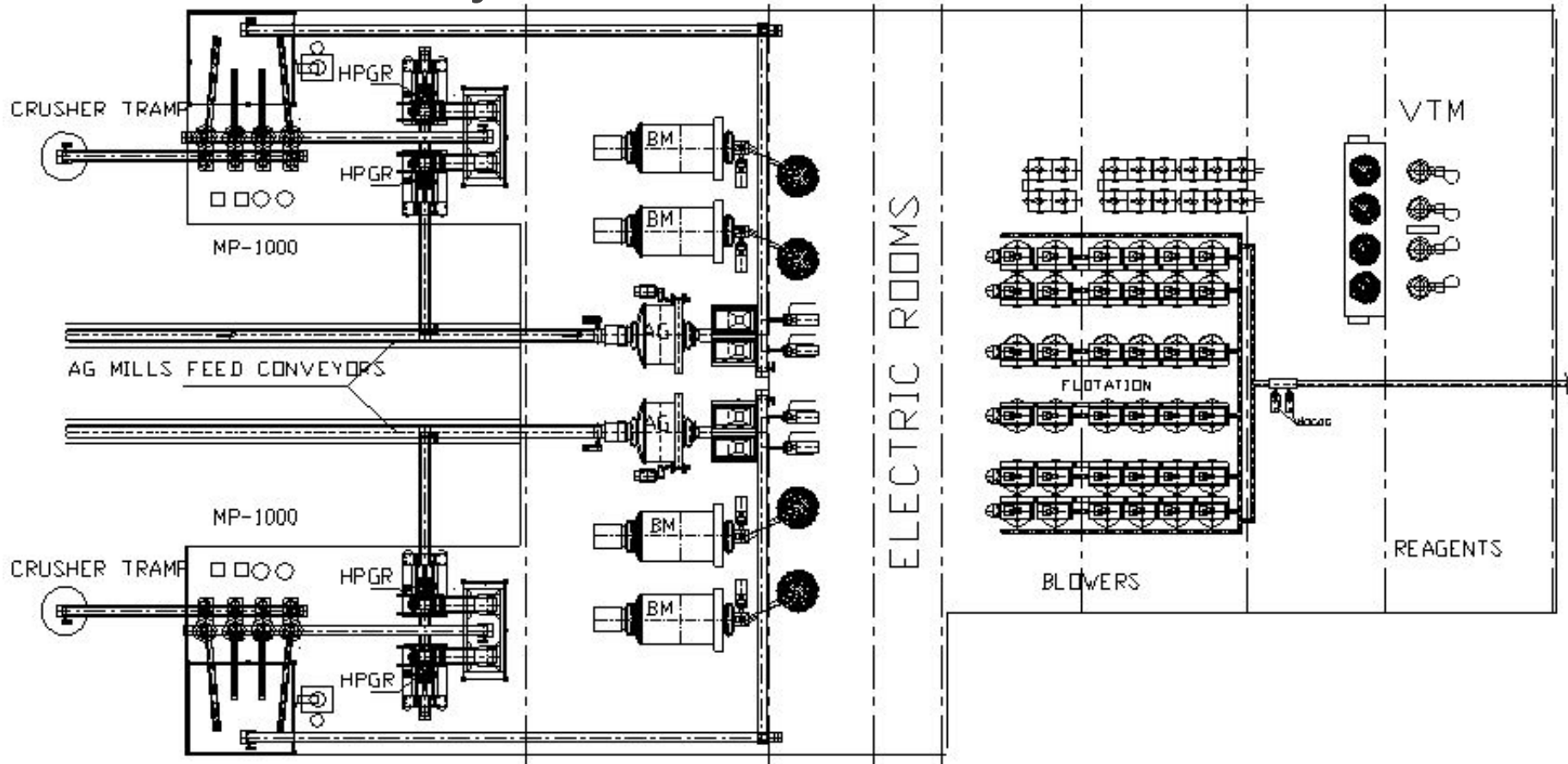
Voddington был реализован



96.000 tpd plant
4 x POLYCOM 24/17
2 x 2,800 kW (each)
> 2.100 tph
(design each)
up to 3,000 tph
start-up in 2009

Компоновка фабрики с ИВВД для переработки глинистых руд

Q=180000 т/сутки



Производительность 2-5 млн т руды/год

Крупное дробление

Среднее в открытом цикле, мелкое дробление

Стержневая мельница в открытом цикле

Производительность более 20 млн т руды/год

Крупное дробление

ПСИ (СИ)

МШЦ

Крупное дробление

Среднее дробление

Мелкое дробление

Роллер-пресс

МШЦ

Классификация песков по промывистости

Степень промывистости	Выход шламов, <0,1мм, %	Продолжительность промывки, мин	Эффективность грохочения по кл. 4 мм, %	Число пластиности	Отношение количества глины к пескам	Молекулярная влажность, %	Время размыва в корытной мойке, мин	Коэффициент промывистости
Легкообогатимые	10	50	80	2 - 3	1:50	7	-	1
Среднеобогатимые	10 – 15	70 - 80	70 - 75	2 - 7	1:20-40	7 - 15	1 – 1,5	1 – 1,5
Труднообогатимые	15 - 20	120	50 - 60	7 - 15	1:8-10	15 - 20	4,0	1,5
Весьма труднообогатимые	>30	-	40	>15	1:2-4	25	6,0	-

Горизонтальная промывочная машина: 1 – вал; 2 – бичевое отделение; 3 - колесные элеваторы с перфорированными ковшами; 4 – ковшевое отделение

