

ОСНОВЫ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Лекция 3

Процессы и аппараты
обогащения

Гравитация

Определение гравитационного процесса обогащения

- Гравитация - процесс разделения минеральных зерен, отличающихся плотностью, размером или формой, отражающееся в различиях в характере и скорости их движения в среде под действием силы тяжести и сил сопротивления среды разделения.

Область применения

гравитации

- Россыпные месторождения редких и благородных металлов
- Коренные руды благородных металлов
- Гематитовые, марганцевые, хромовые руды и россыпи – оксидные минералы черных металлов
- Россыпи и кимберлиты алмазов
- Удаление неорганических примесей (снижение зольности) углей
- Фосфориты, асбест, другое неметаллорудное сырье

Физические основы

Гравитационного обогащения

Физические свойства минералов

- Плотность
 - Различие в плотностях тяжелого и легкого минерала и среды разделения – контрастность свойств

$$K = \frac{\rho_m - \rho_c}{\rho_l - \rho_c}$$

1,75 < K < 2,5 обогащение эффективно

1,5 ≤ K ≤ 1,75 эффективно для зерен крупностью от 0,1 мм

K < 1,5 обогащение затруднено

Размер минеральных выделений

- -20 (-100) +0,1 мм (50 мкм Au+Pt)
 - Крупнозернистый материал
 - Мелкозернистый материал
 - Тонкозернистый материал

Форма частиц, среда разделения, режим сопротивления среды – ламинарный (силы вязкости (трения)), турбулентный (силы инерции)

Среда разделения

- Вода 1000 кг/м^3 или 1 г/см^3 , или 1 т/м^3
- Воздух $1,23 \text{ кг/м}^3$
- Суспензия $2700 - 3500 \text{ кг/м}^3$ (ферросилиций ($6800 - 7200 \text{ кг/м}^3$); магнетит ($4900-5200 \text{ кг/м}^3$))
- Тяжелая жидкость
 - ZnCl_2 2500 кг/м^3 ,
 - CaCl_2 2500 кг/м^3 ,
 - жидкость Туле ($\text{HgI}_2 \cdot 2\text{KI}$) 3190 кг/м^3 ,
 - жидкость “Клерици” (равные доли формиата таллия HCOOTl и малоната таллия $\text{tl}_2[\text{OOCCH}_2\text{COO}]$) 4250 кг/м^3

Характеристика среды

- Вязкость - сопротивление относительно движению элементарных слоев жидкости
- Устойчивость – способность суспензии сохранять плотность по высоте слоя

Сегрегация

- Процесс одновременного разделения минеральной суспензии по крупности и плотности

Условия движения минеральных зерен

- Свободные – падение одиночного тела в безграничной среде
- Стесненные – размеры тела соизмеримы с размерами сосуда, или в нем находятся тела на довольно близком расстоянии

Скорость движения частицы

$$u_0 = \varphi u_{шара}$$

Свободное падение

$$F_a = -V\rho_{H_2O}g \quad F_c = \zeta S \frac{\rho_{H_2O} u_0^2}{2}$$

$$F_{гр} = F_T - F_a$$

$$F_T = V\rho_T g$$

$$F_{гр} = F_c$$

| Материал | Значение |
|-------------------|----------|
| Песок | 0,5 |
| Кварц | 0,65 |
| Уголь | 0,44 |
| Графитовая крошка | 0,045 |
| Слюда | 0,0056 |
| Гипс | 0,25 |

Стесненные условия

$$u_{ст} = u_0 \cdot m^\lambda$$

λ — коэффициент, зависящий от размера, плотности, формы частицы, а также от соотношения размеров частицы и аппарата ($\lambda=3$)

$$m = 1 - \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_0}{\rho}$$

ε — объемная доля дисперсной фазы

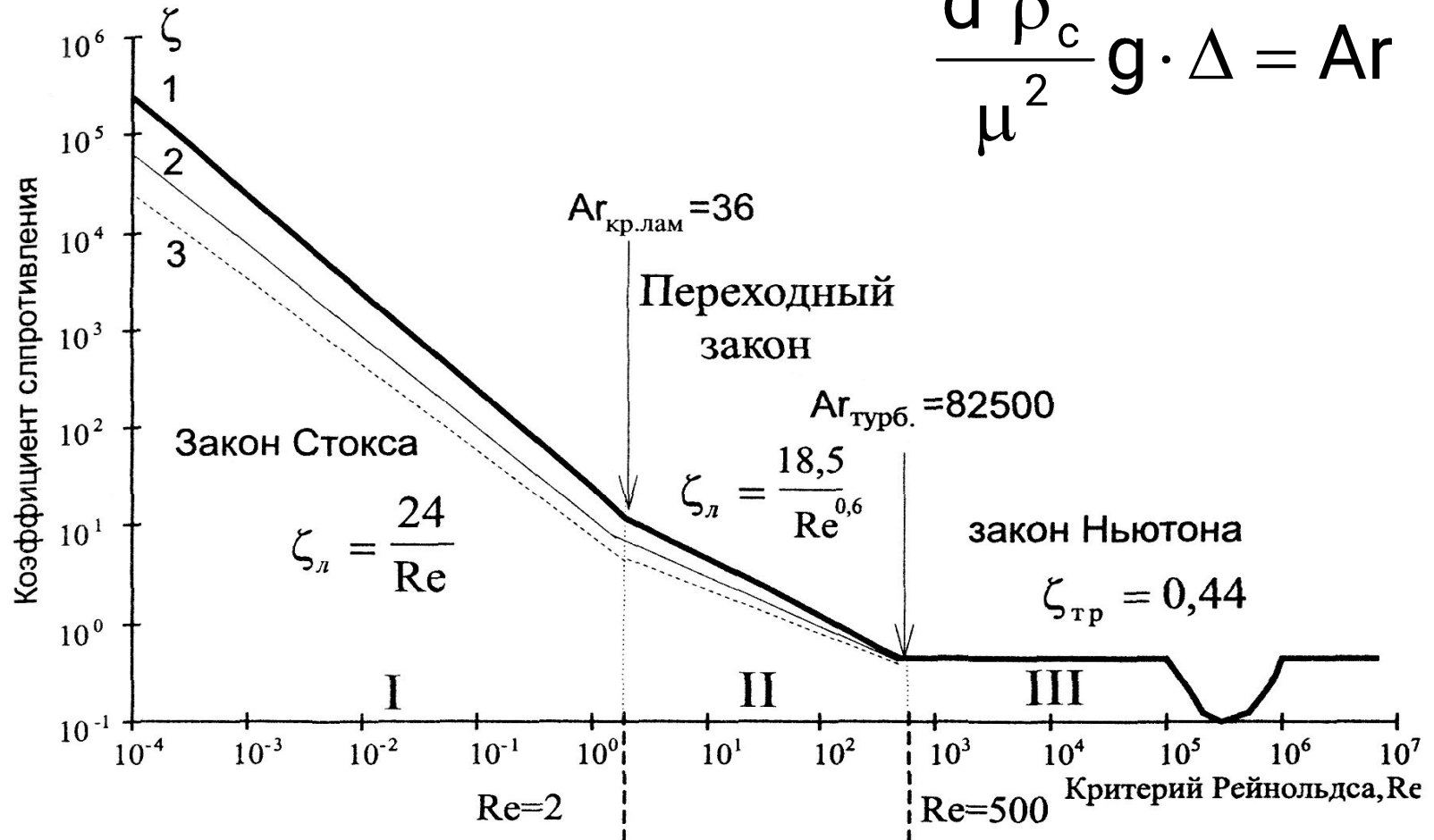
$$\frac{\pi d^3}{6} \cdot (\rho_ч - \rho_{жс}) = 3\pi\mu u_0 d,$$

$$u_0 = \frac{d^2 g (\rho_ч - \rho_{жс})}{18\mu}$$

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

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

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



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

Равнопадаемость зерен

$$K_p = \frac{d_l}{d_m} = \frac{\rho_m - \rho_c}{\rho_l - \rho_c}$$

Тяжелые зерна - галенит

Легкие зерна - кварц

Коэффициент равнопадаемости – это отношение диаметра легкого зерна к диаметру тяжелого зерна, при котором оно обладают одинаковыми свойствами в условиях свободного падения

$$K_p = \frac{d_l}{d_m} = \frac{\rho_m - 1}{\rho_l - 1}$$

Так зерна кварца крупностью 4 мм и плотностью 2650 кг/м³ имеют такую же скорость движения, что и частицы галенита крупностью 1 мм и плотностью 7500 кг/м³ при движении в неподвижной жидкости или в восходящем потоке.

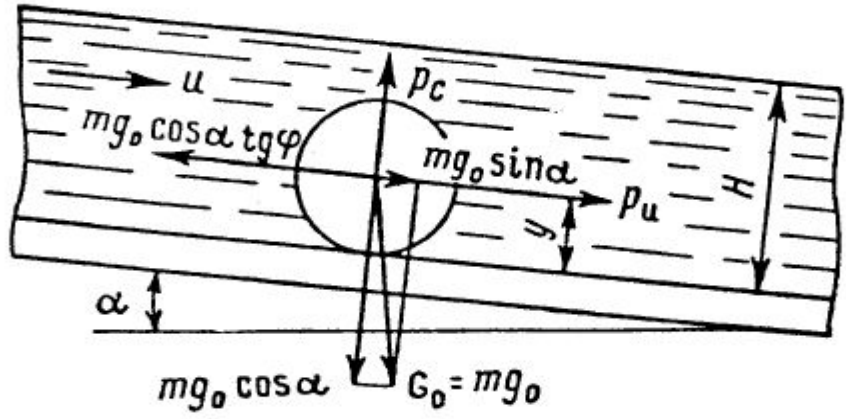
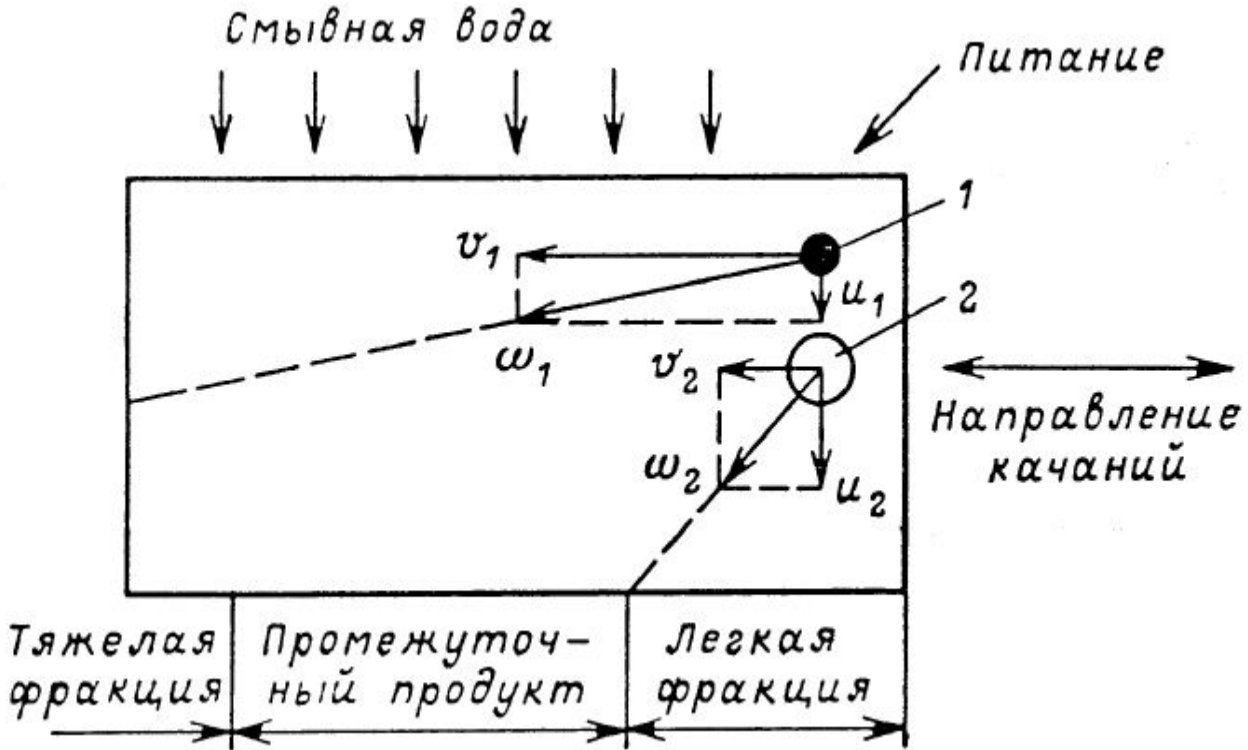
Для смеси кварц и галенита крупностью – -80 +0,1 мм с целью повышения эффективности разделения его классифицируют на классы: -80 +20; -20 +5; -5 +1,25; -1,25 +0,31 и т.д.

Классификация

гравитационных процессов

- Разделение в тонком наклонном потоке воды
 - Концентрационный стол
 - Шлюз
 - Струйные концентраторы (желоба)
 - Конусные сепараторы
- Разделение в тонком криволинейном потоке воды
 - Винтовые сепараторы
 - Винтовой шлюз
- Разделение по конечным скоростям падения в стесненных условиях
 - Отсадка
- Разделение под действием центробежных сил
 - Короткоконусные гидроциклоны
 - Центробежные сепараторы

Крупность материала, обогащаемого на столах $-3 +0,04$ мм



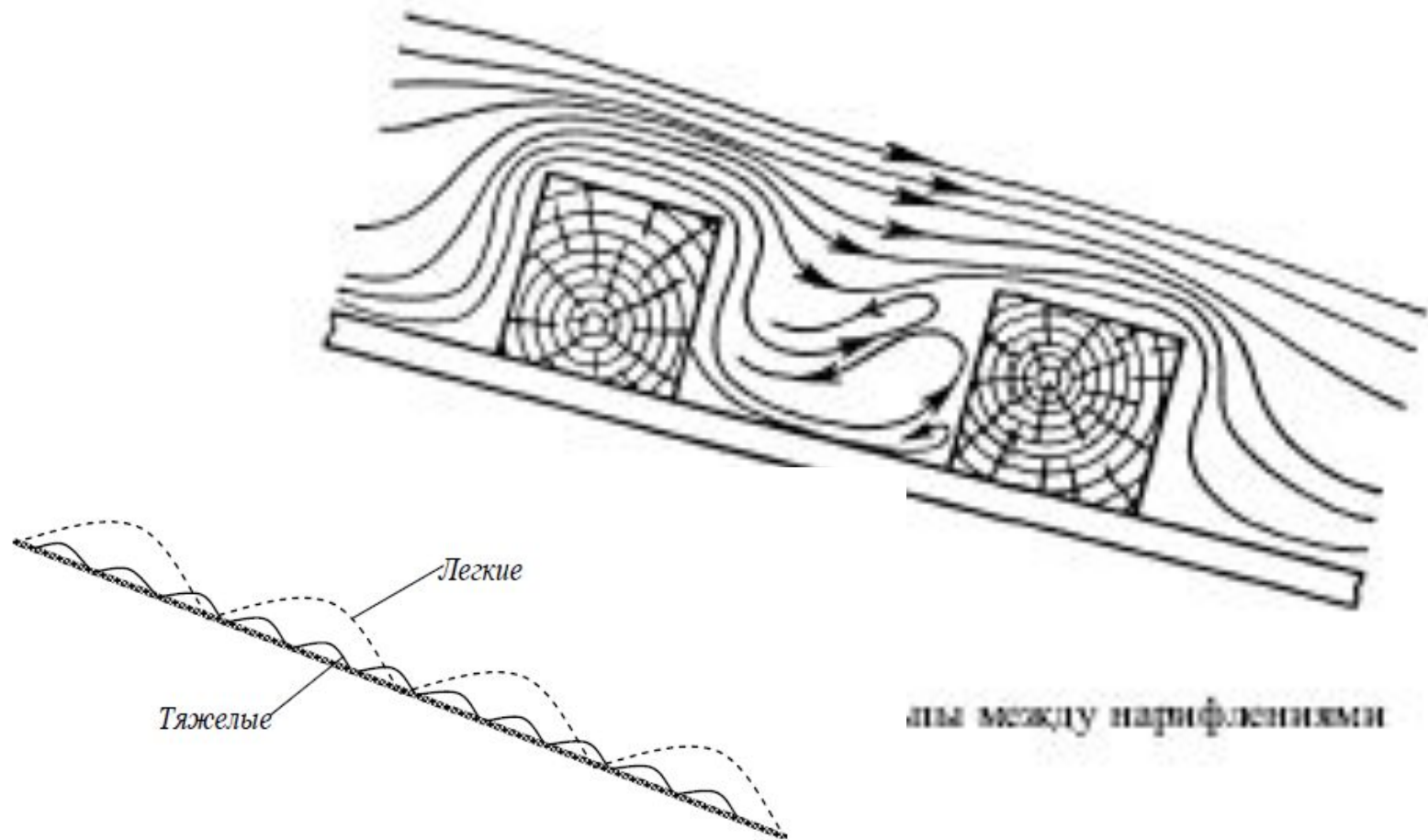
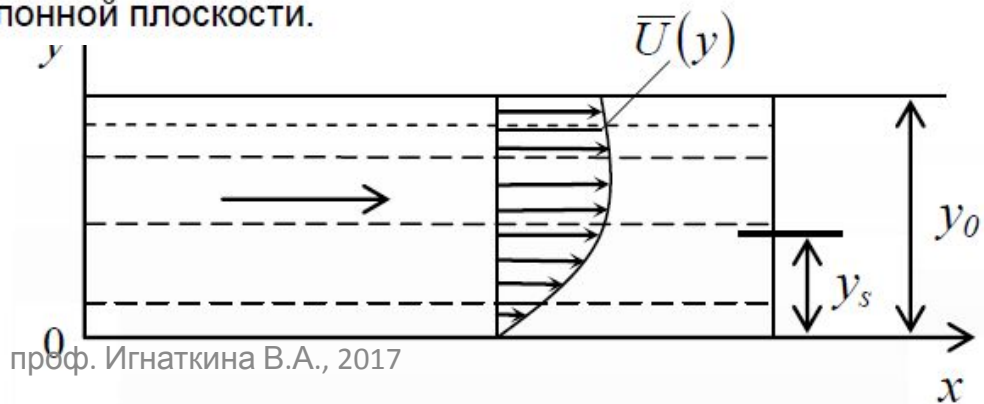
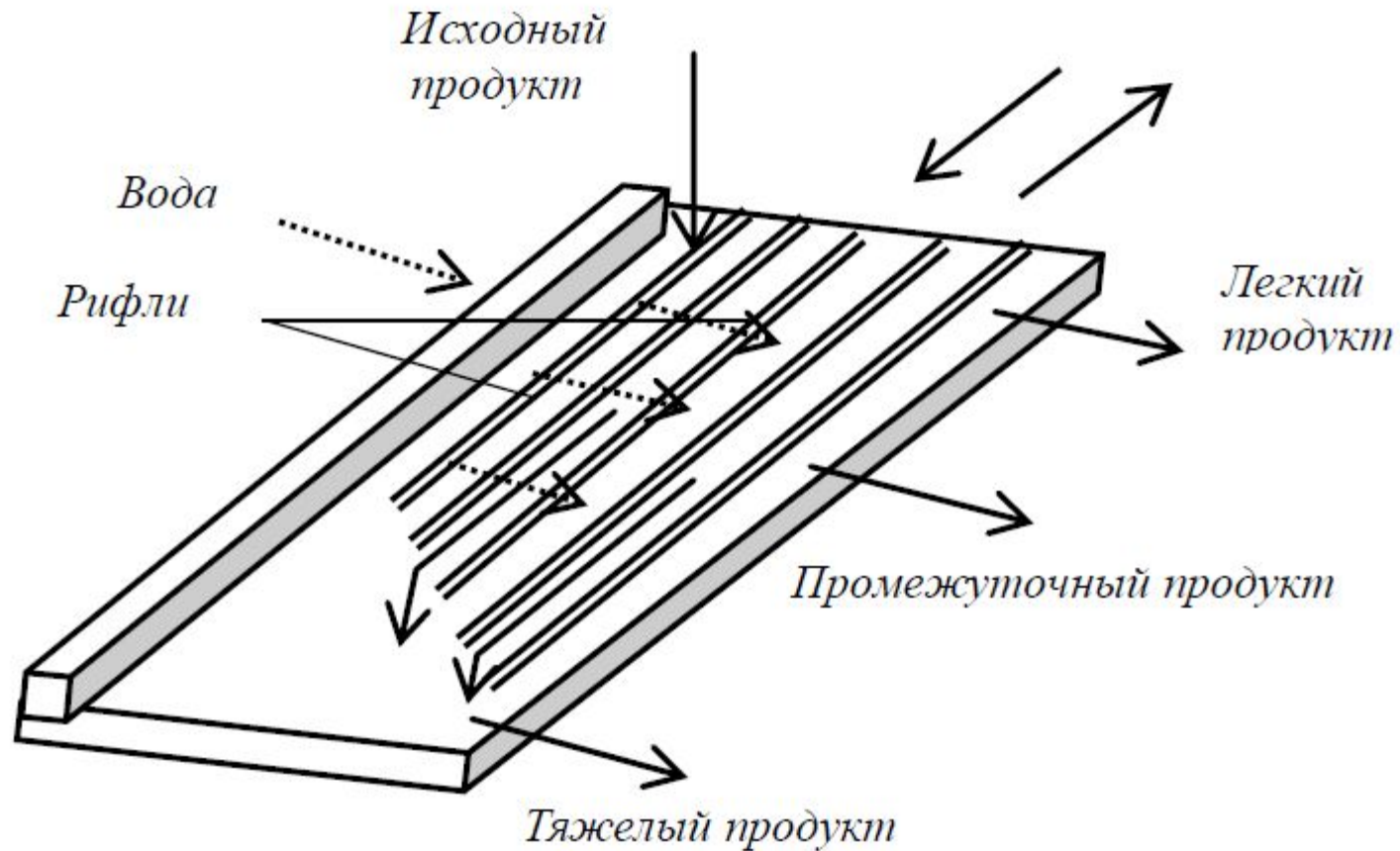


Рис.6.18. Траектории движения частиц различной плотности в потоке воды на наклонной плоскости.



(медленно вперед и быстро назад)



Угол наклона деки,
Амплитуда, число колебаний деки

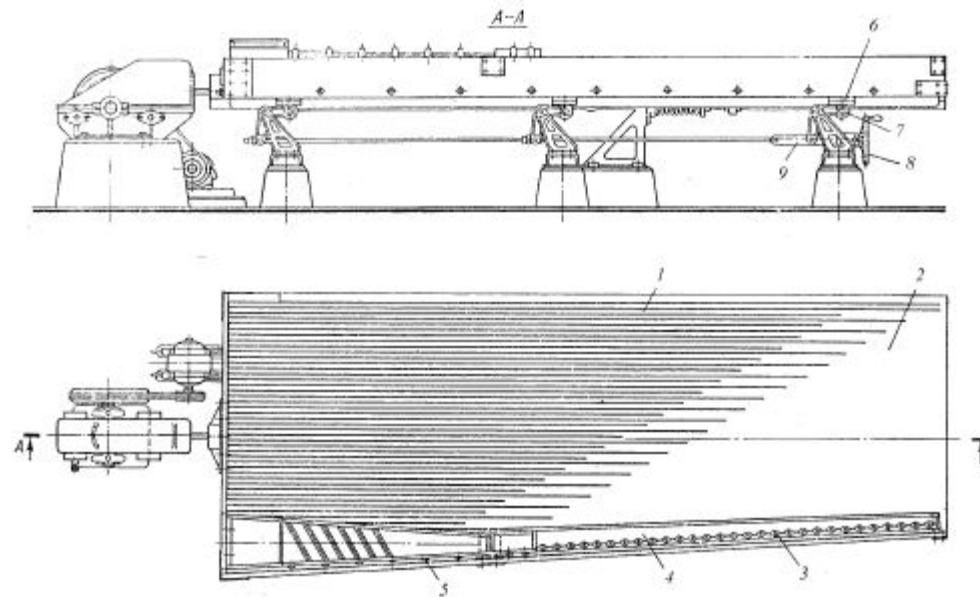


Рис. 6.8. Концентрационный стол СКМ-1
1 –рифли; 2 – дека; 3 – лоток для приема питания и смывной воды;
4 – загрузочный лоток; 5 – отверстия; 6 – опорная пластина;
7 – роликовая опора; 8 маховик; 9 – винт

Длина хода деки

$$l = 18^4 \sqrt{d_{\max}}, \text{ мм,}$$

Число колебаний в минуту

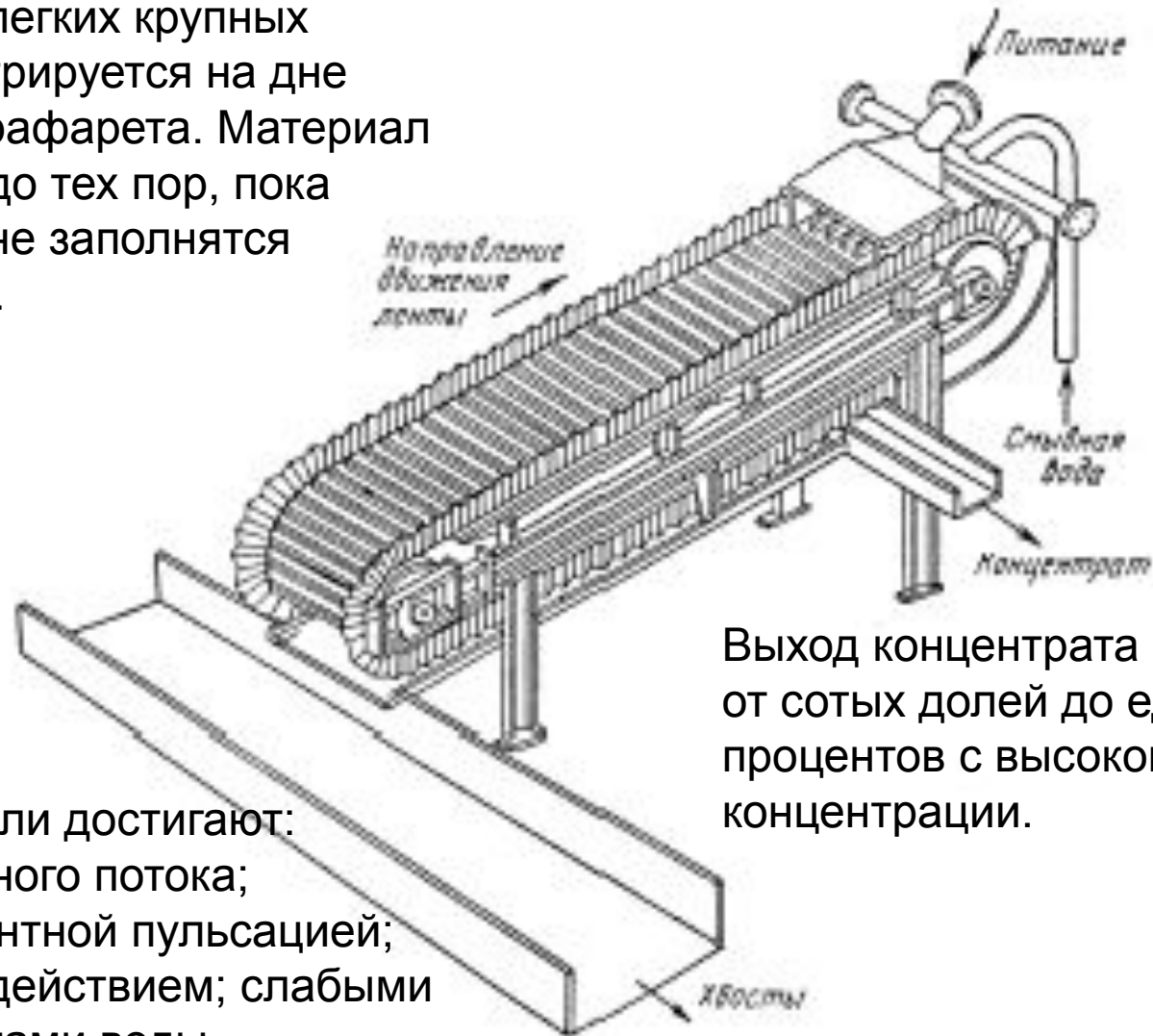
$$n = 250 / \sqrt[5]{d_{\max}}.$$



Концентрационный стол Джемени

При движении пульпы в наклонном потоке материал расслаивается по плотности и крупности. Тяжелые минералы и часть легких крупных минералов концентрируется на дне шлюза в ячейках трафарета. Материал на шлюз подается до тех пор, пока ячейки трафарета не заполнятся тяжелыми зернами.

Цикл обогащения
Цикл снятия концентрата - сполоск



Разрыхление постели достигают:
созданием скоростного потока;
придонной турбулентной пульсацией;
вибрационным воздействием; слабыми восходящими потоками воды.

Выход концентрата составляет от сотых долей до единиц процентов с высокой степенью концентрации.

$H = 0,4-1,5 \text{ м}$

$L = 20-30 \text{ м}$

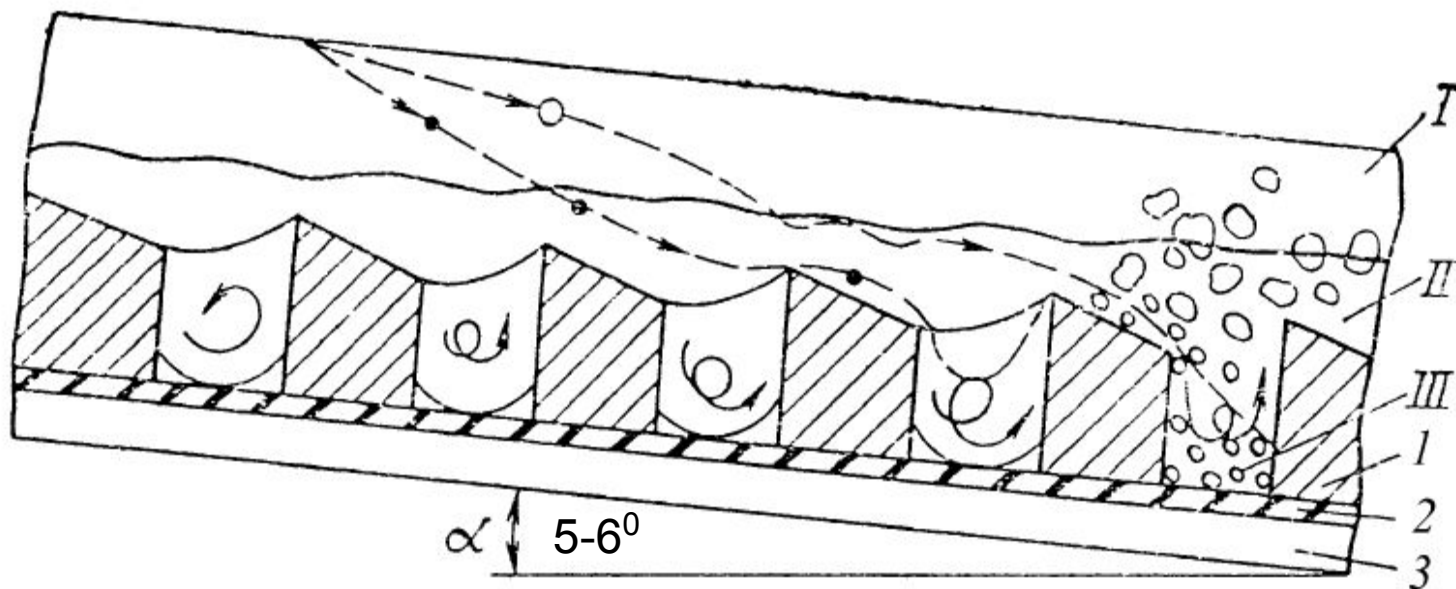


Рис. 6.10. 6.10 Схема разделения зерен на концентрационном шлюзе
I – слой взвешенных зерен; II – слой первичной концентрации;
III – слой окончательной концентрации; 1 – трафарет; 2 – мат; 3 – дно

- Верхний предел крупности материала на шлюз от (100 – 300) до 500 мм.
- В связи с этим перед обогащением на шлюзах необходимо предварительное грохочение по крупности:
 - 100(-200) +16 мм – для шлюзов глубокого наполнения со скоростными потоками до 3 м/с
 - 16(-20; -30) +0 мм для шлюзов малого наполнения со скоростными потоками до 1 – 1,5 м/с.
- Шлюзы работают при плотности Ж : Т = от (5 – 6) до (20 - 40) : 1.

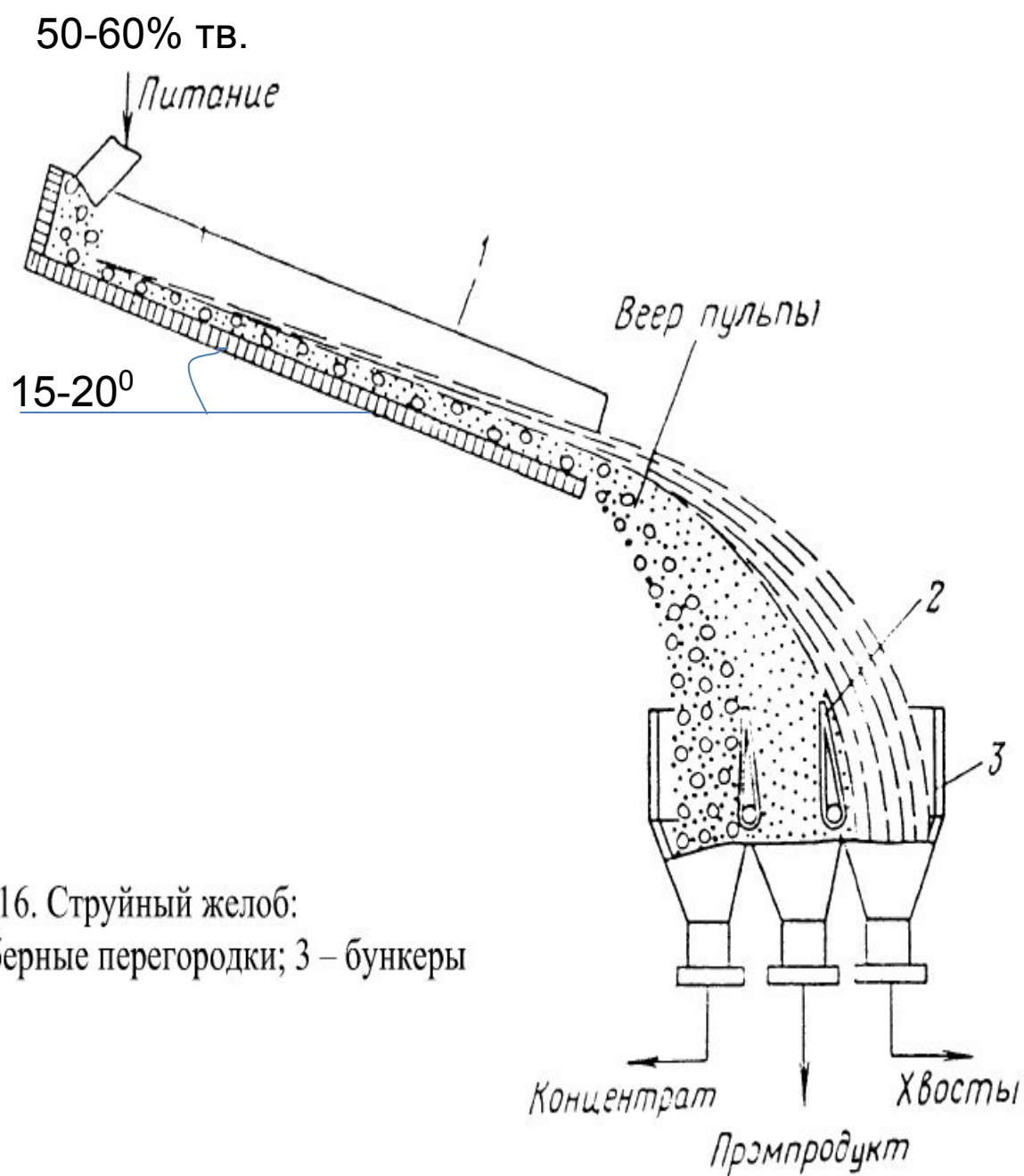
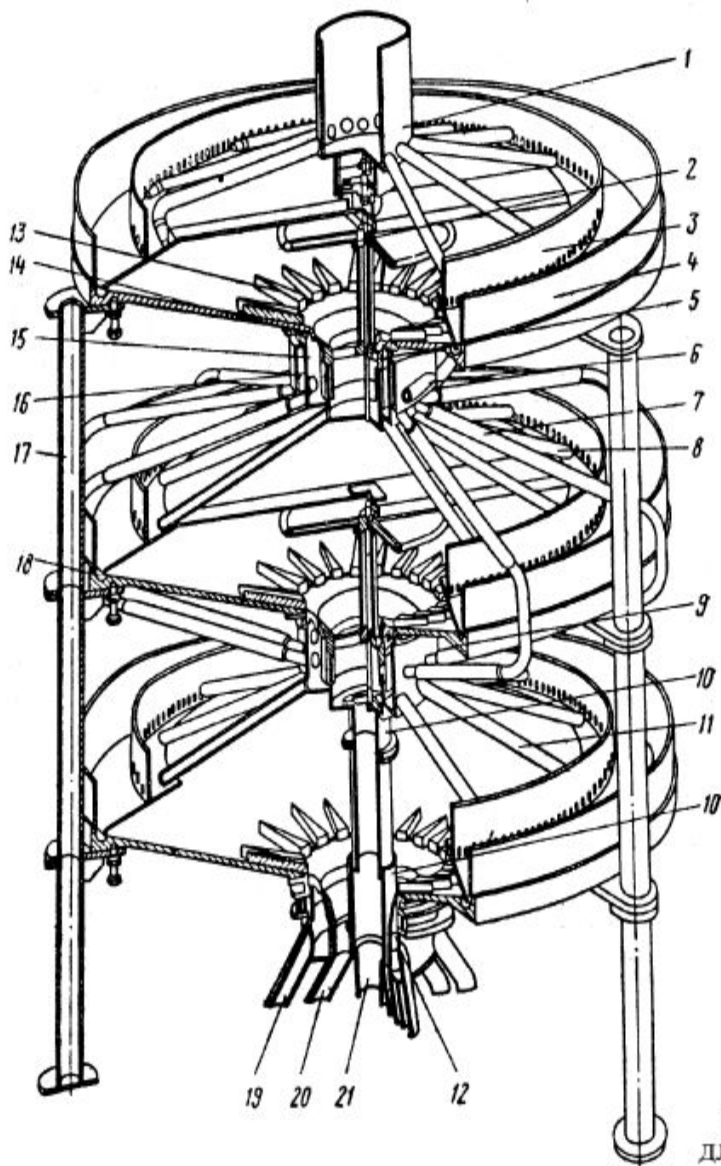


Рис. 6.16. Струйный желоб:

1 – желоб; 2 – шибберные перегородки; 3 – бункеры



D = 2200-5600 мм

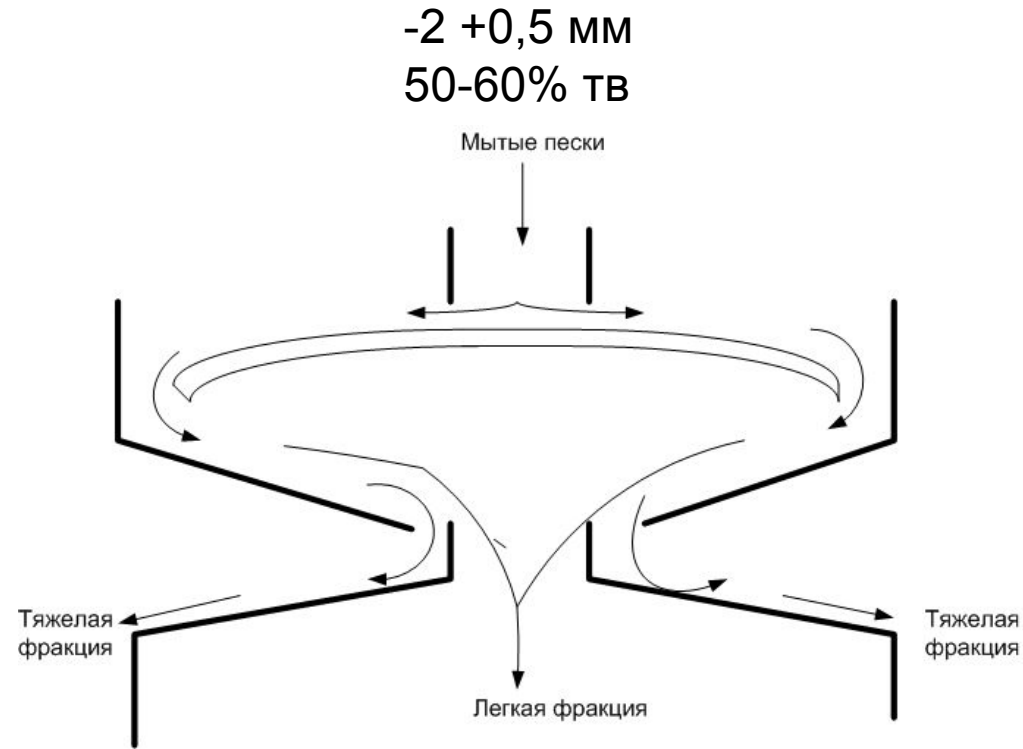
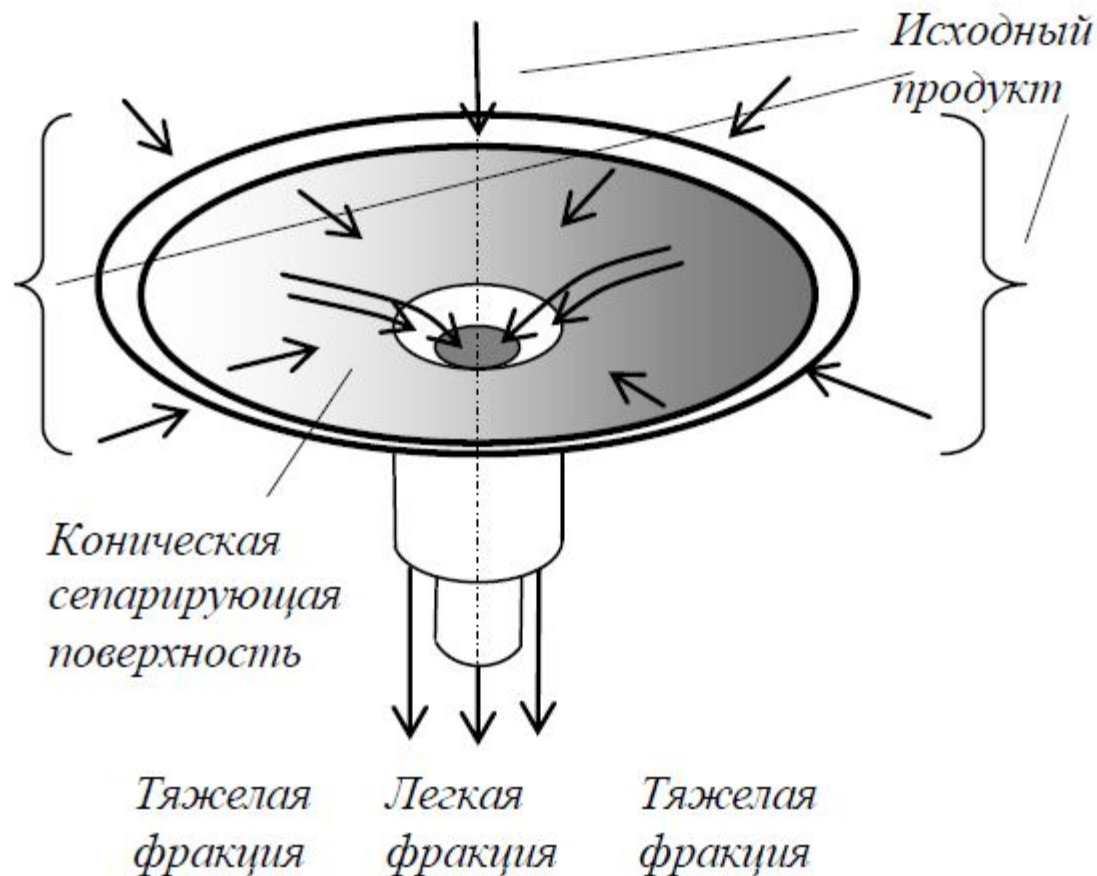
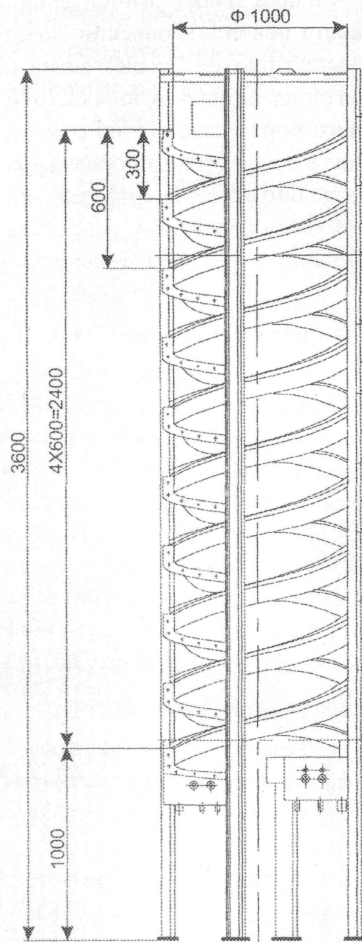
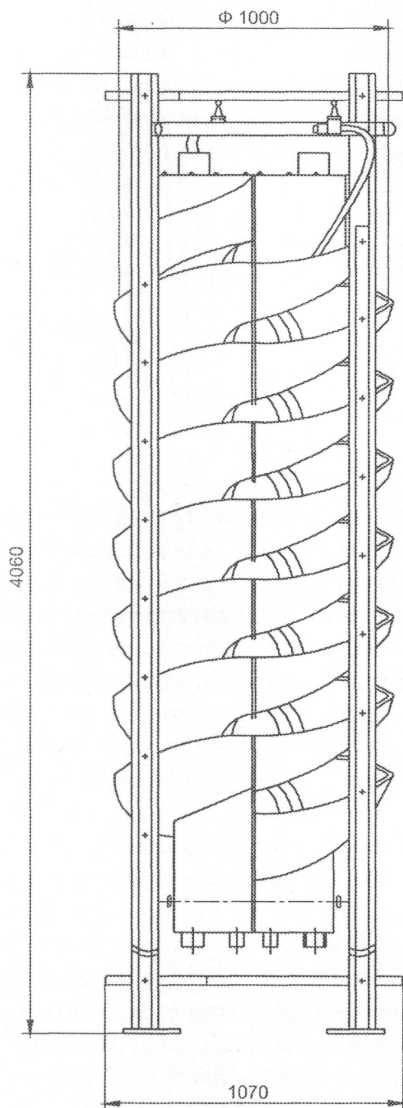


Рис. 6.17. Трехярусный конусный сепаратор
 1 – загрузочное устройство; 2 – механизм для регулирования положения отсекателей; 3 – стабилизирующая перегородка; 4 – кожух; 5 – отсекатели; 6 – подвод свежей воды; 7 – трубы для подачи концентрата с конуса верхнего яруса на нижний; 8 – трубы для питания конуса среднего яруса; 9 – рабочий конус; 10 – трубы для вывода хвостов; 11 – трубы для питания конуса нижнего яруса; 12 – коллектор нижнего яруса; 13 – клинья; 14 – отклоняющее кольцо; 15 – щели для распределения воды; 16 – камера для подачи воды в концентрат верхнего и среднего яруса; 17 – опоры; 18 – коллектор среднего яруса; 19 – трубы для сбора концентрата; 20 – трубы для промпродукта; 21 – трубы для хвостов



Такое устройство имеют концентратор Кеннона, сепаратор Райхерта, сепаратор ВДГМК. Принципиальным отличием последнего является замена радиальных перегородок радиально расположенными клиньями.



$$M = \frac{\rho_{исх} - \rho_{лег}}{\rho_{лег} - 1}$$

Если $M > 1$ разделение эффективное,
 $M \approx 1$ разделение возможно,
 $M < 0,75$ разделение не возможно;

Для винтовой сепарации характерно:
 максимальная крупность минеральных зерен 6 - 12 мм, минимальная 0,1 - 0,074 мм;

благоприятная форма частиц:
 вытянутая, слегка уплощенная, но не круглая;

плотность пульпы 15 – 40 % твердого;
 расход сливной воды на каждый виток

около 0,6 л/с;

желательно предварительное
 обесшламливание.

Общий вид винтовых приборов: а –
 винтовой сепаратор СВ2-1000; б –
 винтовой шлюз ШВ2-1000

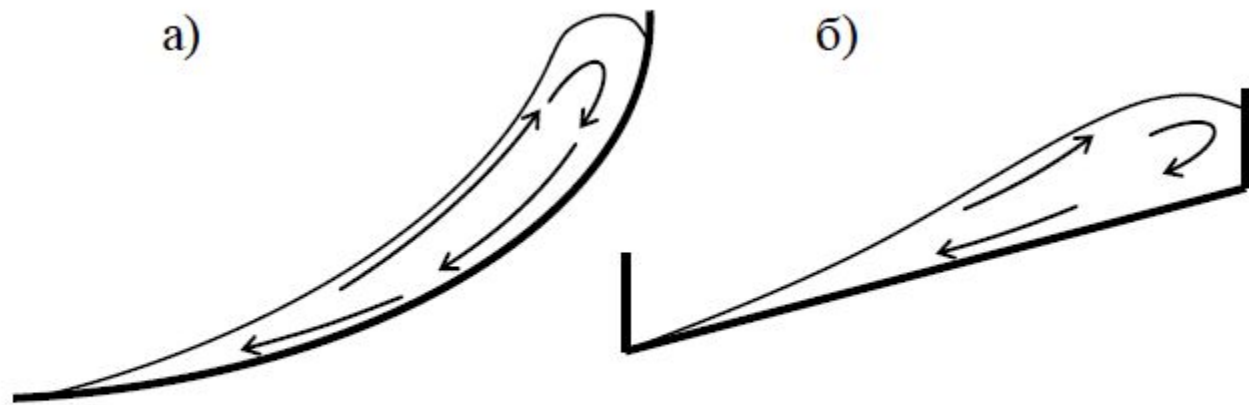


Рис.6.19. Поперечные сечения: а) винтового сепаратора; б) винтового шлюза.

$$w_p = \omega^2 r = v_\tau^2 / r$$

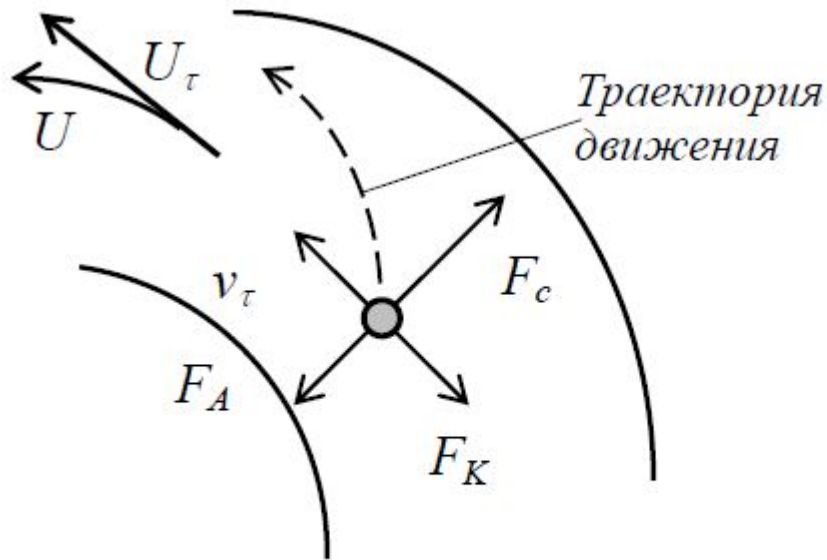


Рис. 4.12. Движение в криволинейном потоке

$$F_C - F_A = \frac{\pi d^3}{6r} \left(\delta v_\tau^2 - \Delta U_\tau^2 \right).$$

Инерционная сила

$$F_A = \frac{\pi d^3}{6} \Delta \frac{U_\tau^2}{r};$$

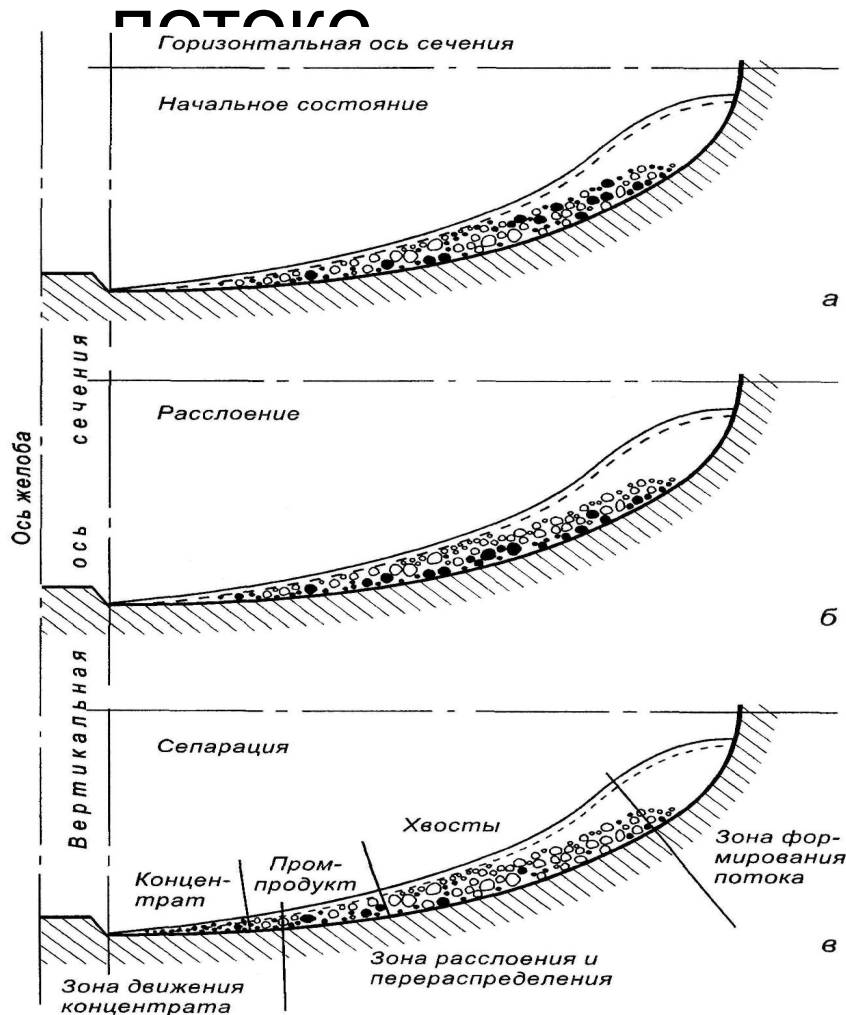
Центробежная сила

$$F_C = m w_p = \frac{\pi d^3}{6} \delta \frac{v_\tau^2}{r};$$

Сила Кориолиса

$$F_K = m w_K = \frac{\pi d^3}{3} \delta \frac{v_\tau v_r}{r}.$$

Схема разделения в криволинейном



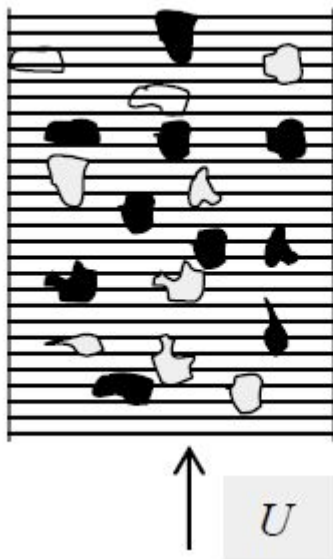
В отличие от поведения зерен в тонких наклонных потоках в винтовом желобе зерна имеют криволинейную траекторию, перемещаясь относительно друг друга не только вдоль желоба, но и в поперечном направлении. В итоге легкие зерна, имеющие большую скорость перемещения по потоку и в большей мере подвержены центробежной силе сконцентрируются у внешнего борта, тяжелые зерна, на которые в большей степени действуют гравитационная сила, сила инерции концентрируются у центра желоба, образуя таким образом веер продуктов на желобе.

Расслаивание зернистого материала на винтовом желобе: а – начальное состояние (I этап); б – процесс расслоения (II этап); в – сепарация (установившееся движение) и

Отсадка

- На отсадку может поступать материал крупностью от 0,25 (0,5) до 150(250) мм в зависимости от типа обогащаемого сырья.
- Чаще отсадка применима для крупно- и средне зернистого материала, когда не требуется тонкого измельчения и, когда разделяемые минеральные компоненты значительно отличаются по плотности.
- Для россыпей редкометальных и золотосодержащих пределы крупности обогащаемых материалов 25 – 0,05 мм, а плотность основного минерала 6000 – 8000 кг/м³.
- Для коренных руд крупность обогащаемого материала на отсадочных машинах 6 – 0,3 мм и плотность 6950 – 7350 кг/м³. Плотность золота 18000 - 20000 кг/м³.

a)



б)



Плотность постели больше плотности легкого минерала и меньше плотности тяжелого. Зерна постели в 2-2,5 раза больше самого крупного зерна разделяемой смеси и в 3-4 раза больше размера отверстия решета.

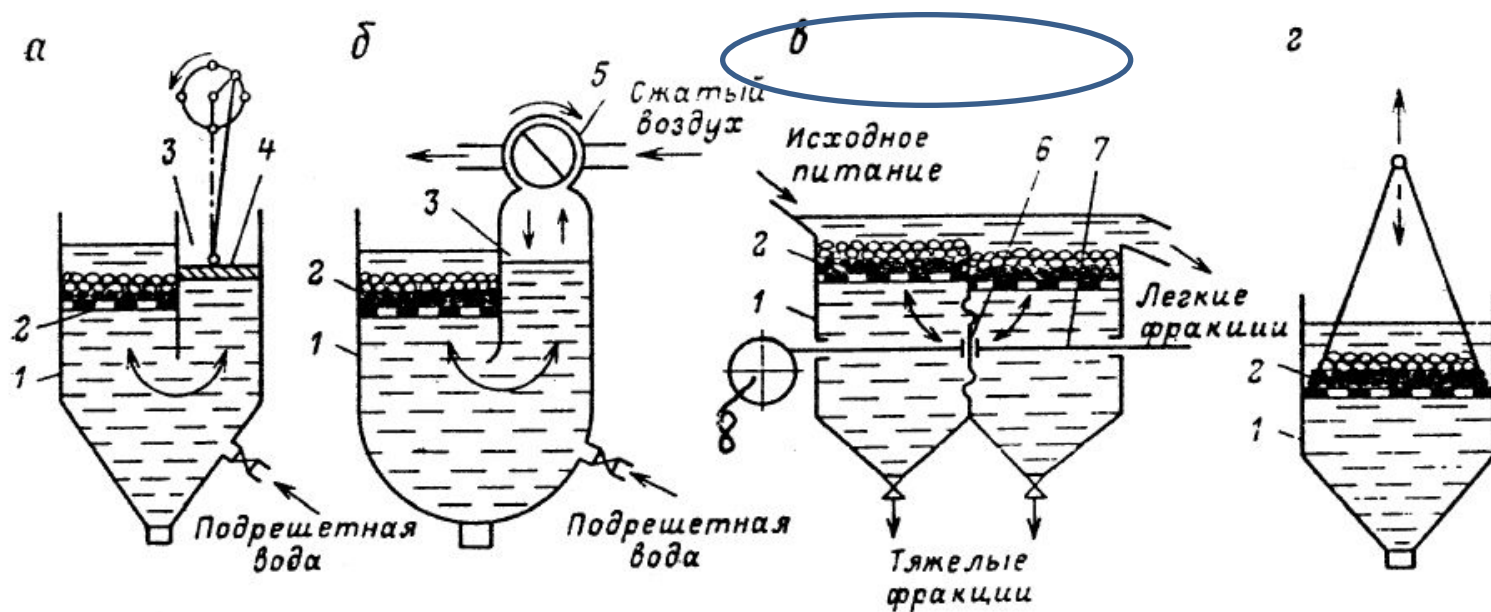
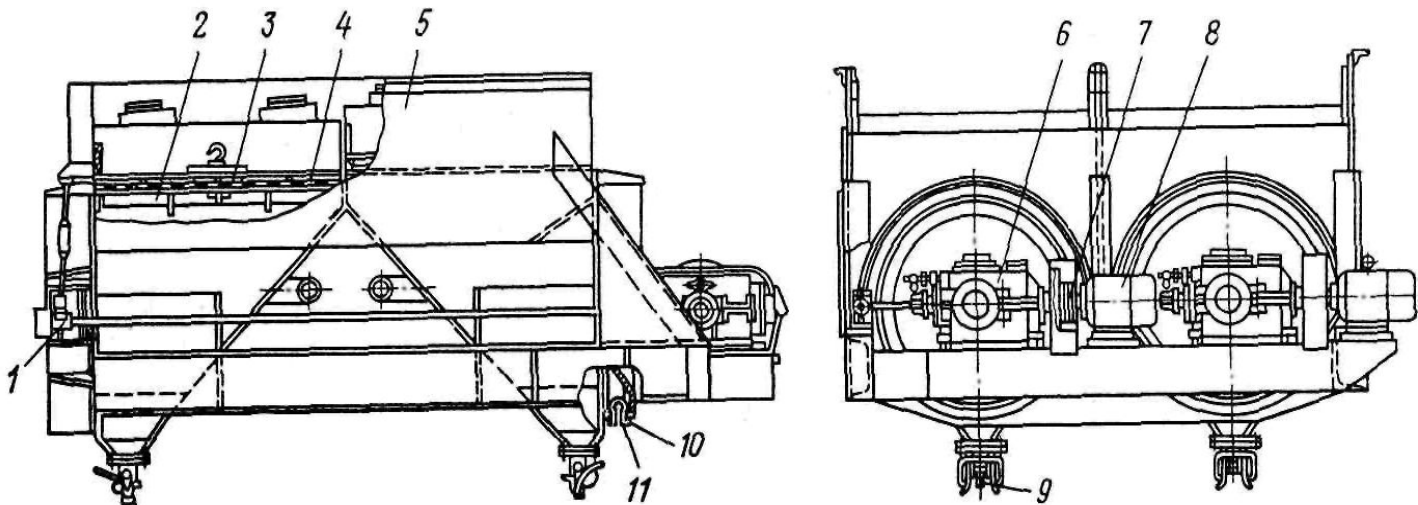


Рис. 6.2. Принципиальные схемы отсадочных машин
 а – поршневая; б – беспоршневая воздушно-золотниковая;
 в – диафрагмовая; г- с подвижным решетом;
 1 – камера; 2 – решето; 3 – поршневое (а) или воздушное (б)
 отделение ; 4 – поршень; 5 – коллектор сжатого воздуха;
 6 – диафрагма; 7 – шток; 8 – эксцентриковый привод

Классификация отсадочных машин

| Тип машины | Способ создания колебаний среды | Крупность обогащаемого материала, мм | | Область применения |
|------------------------|--|--------------------------------------|----------|---|
| | | max | min | |
| С подвижным решетом | Движение решета | 40 | 3 (2) | Марганцевая руда, реже железная, вольфрамовая и др. |
| Поршневая | Движением поршня | 40 | 2 (3) | Марганцевая, оловянная и вольфрамовая руда |
| Диафрагмовая | Движение конических днищ или диафрагмы | 15 (30) | 0,5 | Руды, в том числе россыпных месторождений |
| Воздушно-пульсационная | Пульсирующая подача воздуха | 4 (60) | 0,5 | Уголь, реже руда |
| Пневматическая | То же | 13 (25) | 0,5(0,3) | Уголь, реже руда |

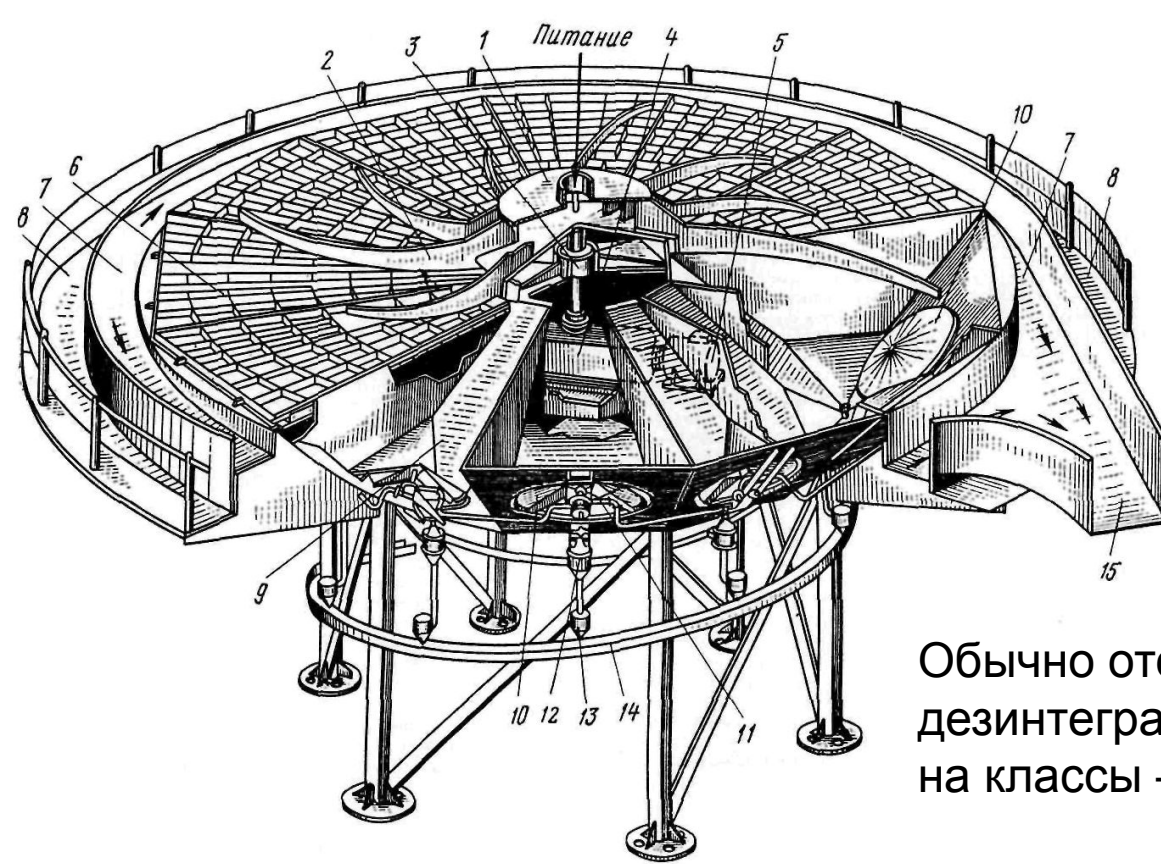


Диафрагмовая отсадочная машина МОД-4: 1 – задняя траверса; 2 – подрешетная рама; 3 – решето; 4 – надрешетная рама; 5 – корпус; 6 – редуктор; 7 – упругая муфта; 8 – электродвигатель; 9 – разгрузочное устройство; 10 – передняя траверса; 11 – манжета

производительность машины 4 – 39 т/ч;
 площадь решет 0,18 – 9,4 м²;
 число камер 1 – 6;
 амплитуда колебаний 3 – 50 мм⁻¹;
 крупность питания от 0,1 до 30 мм;
 мощность электродвигателя 0,6 – 3 кВт.

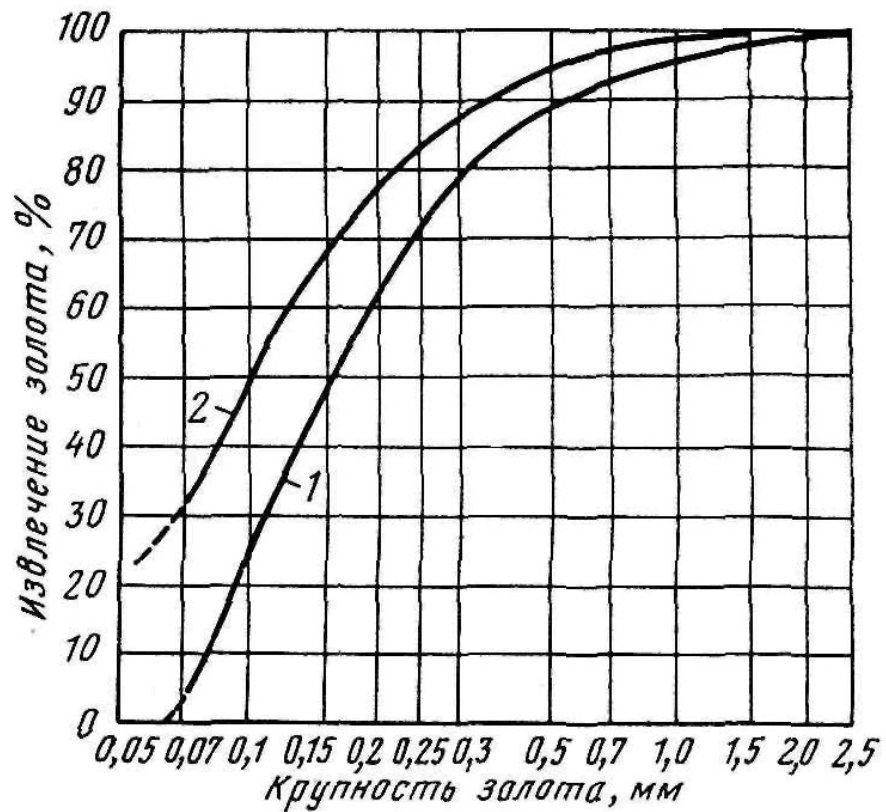
Расход воды на отсадочной машине 1 - 4 м³/т: из них 20 % подается в питание, 50 % - под решето I камеры и 30 % под решето II камеры.

Крупность искусственной минеральной постели может быть до 30 - 40 мм. При использовании стальной дроби для мелкозернистого материала, ее крупность составляет 4 - 6 мм.



Обычно отсадке предшествует дезинтеграция и классификация песков на классы $-25 +6\text{мм}$ и $-6 +0\text{мм}$.

Отсадочная машина “Кливленд”: 1 – гребковое устройство; 2 – гребки; 3 – главный подшипник; 4 – редуктор; 5 – электродвигатель; 6 – грохоты с решеткой; 7 – хвостовой желоб; 8 – платформа для обслуживания; 9 – камера-секция; 10 – диафрагма; 11 – привод-вибратор; 12 – клапан-зажим; 13 – спигот циклонного типа; 14 – желоб для концентрата; 15 – хвостовой приемник



Извлечение золота различной крупности:

1 – на шлюзах;

2 – на отсадочной машине

• Центробежные сепараторы

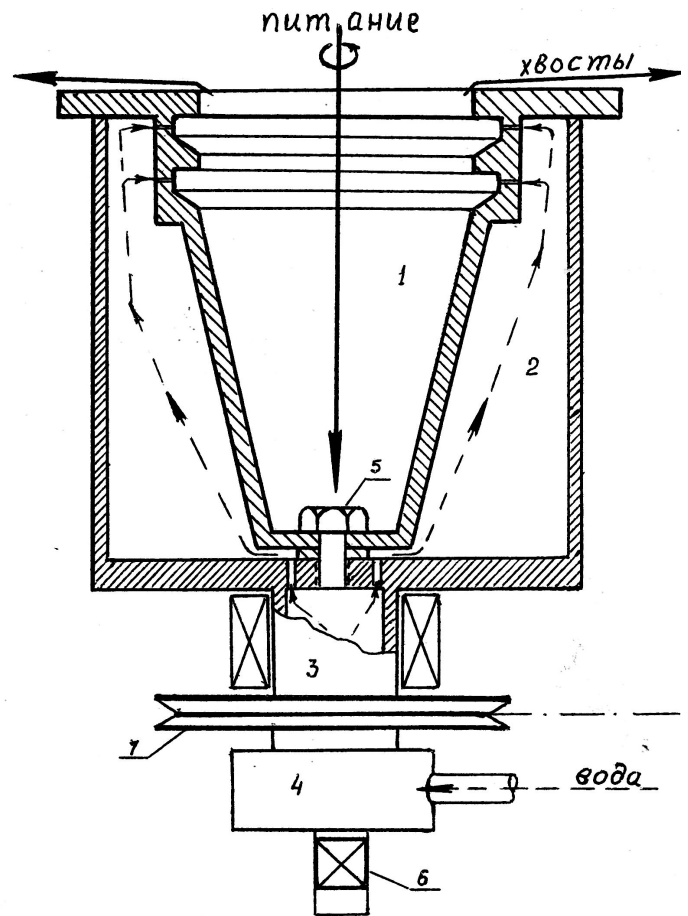
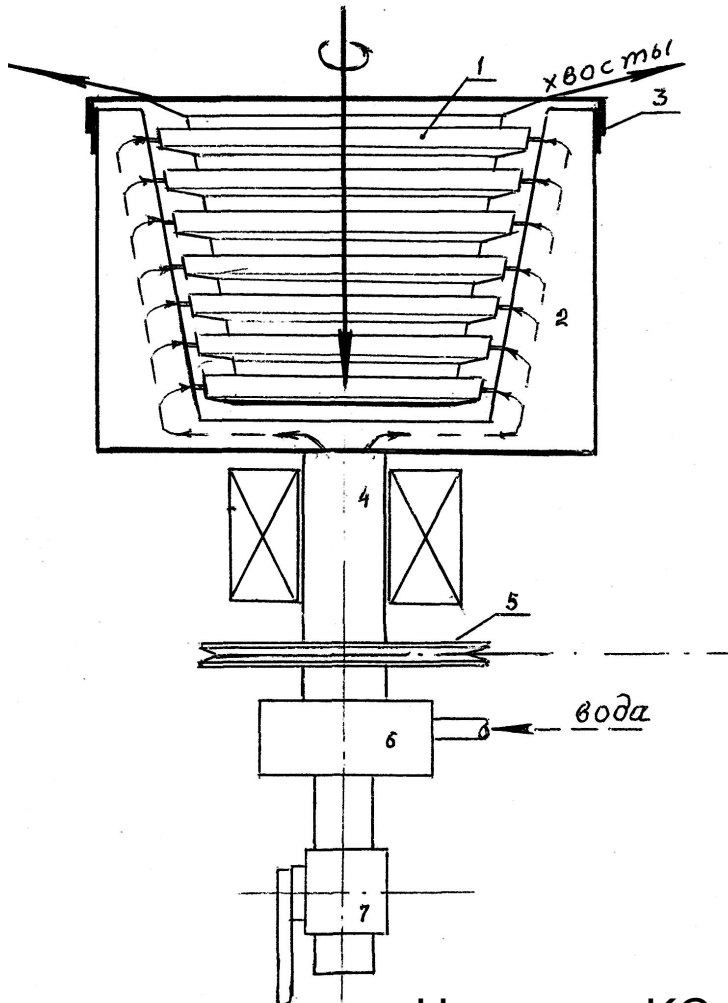


Схема концентратора Фалькон SB-40: 1- коническая чаша; 2 – ватержакет; 3 – полый вал для подачи воды; 4 – сальник; 5 – винт для выгрузки концентрата; 6 – пробковый кран; 7 – шкив электродвигателя

Схема концентратора Нельсона KC-MD3: 1 – чаша; 2 – ватержакет; 3 – крышка; 4 – полый вал; 5 – шкив; 6 – сальник; 7 – неподвижный патрубок с пробковым краном

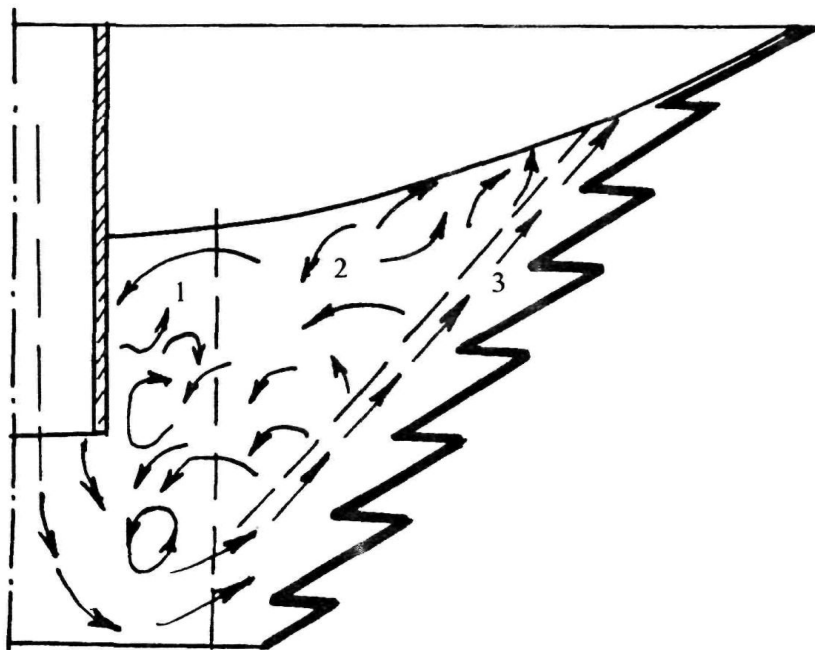
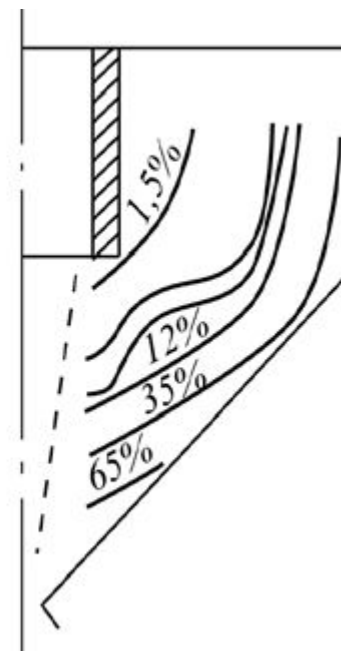
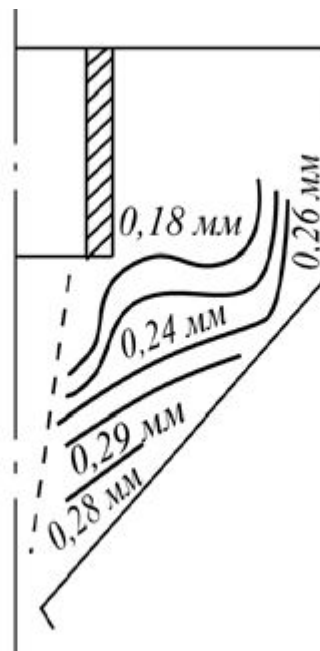
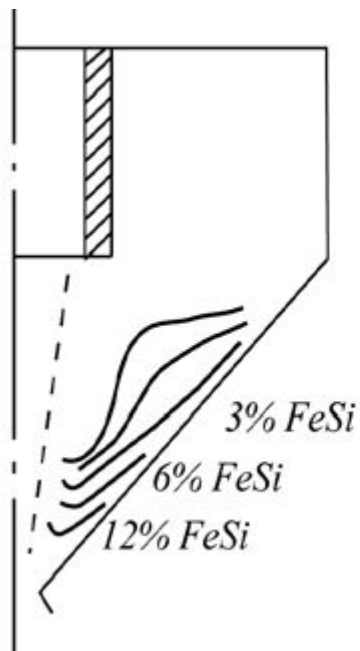


Схема движения потоков в центробежном концентраторе (МИСиС и Гинцветмет): 1 – зона нисходящего потока; 2 – зона турбулентного перемешивания; 3 – зона упорядоченного движения с максимальной окружной скоростью потока

Коротконусный гидроциклон



КГЦ 50-500
60, 75, 90, 120 град



исходной крупности обогащения

- Тяжелосредняя сепарация
(предконцентрация)
- Отсадка
- Шлюзы
- Струйные
- Центробежные сепараторы
- Концентрационные столы

Классификация аппаратов по технологической роли

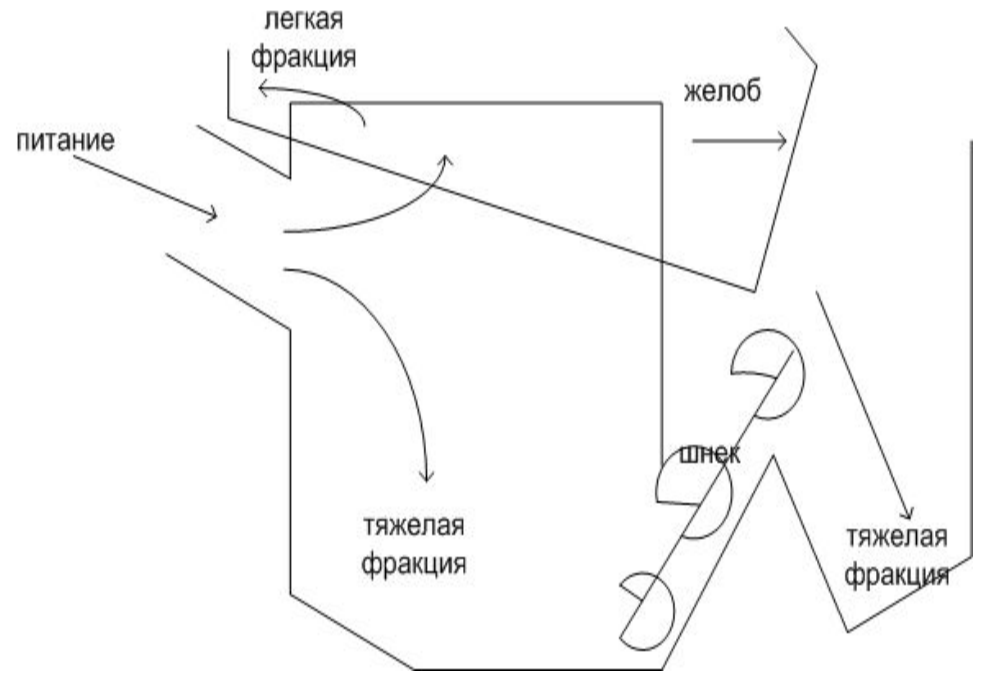
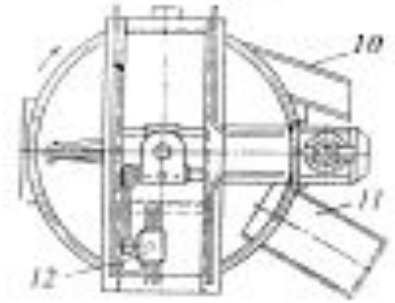
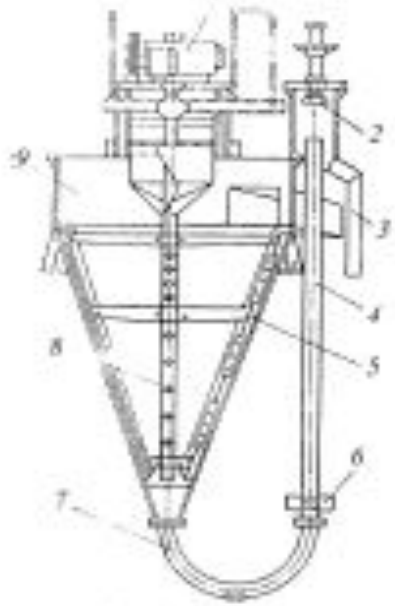
Черновые концентраты

- Отсадка
- Шлюзы
- Струйные желоба

Доводка

- Концентрационные столы

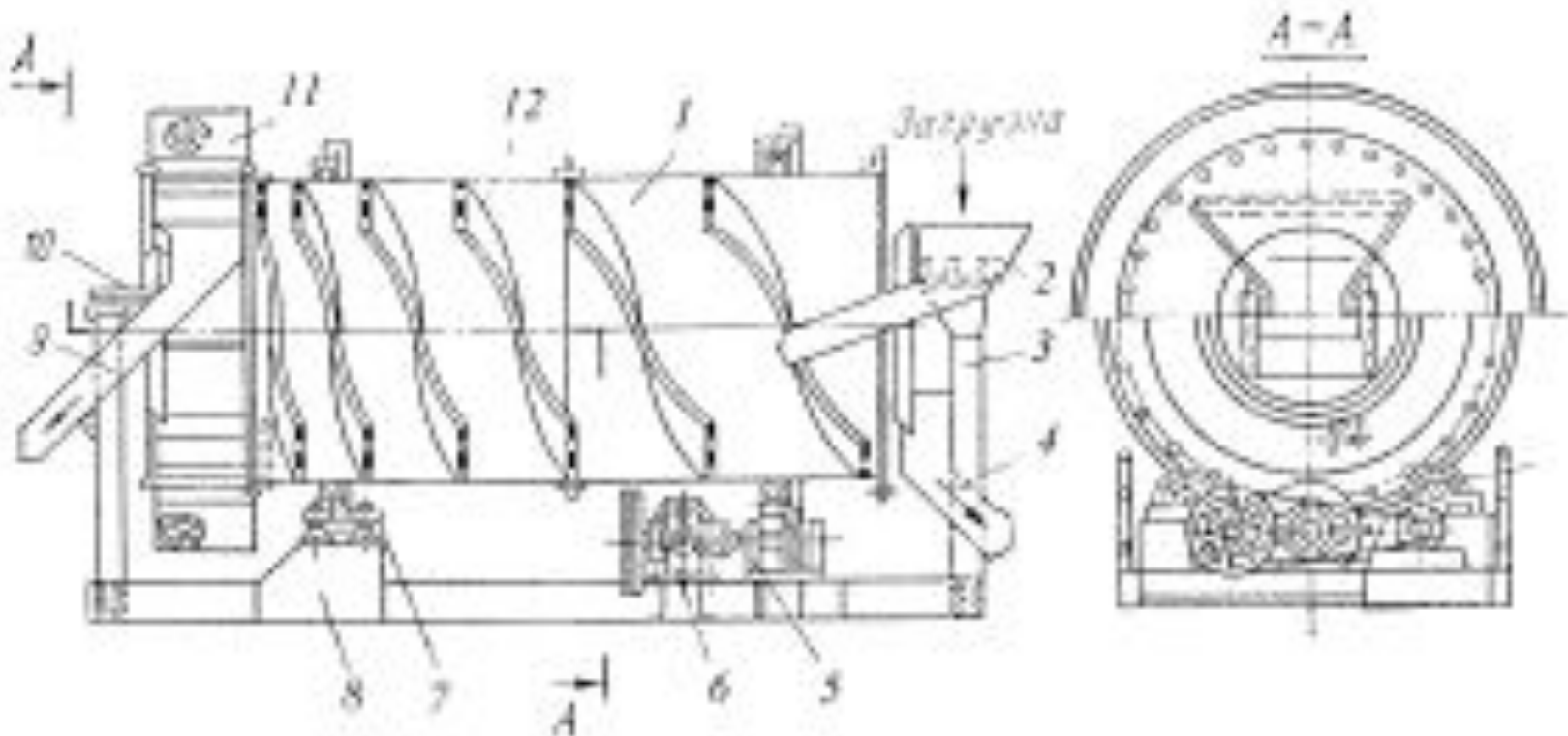
Тяжелосредняя сепарация



Конусный сепаратор с наружным аэролифтом

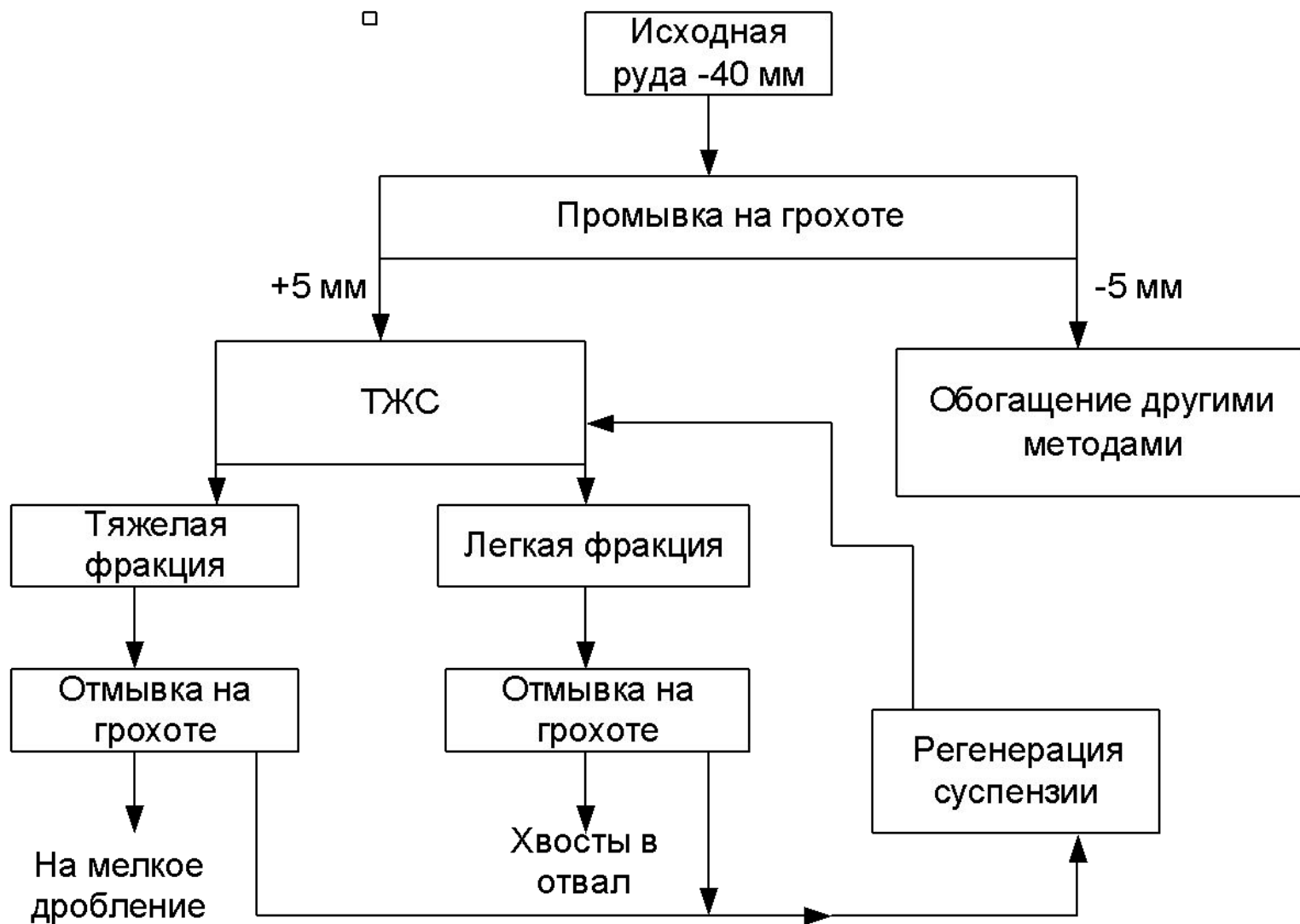
- 1 – привод мешалки; 2 – отбойный зонт; 3 – желоб для разгрузки тяжелого продукта; 4 – аэролифтная труба; 5 – скребки рамочной мешалки; 6 – форсунки для подачи сжатого воздуха; 7 – переходное колено от конуса к аэролифту; 8 – мешалка рамочная; 9 – конус;
- 10 – желоб для разгрузки легкого продукта; 11 – желоб для подачи исходного материала; 12 – электропривод.

Тяжелосредняя сепарация



Барабанный сепаратор со спиральной разгрузкой СБС

1 – барабан; 2 – загрузочный желоб; 3 – опорная стойка загрузочного желоба; 4 – желоб для разгрузки легкого продукта; 5 – узел малой приводной шестерни; 6 – редуктор; 7 – опорные ролики; 8 – рама сепаратора; 9 – желоб для разгрузки тяжелого продукта; 10 – опорная стойка желоба для разгрузки тяжелого продукта; 11 – лопастной элеватор; 12 – двухрядная спираль



Применение гравитации в технологическом процессе

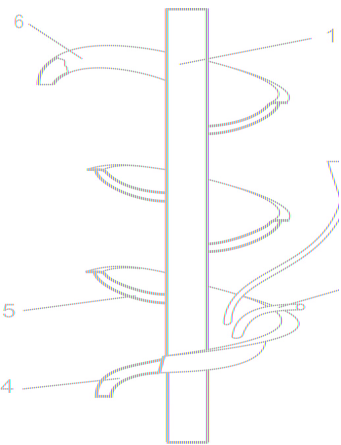
- Предконцентрация (тяжелосредная сепарация, отсадка)
- Рудоподготовка – промывка, классификация (гидравлическая и гидроциклонирование)
- Обогащение
 - Основное концентрирование
 - Доводка черновых концентратов

Сравнительная характеристика гравитационных аппаратов

| Параметры | Концентрационный стол | | Концентрационный сепаратор СК - 3,6/3,6 | Струйный концентратор СКГ - 3М | Винтовой сепаратор СВ3 - 1500 | Винтовой шлюз ШВ5 - 1500 | Короткоконусный гидроциклон КЦ - 500 | Отсадочная машина МОД - 3М |
|------------------------------------|-----------------------|---------|---|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | СКО - 05 | Gemini | | | | | | |
| Производительность, т/ч | 0,030 – 0,070 | 0,10 | 1,5 – 3,0 | 1,5 – 3,0 | 3,75 | 3,75 | 12 | 2 |
| Энергопотребление, кВт/ч | 1,4 | 3,3 | – | – | – | – | 1,3 | 0,4 – 0,6 |
| Массовая доля твердого, % | 15 – 40 | 15 – 40 | 50 – 60 | 50 – 60 | 15 – 35 | 15 – 35 | 15 – 25 | 30 – 60 |
| Водопотребление, м ³ /т | 2 | 2 – 4 | – | – | 0,12 | 0,07 | – | 4 – 5 |
| Относительная масса, т/тч | 2,0 | 6,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,03 | 0,2 – 0,4 |
| Площадь, м ² на 1 т/ч | 4 | 4-7 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,5 – 0,7 |

Пневматическая сепарация

- Отдувка минералов легких пород



В нижней части винтового желоба установлен патрубок для подачи воздуха 3, выше него — патрубок 2 для подачи исходного материала в желоб, аэродинамический канал 5. На нижнем срезе желоба установлен приемник концентрата 4, а на верхнем срезе желоба приемник хвостов 6.

Установлено, что скорость витания частиц прямо коррелируется с их гидравлической крупностью, а она в свою очередь зависит лишь от плотности и усредненной толщины частиц, все другие параметры (длина, ширина) на гидравлическую крупность практически не влияют.

Гравитационные процессы

Положительные

- Простота процесса
- Дешевый процесс
- Высокопроизводительный процесс (основная доля)

Отрицательные

- Существенные расходы воды
- Необходимость предварительной классификации по узким классам крупности