Центрифугирование

Теоретические основы процесса центробежных сил. Фактор разделения.

Центрифугирование – это процесс разделения суспензий и эмульсий с помощью центробежных сил. Основная часть центрифуги – барабан(ротор), вращающийся с большой скоростью.

Центробежные силы в аппаратах можно создать двумя путями:

- механическим вращением сосуда, в котором находится неоднородная смесь;
- вращением разделяемого потока, вводимого в аппарат (неподвижный) специальной формы с большой скоростью, тангенциально по отношению к системе аппарата.

Аппараты с вращающимся сосудом (барабаном, ротором) называют центрифугами.

Неподвижные аппараты с вращающимися в них потоками называются циклонами (при разделении газовых неоднородных систем) и гидроциклонами (при разделении жидких неоднородных систем).

Принцип действия

Под действием центробежных сил неоднородная система разделяется за счет отбрасывания к стенкам более тяжелых частиц.

Тяжелая фаза собирается непосредственно вблизи стенок (в периферии), легкая фаза – ближе к центру аппарата.

Стенки центрифуги могут быть:

- Сплошными – тогда на них накапливается твердый осадок или тяжелая жидкость, причем твердый осадок (тяжелая жидкость) периодически/непрерывно (в зависимости от конструкции центрифуги) удаляются. Также центрифуги – отстойные центрифуги.
- Перфорированные – на их поверхности размещена фильтровальная ткань, с помощью которой задерживается осадок, а фильтрат проходит через стенку. Такие центрифуги - фильтрующие.

Центробежная сила

При вращении любого тела возникает центробежная сила, и она направлена по радиусу к оси ращения и пропорциональна произведению массы на центробежное ускорение.

$$c = m\frac{w^2}{r} = \frac{Gw^2}{gr} \quad (1)$$

где $\frac{w^2}{V}$ - центробежное ускорение;

w - окружная скорость;

c – центробежная сила.

$$w = \omega r = \frac{2\pi n}{60} r \quad (2)$$, где ω – угловая скорость [об/с или 1/с];

n - число оборотов.

Выразим центробежную силу через уравнения (1) и (2):

$$c = \frac{mw^2}{r} = \frac{Gw^2}{gr} = \left|\frac{2\pi rn}{60}\right| = G\frac{4\pi^2 r^2 n^2}{gr \cdot 3600} = G\frac{rn^2}{900} = G\frac{Dn^2}{1800}$$

$$c = G\frac{rn^2}{900} = G\frac{Dn^2}{1800} \quad (3)$$

Таким образом, из (3) следует, что С можно увеличить за счет увеличения D,n; причем n увеличивает С значительнее.

Фактор разделения

$$\frac{c}{G} = \frac{mw^2}{r} : mg = \frac{w^2}{rg} = \frac{\omega^2 r}{g} = K_ц$$

$$\frac{c}{G} = \frac{w^2}{rg} = \frac{\omega^2 r}{g} = K_ц$$

- коэффициент центрифугирования, фактор разделения

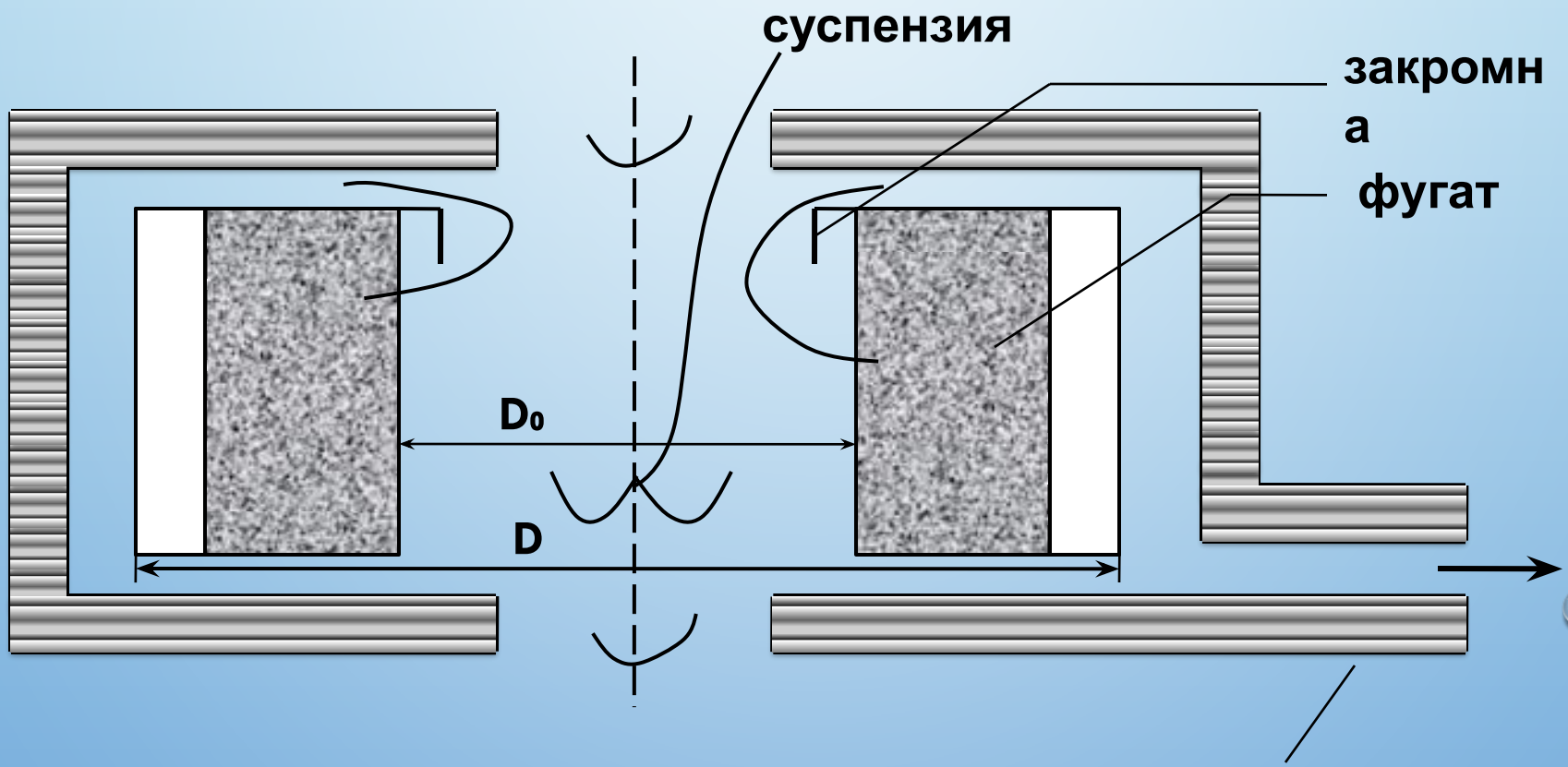
$$\frac{c}{G} = \frac{rn^2}{900} = \frac{Dn^2}{1800} = K_ц \quad (5)$$

Физический смысл Кц

Он показывает, на сколько разделение в поле действия центробежных сил эффективнее, чем в поле действия силы тяжести.

Отстойное центрифугирование

Схема центральной системы (барабана) отстойной центрифуги для разделения СУСПЕНЗИИ



Принцип действия

При подачи суспензии во вращающийся барабан образуется кольцевой слой, его толщина определяется шириной верхних закромен. В слое под воздействием центробежных сил происходит осаждение твердых частиц на стенках барабана.

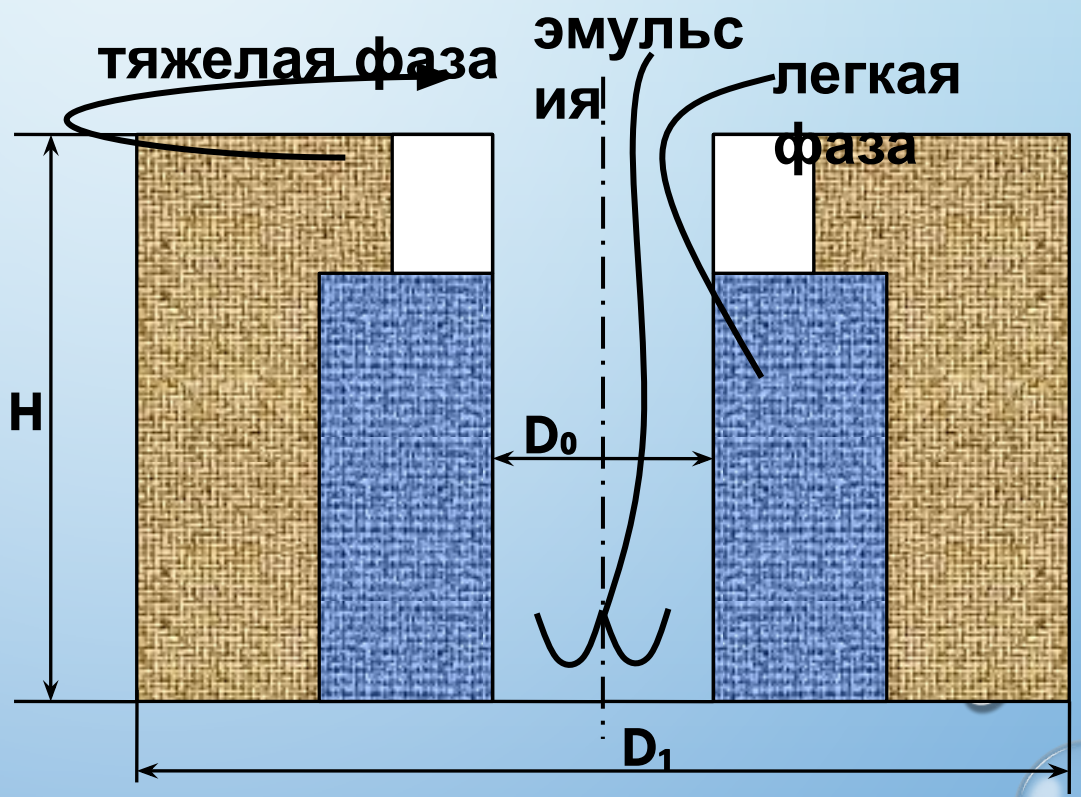
Фугат переливают через закромны в кожух аппарата, откуда затем отводится. Твердые частицы одновременно с фугатом движутся вверх.

Если время нахождения суспензии в барабане достаточно, то частицы достигнут стенки образуют осадок.

Схема центральной системы (барабана) отстойной центрифуги для разделения ЭМУЛЬСИИ

Принцип действия:

В барабане отстойной центрифуги для разделения эмульсий образуются 2 кольца. Кольцо с тяжелой жидкостью на периферии барабана и кольцо с легкой жидкостью ближе к центру барабана. Постепенно и легкая, и тяжелая жидкости могут отводиться. Работает непрерывно.



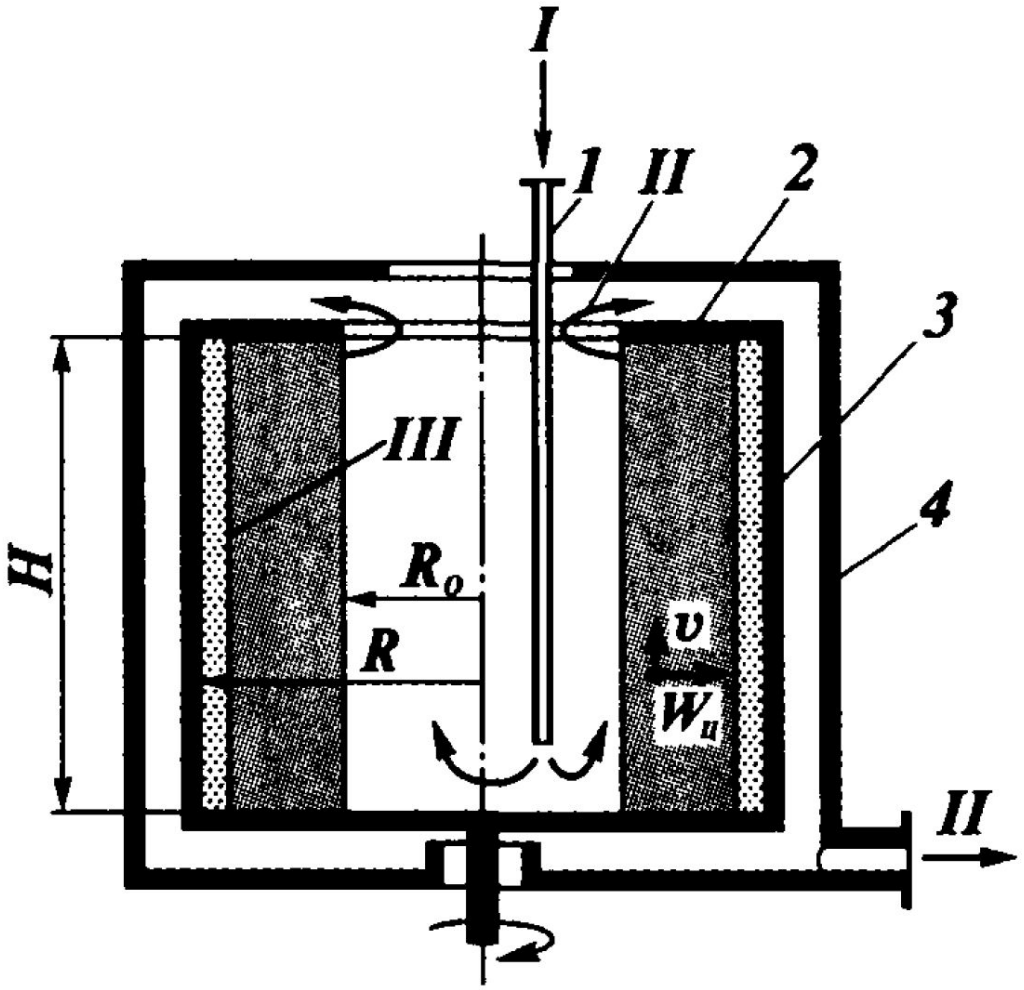


Рис. XIV-1. Схема отстойной центрифуги для разделения суспензий:
1 — питающая (загрузочная) труба; *2* — закраина ротора; *3* — ротор; *4* — кожух. Потоки: *I* — суспензия; *II* — фугат; *III* — осадок

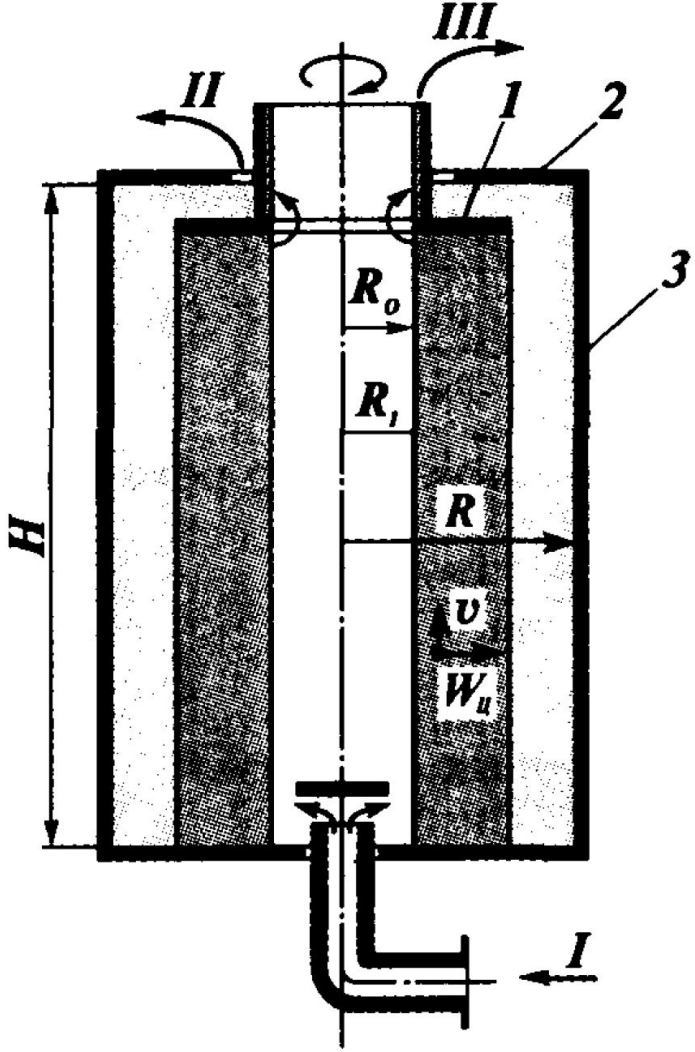


Рис. XIV-2. Схема центрифуги для разделения эмульсий:
1 — кольцевая диафрагма; *2* — закраина ротора; *3* — ротор. Потоки: *I* — эмульсия; *II* — тяжелая жидкость; *III* — легкая жидкость

Для расчета скорости движения в поле центробежных сил используют те же формулы, что и для скорости осаждения под действием силы тяжести. При этом силу тяжести заменяют на С, или отношением сил – факторм разделения Кц.

$$w_{oc} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{\rho_r - \rho}{\rho} \cdot \frac{gd}{\xi_ц} K_ц} \qquad (5)$$

$$w_{oc} = \frac{gd^2(\rho_r - \rho)}{18\mu} K_ц \qquad (6)$$ при ламинарном режиме

Для газовых систем $\rho_r \ll \rho$

$$w_{oc} = \frac{gd^2\rho_r}{18\mu} K_ц \qquad (7)$$

$$\xi_ц Re^2 = \frac{4}{3} Ar\ K_ц \qquad (8)$$

Для ламинарного режима $\xi_ц = \frac{24}{Re}$ => $Re = \frac{Ar\ K_ц}{18}$ (9)

$Re \leq 0{,}2 \quad Ar\ K_ц \leq 3{,}6$

Ламинарный режим более важен, так как он соответствует режиму осаждения наиболее мелких частиц, которые лимитируют производительность центрифуги. В связи с этим производительность центрифуги определяется именно для ламинарного режима.

Производительность центрифуги

Предположим, что концентрация твердых веществ невелика и частицы не влияют друг на друга. Тогда скорость осаждения будет находится как производная от пути по времени.

$$w_{oc} = \frac{dr}{d\tau}$$

Исходя из формулы (6) и учитывая (4)

$$w_{oc} = \frac{dr}{d\tau} = \frac{gd^2(\rho_r - \rho)}{18\mu}\frac{\omega^2 r}{g} \qquad (10)$$

$$\int_0^{\tau} d\tau = \int_{R_0}^{R} \frac{18\mu}{(\rho_r - \rho)d^2 {w_{oc}}^2}\frac{dr}{r} \qquad (11)$$

$$\tau_{oc} = \frac{18\mu}{(\rho_r - \rho) d^2 w_{oc}{}^2} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right) \quad (12)$$

- время осаждения для разделения **суспензии**

$$\tau_{oc} = \frac{18\mu}{(\rho_r - \rho) d^2 w_{oc}{}^2} \ln\left(\frac{R_1}{R_0}\right) \quad (13)$$

- время осаждения для разделения **эмульсии**

Из уравнения (12) определяется время осаждения и оно не должно быть больше времени нахождения частицы в барабане.

$$\tau_н = \frac{V_p}{V} \quad (14)$$

где V_p – рабочий объем барабана (определяется как объем жидкостного кольца);

V – объемная производительность .

$$V_p = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi D_0^2}{4}\right) H = \frac{\pi H}{4}(D^2 - D_0^2) \quad (15)$$

Из (14) и (15):

$$V = \frac{V_p}{\tau_н} = \frac{\pi H\left(D^2 - D_0^2\right)}{4\tau_{ос}}$$ (16) - суспензия

$$\tau_{ос} \leq \tau_н$$

Для эмульсий необходимо найти R_1 и D_1:

$$V = \frac{\pi H\left(D_1^2 - D_0^2\right)}{4\tau_{ос}}$$ (17) – эмульсия

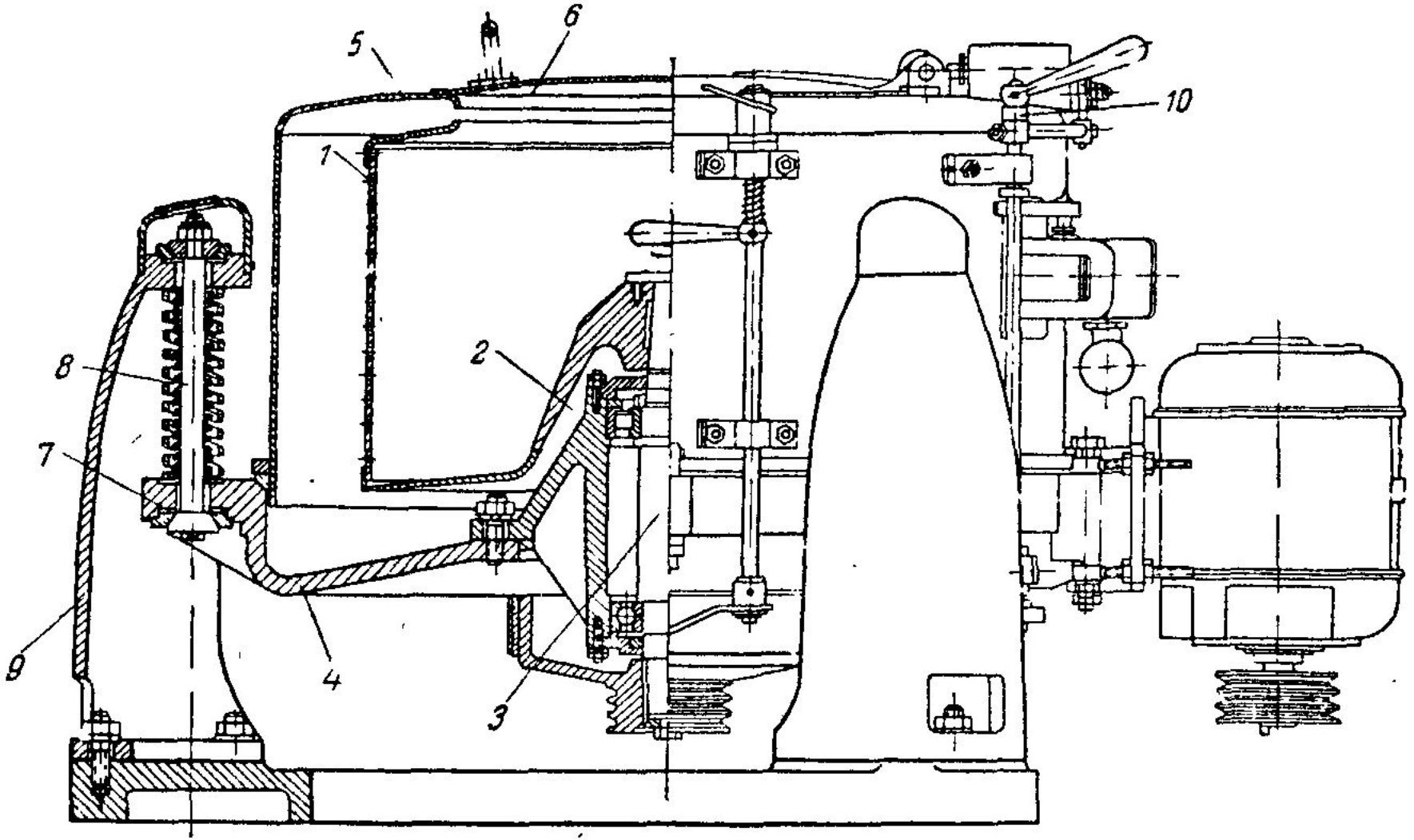


Рис. V-28. Трехколонная центрифуга:

1 — перфорированный ротор; *2* — опорный конус; *3* — вал; *4* — дно станины; *5* — неподвижный кожух; *6* — крышка кожуха; *7* — станина; *8* — тяга; *9* — колонка; *10* — ручной тормоз.

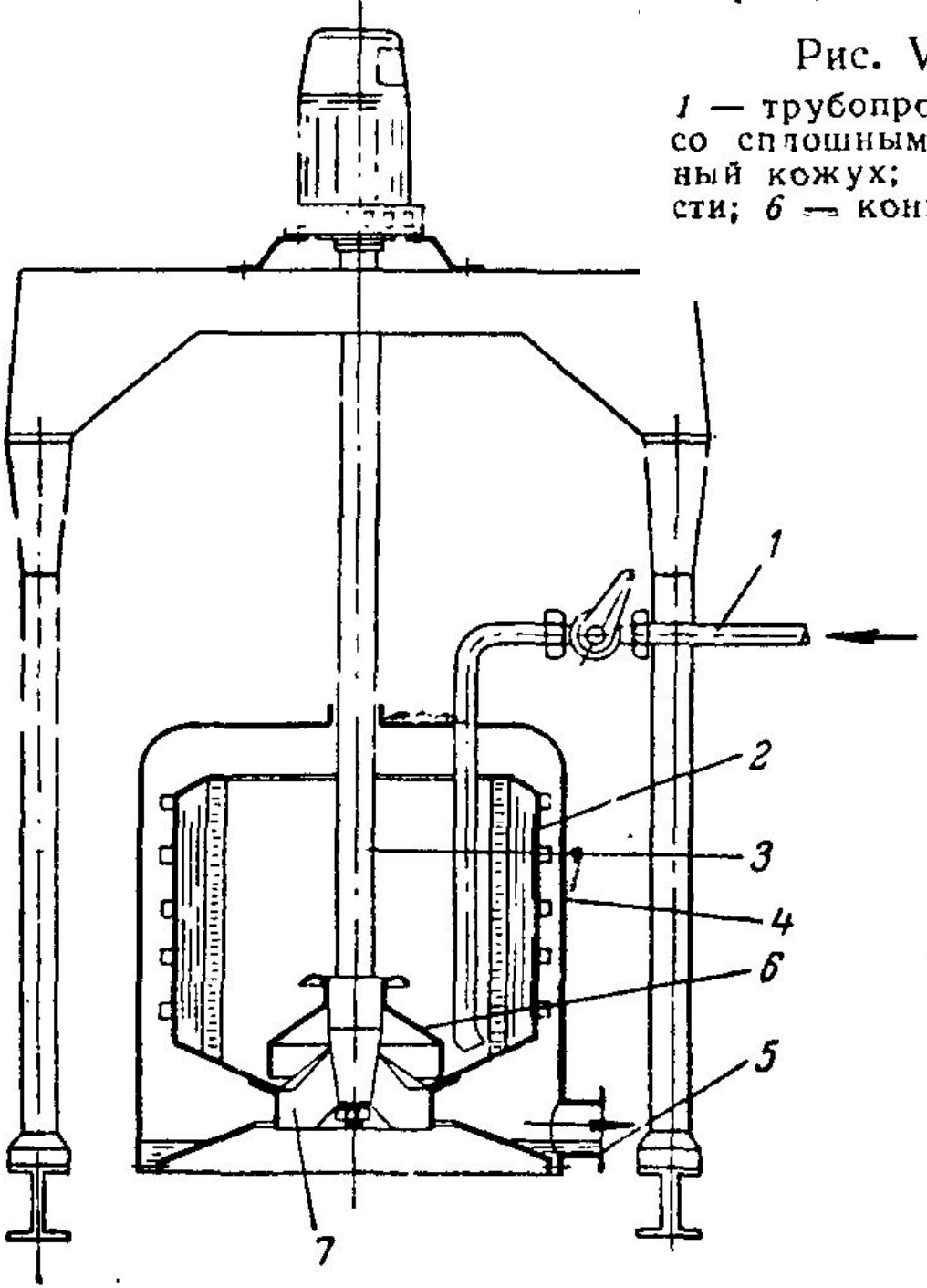


Рис. V-29. Подвесная центрифуга:

1 — трубопровод для подачи суспензии; *2* — ротор со сплошными стенками; *3* — вал; *4* — неподвижный кожух; *5* — штуцер для удаления жидкости; *6* — коническая крышка; *7* — соединительные ребра.

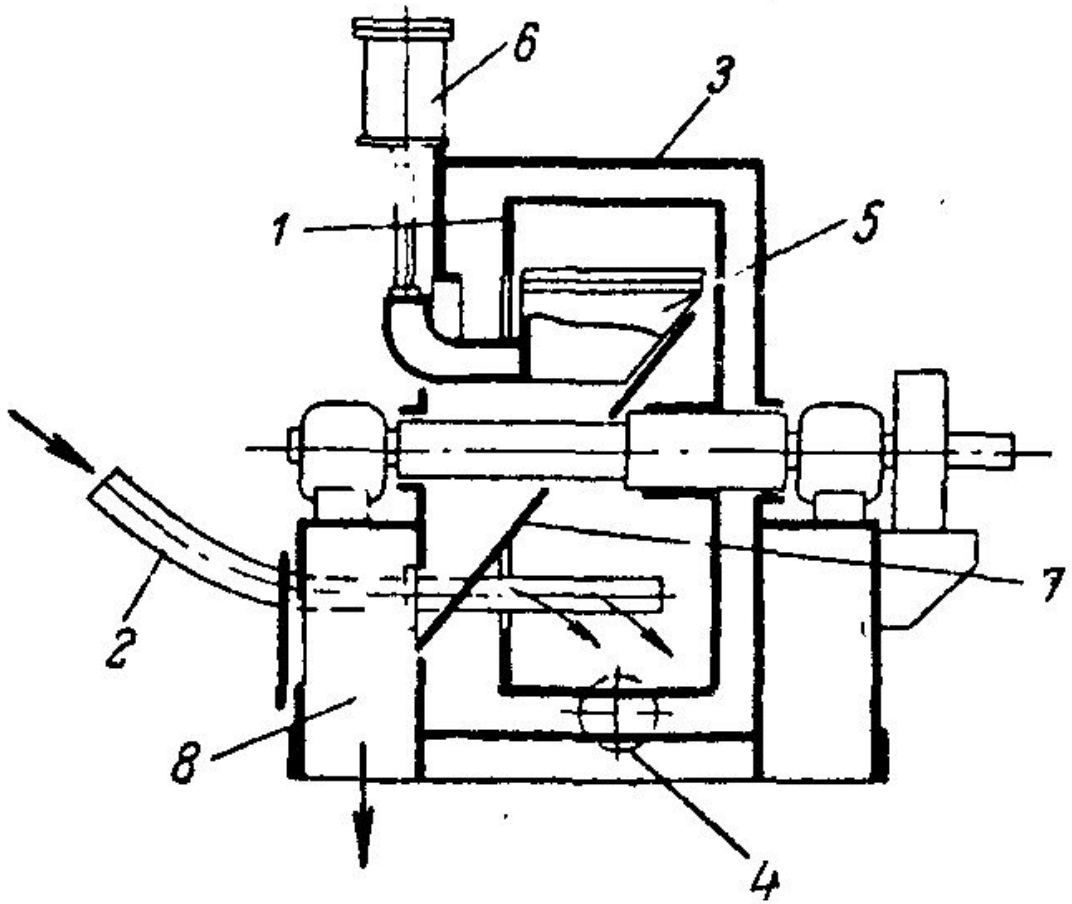


Рис. V-30. Горизонтальная центрифуга с ножевым устройством для удаления осадка:

1 — перфорированный ротор; *2* — труба для подачи суспензии; *3* — кожух; *4* — штуцер для удаления фугата; *5* — нож; *6* — гидравлический цилиндр для подъема ножа; *7* — наклонный желоб; *8* — канал для удаления осадка.

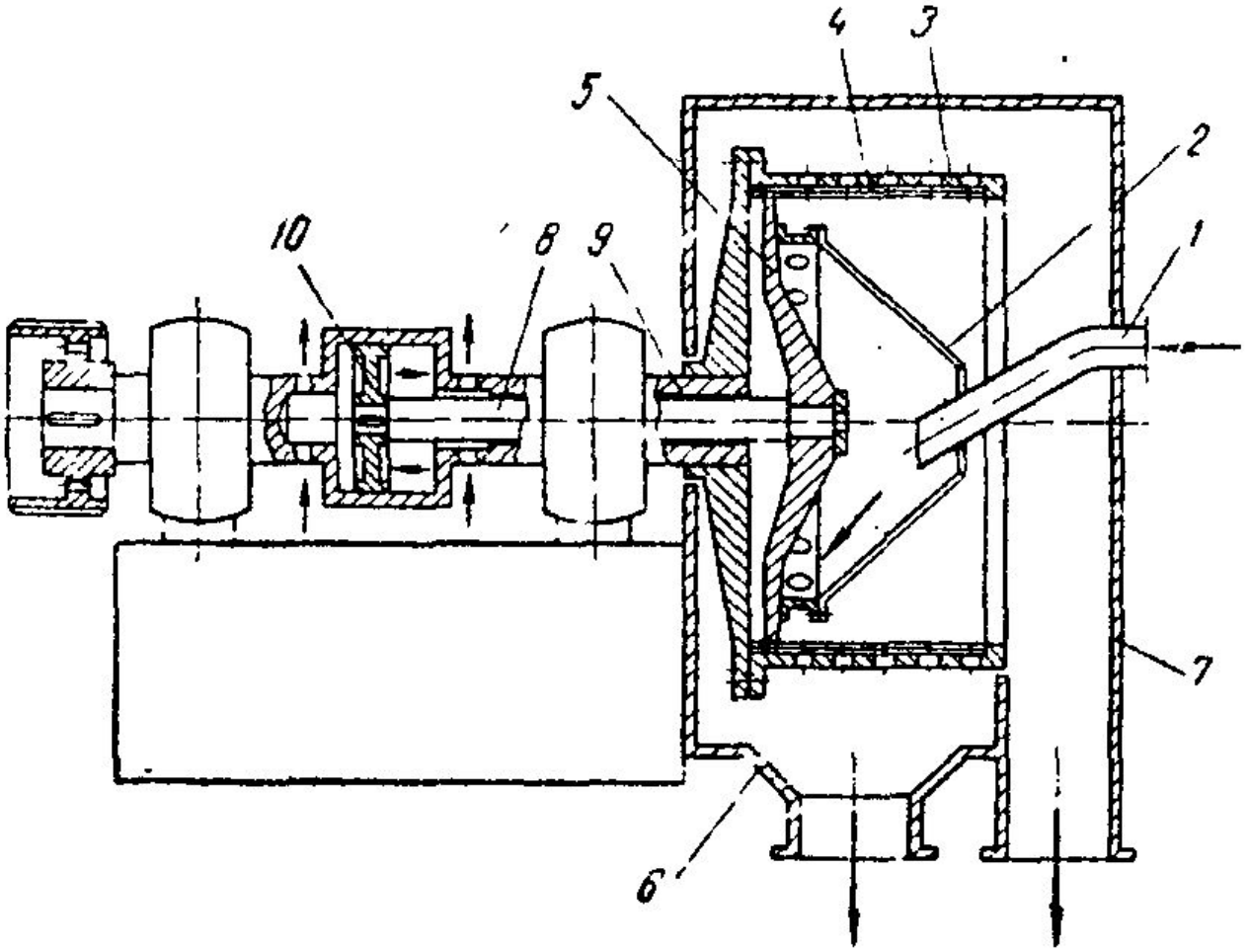


Рис. V-31. Центрифуга с пульсирующим поршием для выгрузки осадка:

1 — труба для поступления суспензии; *2* — коническая воронка; *3* — перфорированный ротор; *4* — металлическое щелевое сито; *5* — поршень; *6* — штуцер для удаления фугата; *7* — канал для отвода осадка; *8* — шток; *9* — полый вал; *10* — диск, перемещающийся возвратно-поступательно.

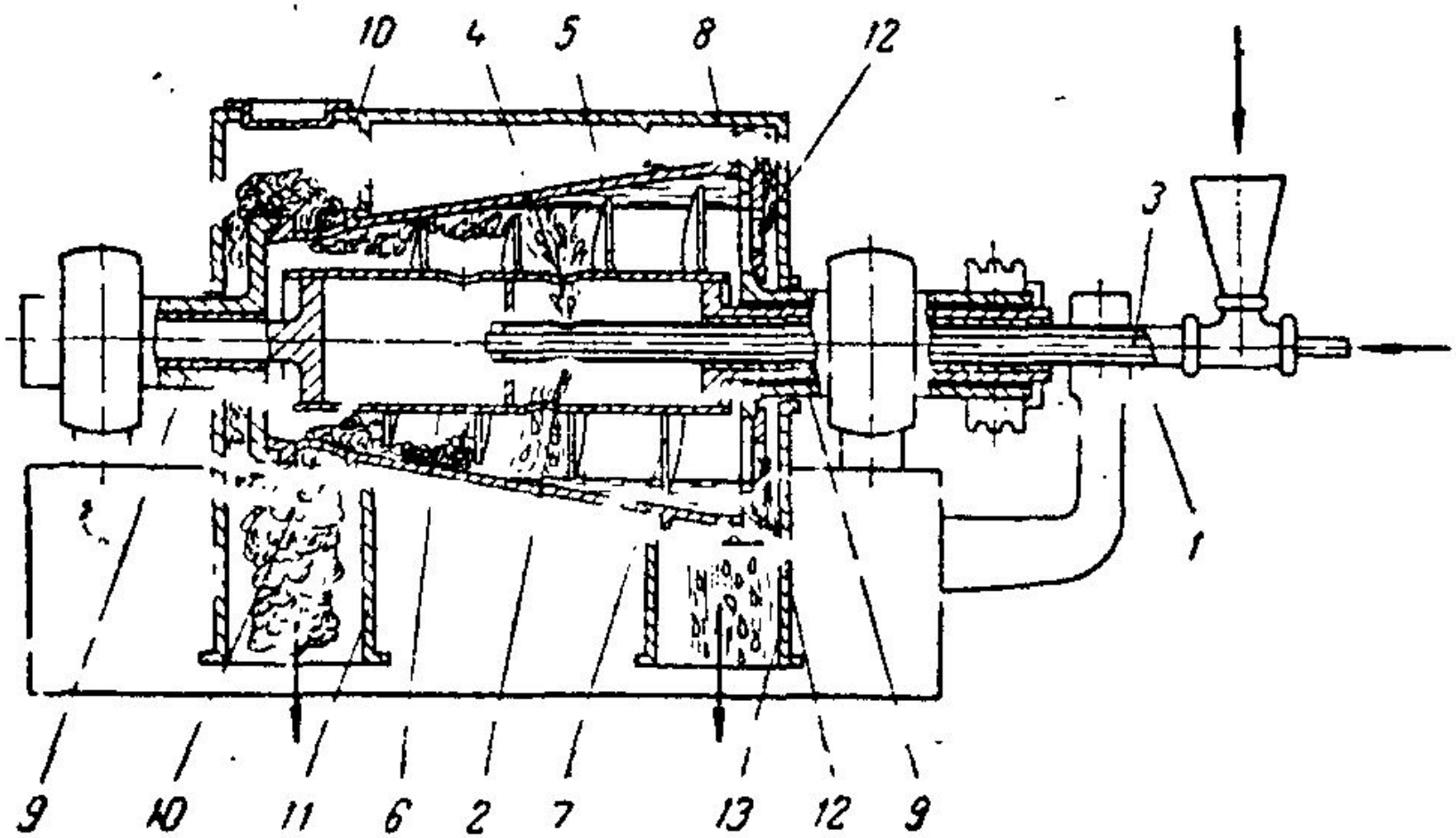


Рис. V-32. Цеитрифуга со шнековым устройством для выгрузки осадка:

1 — наружная труба; *2*, *4* — отверстия для прохождения суспензии; *3* — виутреииая труба; *5* — коинческий ротор со сплошными стенками; *6* — цилиндрическое основанне шнека; *7* — шнек; *8* — кожух; *9* — полые цапфы; *10* — отверстия для прохождения осадка; *11* — камера для осадка; *12* — отверстия для прохождения фугата; *13* — камера для фугата.

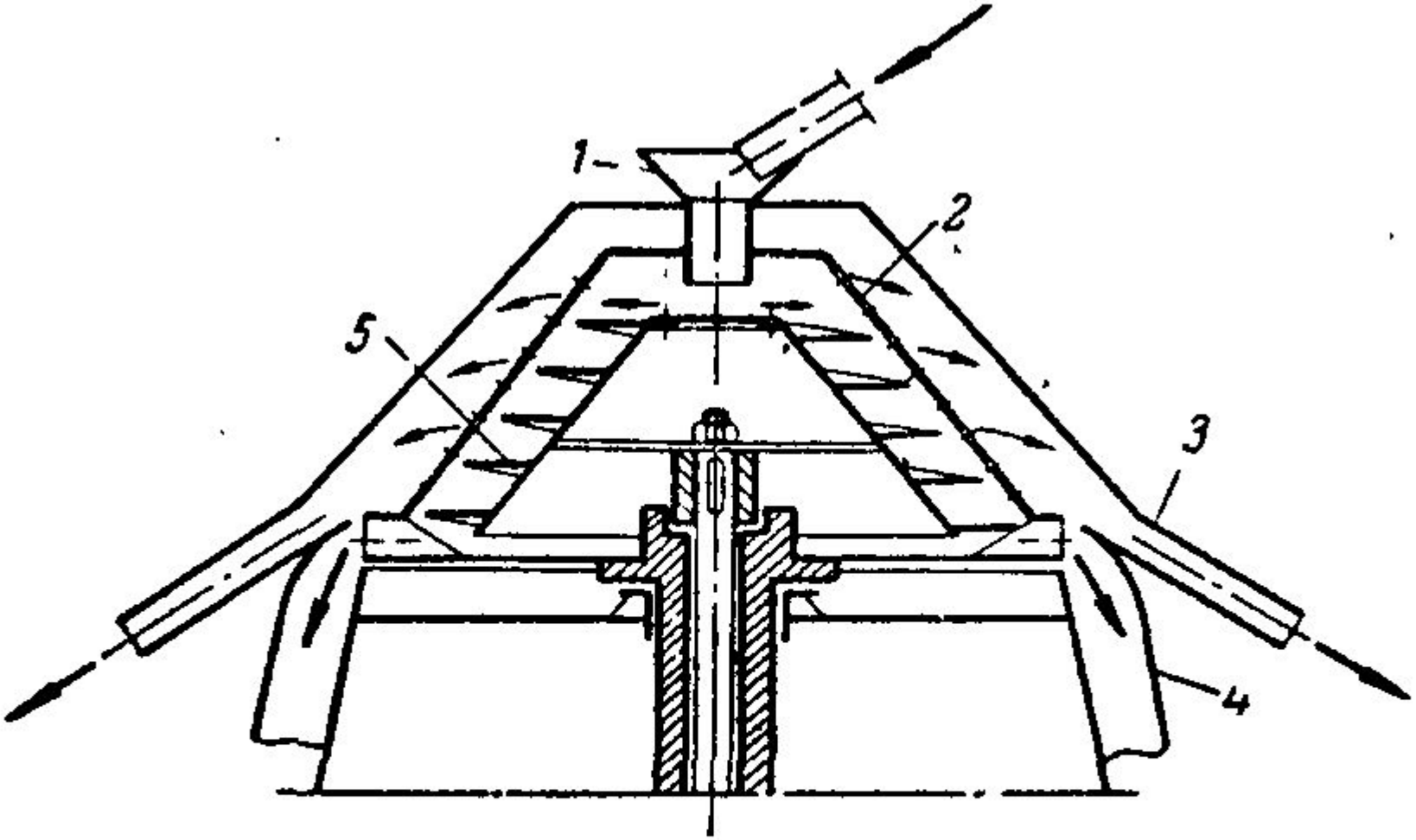


Рис. V-33. Центрифуга с инерционной выгрузкой осадка:

1 — воронка для поступления суспензии; *2* — ротор; *3* — канал для удаления жидкой фазы; *4* — канал для удаления твердых частиц; *5* — шнек.

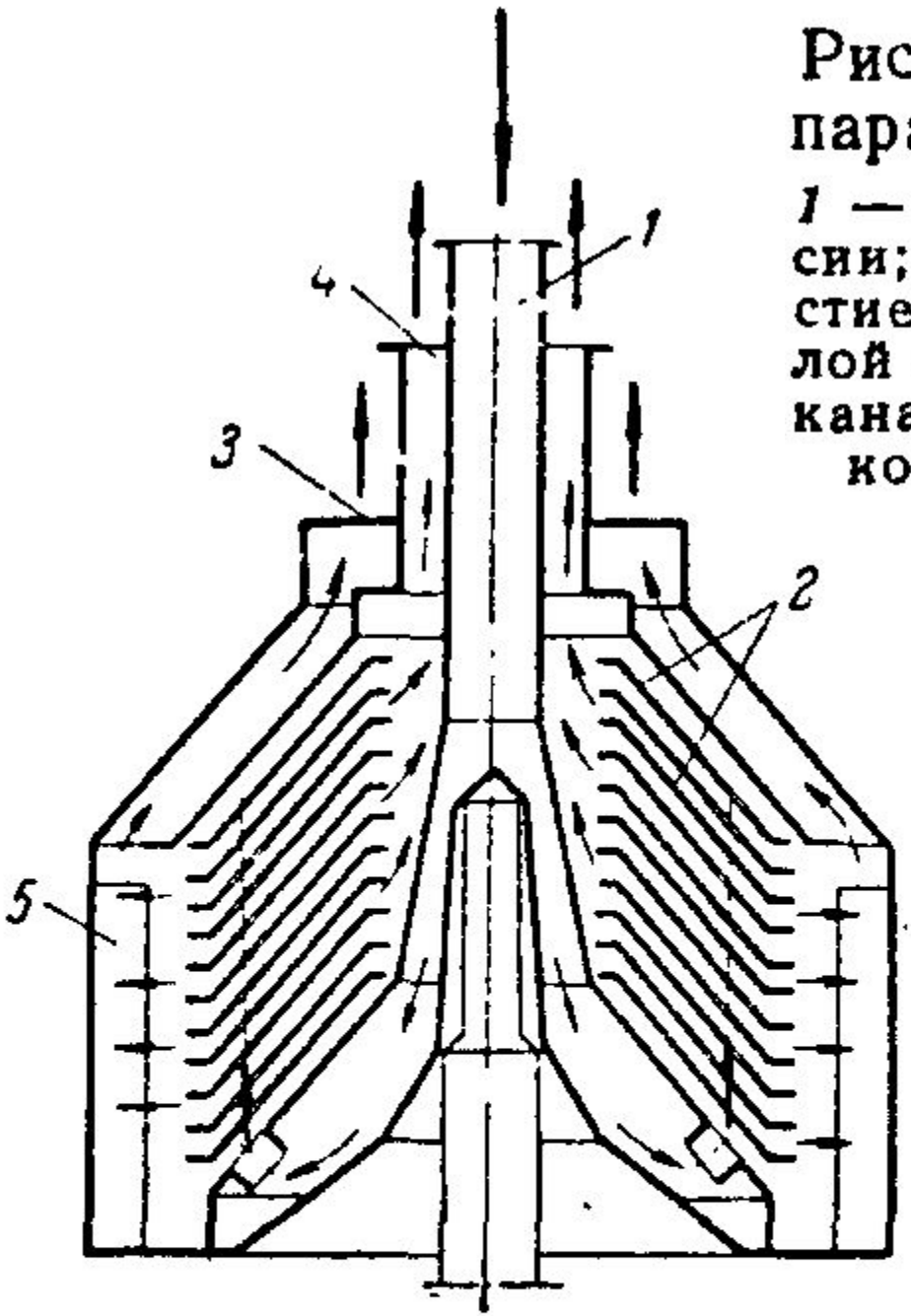


Рис. V-34. Жидкостный сепаратор тарельчатого типа:

1 — труба для подачи эмульсии; *2* — тарелки; *3* — отверстие для отвода более тяжелой жидкости; *4* — кольцевой канал для отвода более легкой жидкости; *5* — ребра.

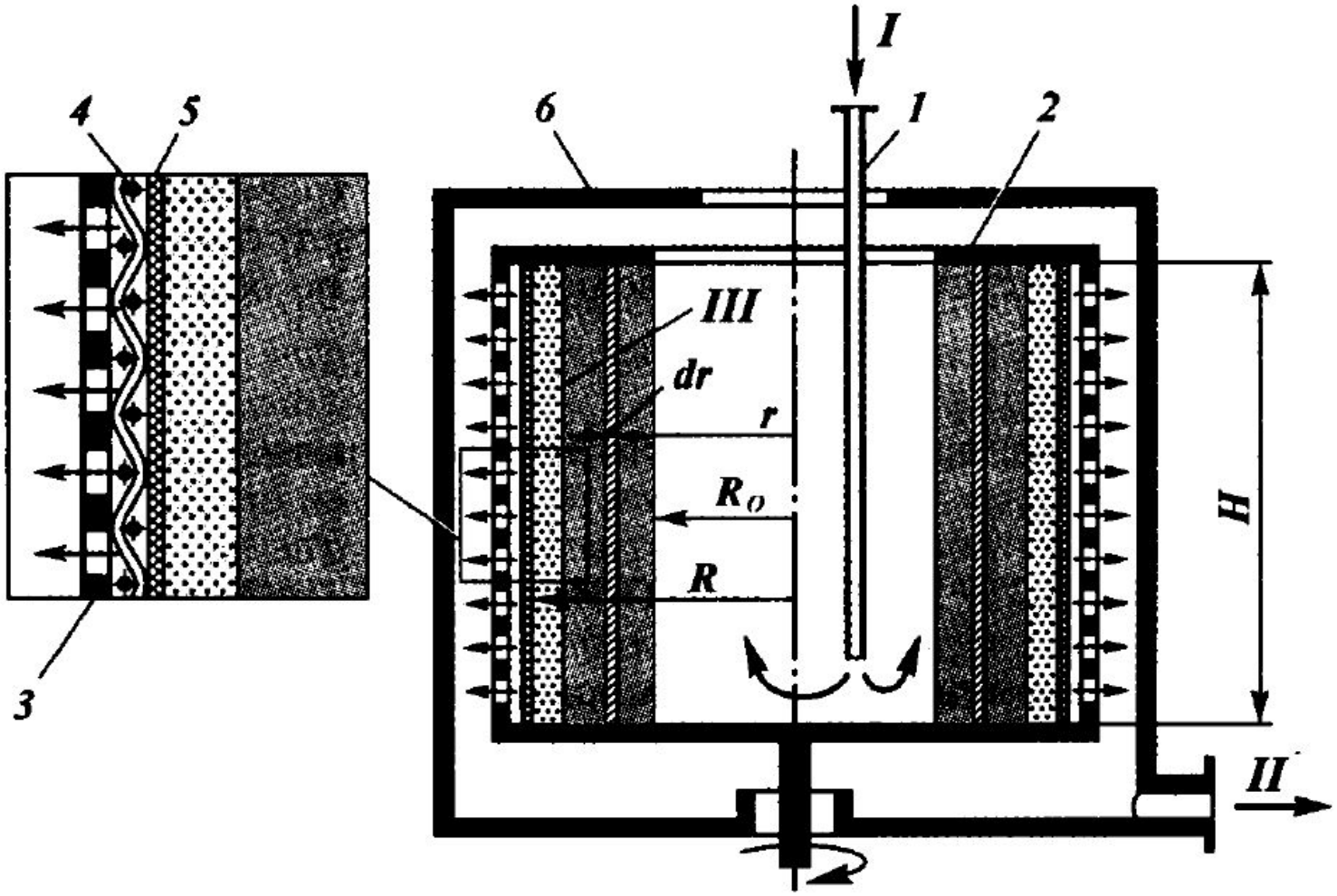


Рис. XIV-3. Схема фильтрующей центрифуги:
1 — питающая (загрузочная) труба; *2* — закраина ротора; *3* — перфорированная стенка ротора; *4* — дренажная сетка; *5* — фильтровальная ткань; *6* — кожух. Потоки: *I* — суспензия; *II* — фильтрат; *III* — осадок

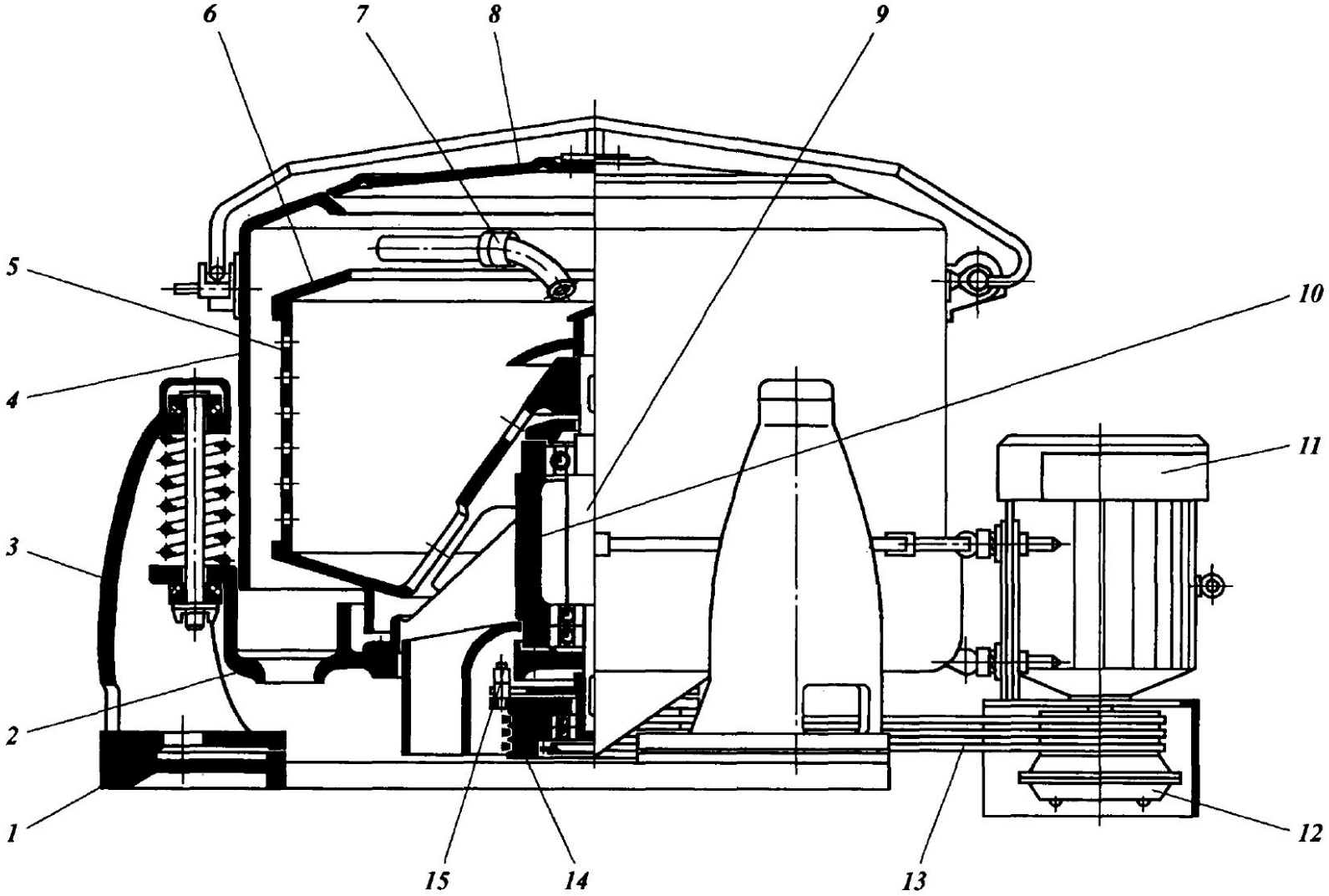


Рис. XIV-4. Конструкция фильтрующей маятниковой центрифуги с нижней выгрузкой осадка:

1 — фундаментная плита; *2* — станина; *3* — опорные колонки; *4* — кожух; *5* — ротор; *6* — бортовое кольцо (закраина); *7* — загрузочное устройство; *8* — крышка; *9* — вал; *10* — опора ротора; *11* — электродвигатель; *12* — турбомуфта; *13* — клиноременная передача; *14* — приводной шкив; *15* — тормоз

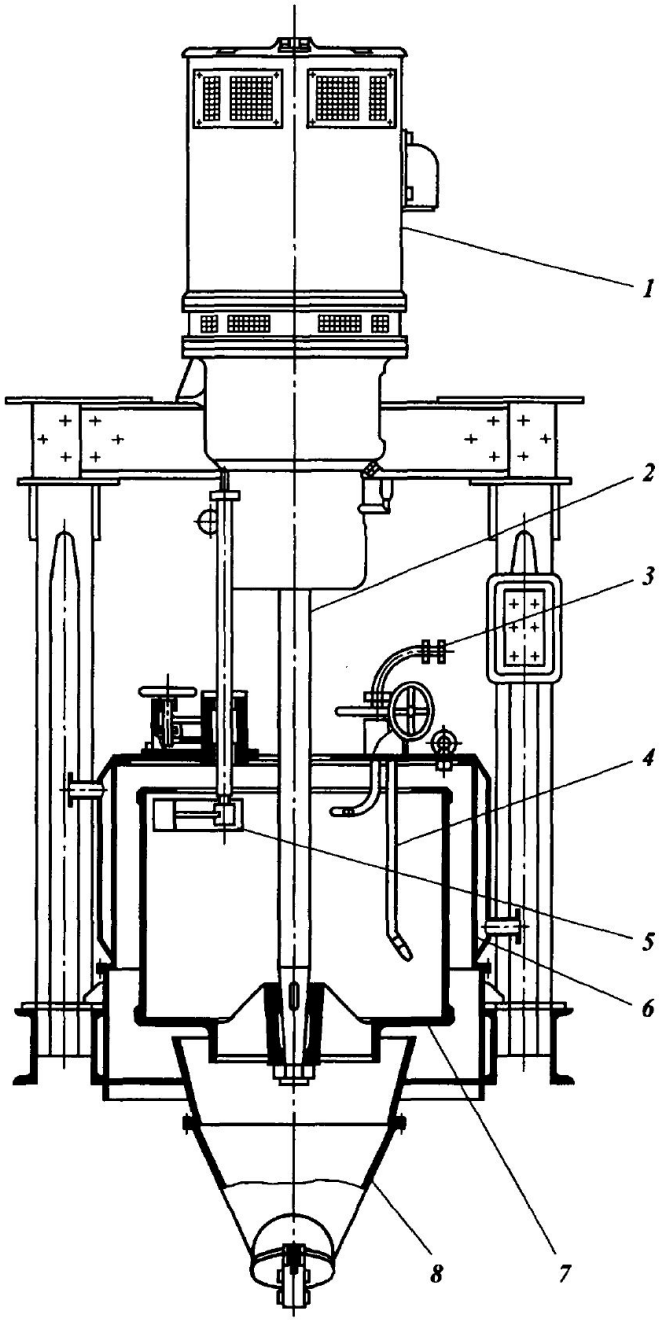


Рис. XIV-5. Конструкция подвесной осадительной центрифуги с верхним приводом и нижней выгрузкой осадка:

1 — электродвигатель; *2* — вал; *3* — отводящая труба; *4* — питающая (загрузочная) труба; *5* — механизм для среза осадка; *6* — кожух с паровой рубашкой; *7* — ротор; *8* — разгрузочный бункер

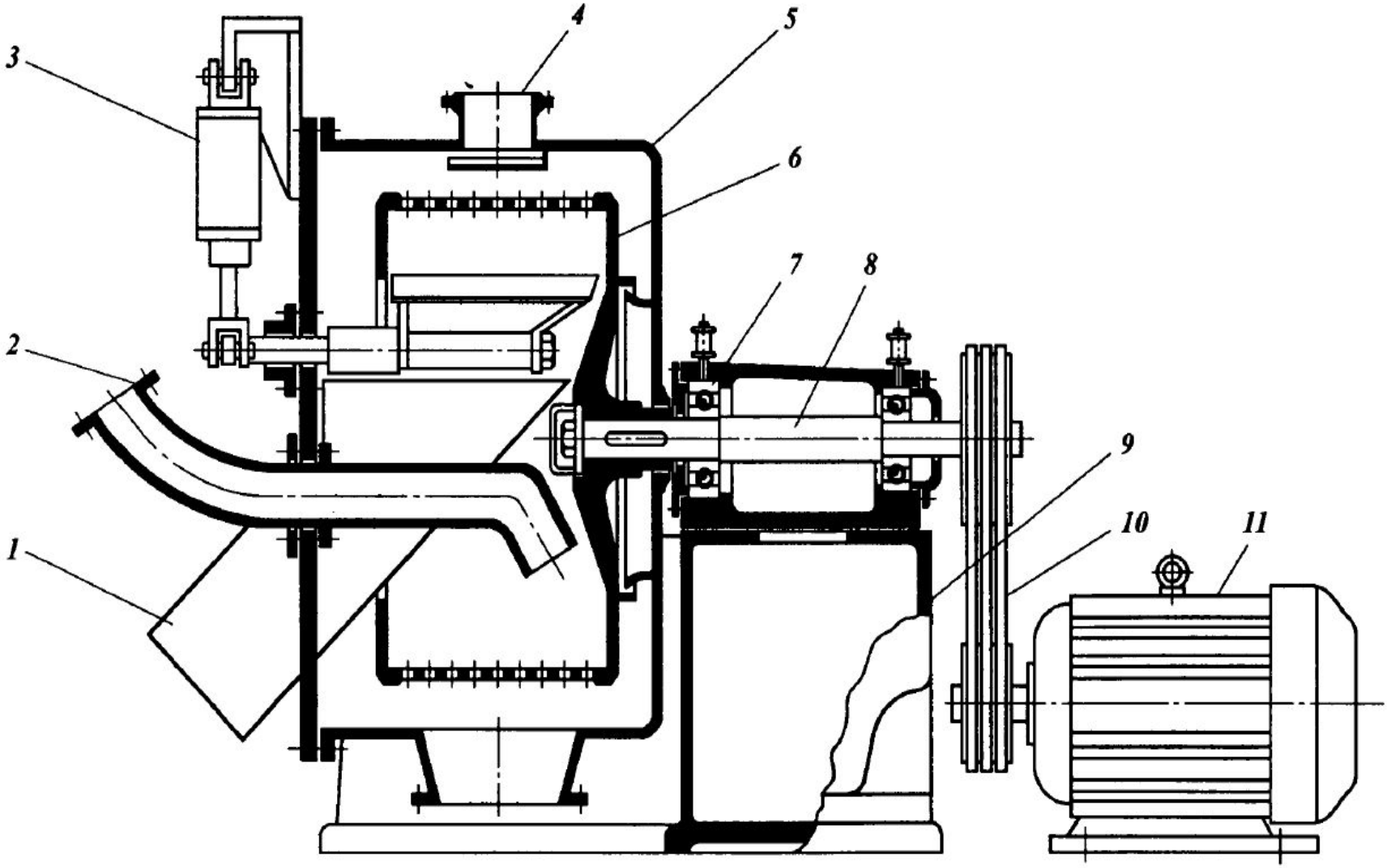


Рис. XIV-6. Конструкция горизонтальной центрифуги с ножевой выгрузкой осадка:
1 – разгрузочный бункер; *2* – питающая труба; *3* – механизм для среза осадка; *4* – воздушник; *5* – кожух; *6* – ротор; *7* – опоры вала; *8* – вал; *9* – станина; *10* – клиноременная передача; *11* – электродвигатель

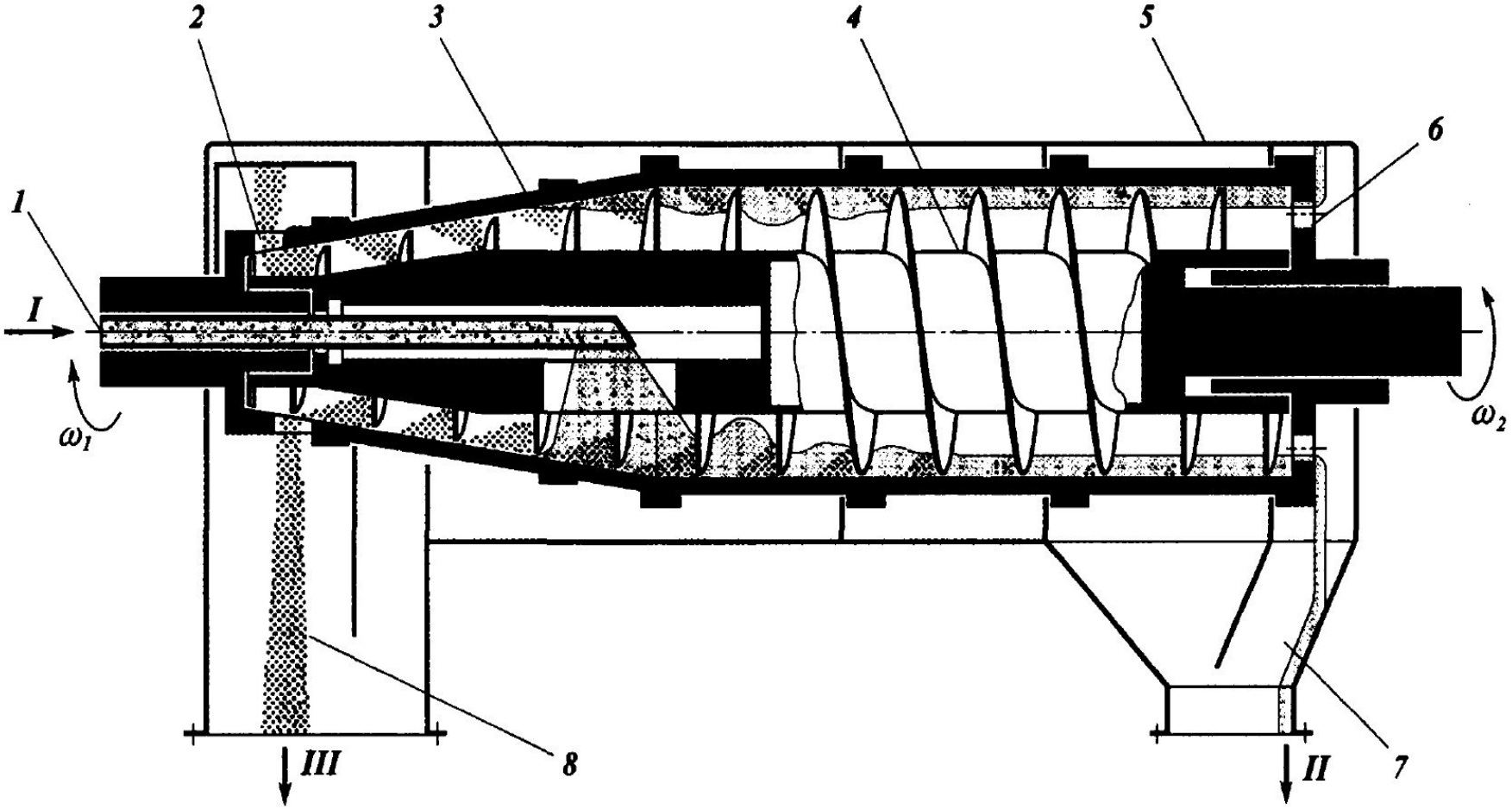


Рис. XIV-7. Схема осадительной горизонтальной центрифуги со шнековой выгрузкой осадка:
1 — питающая труба; *2* — выгрузочные окна; *3* — ротор; *4* — шнек; *5* — кожух; *6* — сливные окна; *7* — камера для фугата; *8* — камера для осадка. Потоки: *I* — суспензия; *II* — фугат; *III* — осадок

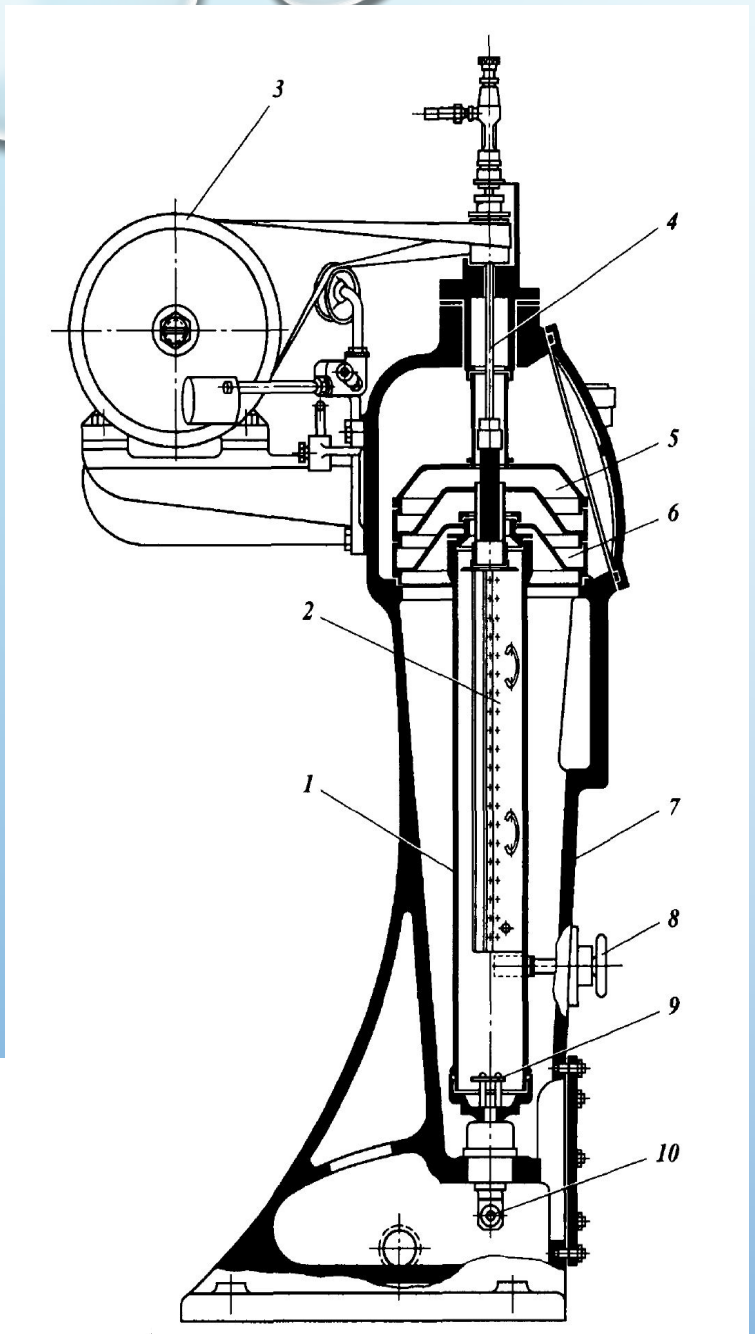


Рис. XIV-8. Конструкция трубчатой сверхцентрифуги для разделения эмульсий:
1 — ротор; *2* — крыльчатка; *3* — электродвигатель; *4* — вал; *5* — верхняя сливная тарелка; *6* — нижняя сливная тарелка; *7* — станина; *8* — тормоз; *9* — отбойный диск; *10* — питающая труба

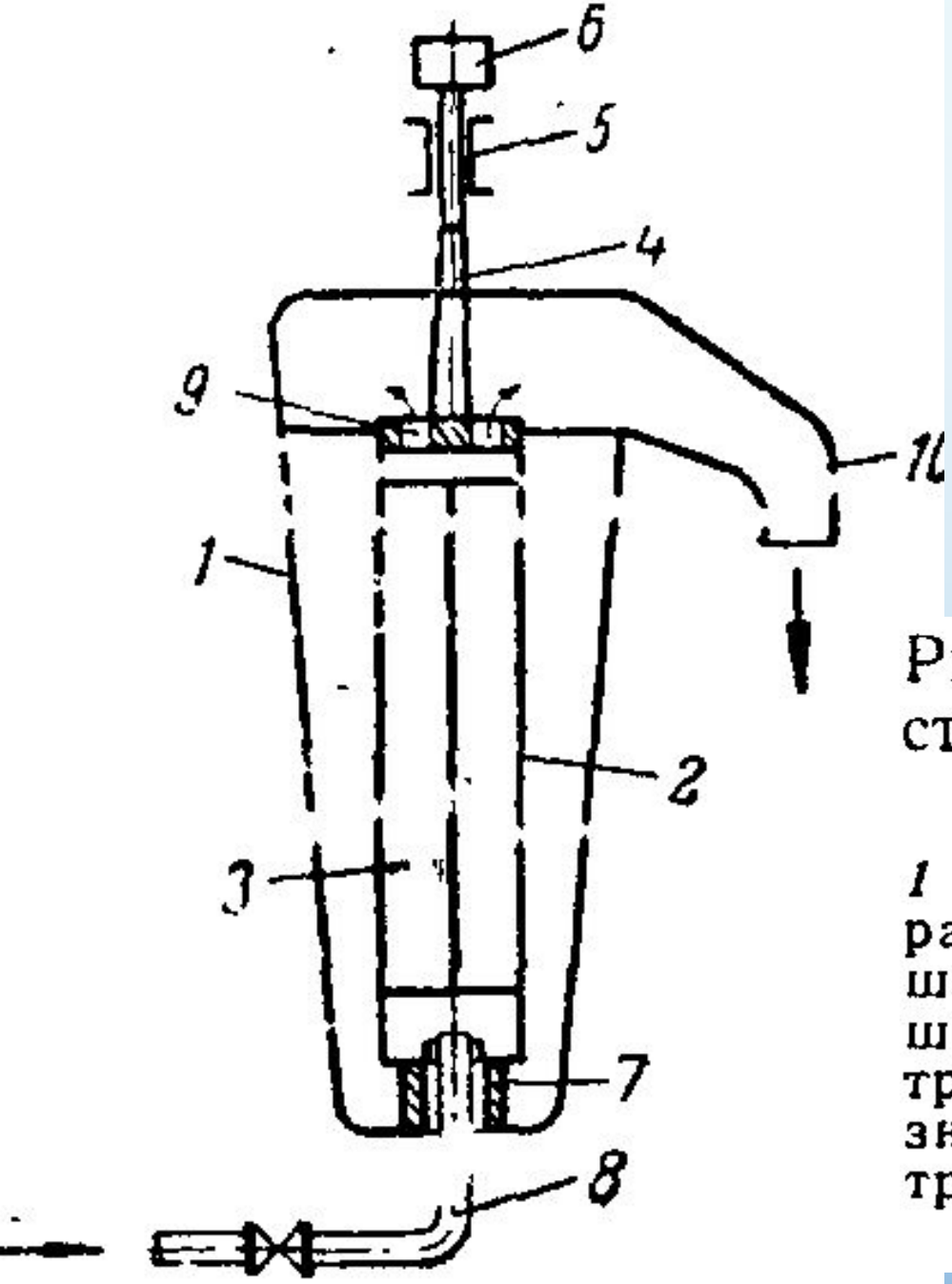


Рис. V-35. Схема устройства трубчатой сверхцентрифуги:

1 — кожух; *2* — ротор; *3* — радиальные лопасти; *4* — шпиндель; *5* — опора; *6* — шкив; *7* — подпятник; *8* — труба для подачи суспензии; *9* — отверстия; *10* — труба для отвода осветленной жидкости.