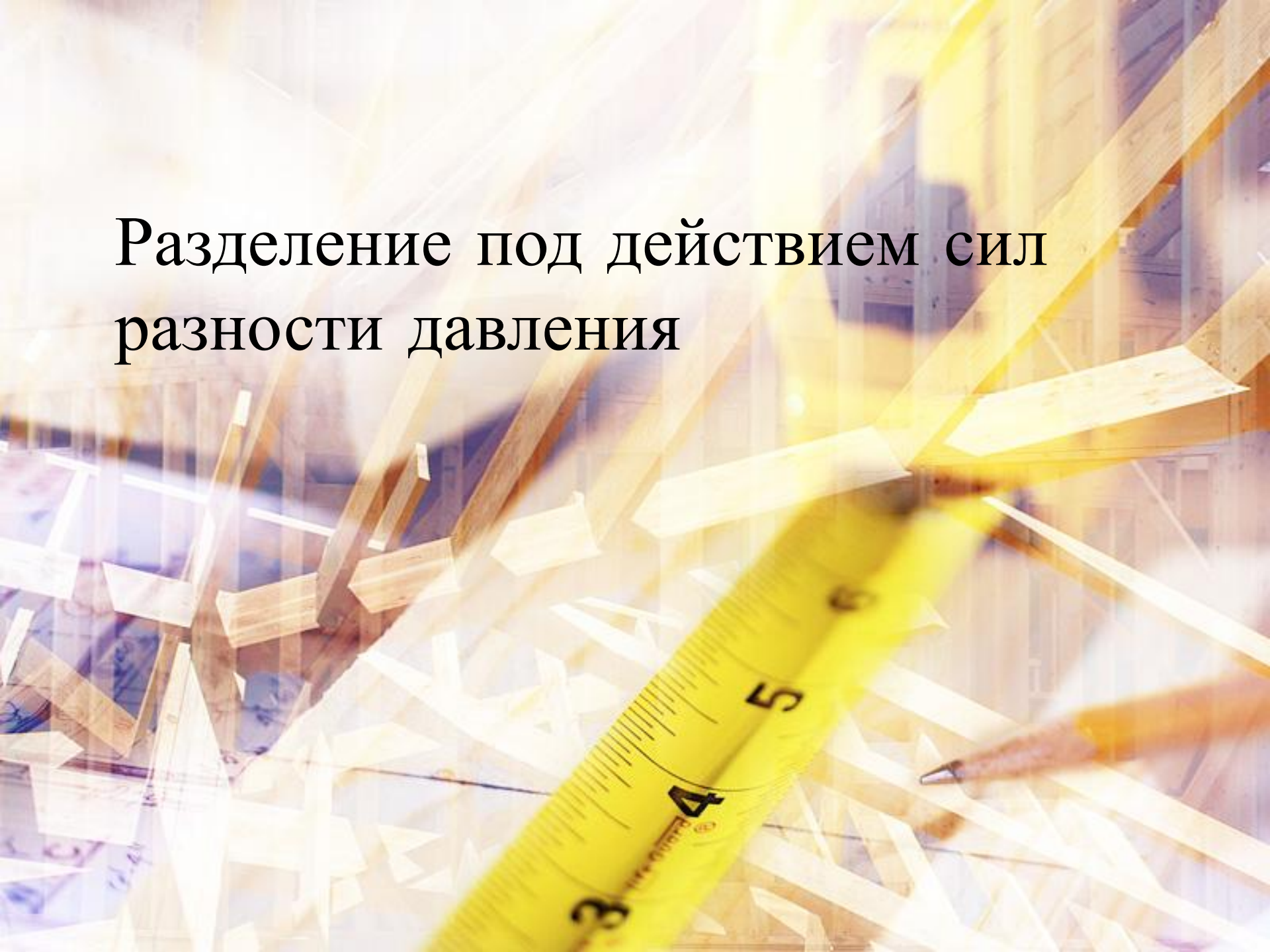



# Разделение под действием сил разности давления





# Фильтрация под действием сил разности давления

Уравнение процесса фильтрации и  
экспериментальное определение его констант.

# ФИЛЬТРОВАНИЕ

- **Фильтр**
- (франц. filtre, от позднелат. filtrum, буквально – войлок), аппарат, в котором с помощью фильтровальной перегородки осуществляется разделение, сгущение или осветление неоднородных систем, содержащих твёрдую и жидкую (газообразную) фазы.

# ФИЛЬТРОВАНИЕ

- Выделение дисперсной фазы из гетерогенной системы за счет пропускания ее через пористую фильтрующую перегородку.
- Фильтрацию используют для разделения суспензий на твердую (осадок) и жидкую (фильтрат) фазы.

# Виды фильтрации

- Фильтрация с образованием осадка
- Фильтрация с закупориванием пор;
- Промежуточный вид

# ФИЛЬТРОВАНИЕ

- Для движения жидкости в порах осадка и фильтрующей перегородки необходимо создать перепад давления над и под фильтрующей перегородкой.
- Перепад давления над и под фильтрующей перегородкой является движущей силой процесса и создается за счет разряжения под фильтрующей перегородкой (вакуум-фильтры) или создания давления над фильтрующей перегородкой (фильтры под давлением).

# Характеристики процесса

- Движущая сила процесса;
- Скорость процесса;
- Производительность фильтра;
- Константы процесса фильтрования

# Производительность фильтра

- Производительность фильтра зависит от режима фильтрования (давление, температура), вида фильтрующей перегородки и физико-химических свойств суспензии и осадка.



# Тип осадка

- Фильтрация со сжимаемым и несжимаемым осадком:
  - Несжимаемые осадки – пористость которых не меняется при увеличении давлений (мел, песок);
  - Сжимаемые осадки – пористость уменьшается, гидравлическое сопротивление потоку жидкой фазы возрастает с увеличением давления (гидраты окисей металлов)

# Фильтрующие перегородки

- По принципу действия
- По материалу
- По структуре
- Поверхностные и глубинные
- Керамика, стекло...
- Гибкие, негибкие жесткие, негибкие нежесткие

# Скорость фильтрации

- Интенсивность фильтрации и производительность фильтров характеризуются скоростью фильтрации – количество фильтрата, проходящего в единицу времени через единицу поверхности фильтра:

$$\omega = \frac{dV}{F \cdot d\tau}, \frac{м^3}{с \cdot м^2}$$

# Скорость фильтрации

- скорость фильтрации суспензии прямо пропорциональна разности давления по обе стороны фильтрующей перегородки ( $\Delta P$ ) и обратно пропорциональна сопротивлению процесса фильтрации:

$$\omega = \frac{\Delta P}{\mu R_f}$$

# Основное уравнение процесса фильтрации

$$\omega = \frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu R_{\phi}}$$

# Пояснения к уравнению

- где:  $V$  – объем фильтрата (осветленной жидкости),  $\text{м}^3$ ;

$F$  - площадь фильтра,  $\text{м}^2$ ;

$\mu$  - динамический коэффициент вязкости фильтрата,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;

$R_{\text{ф}}$ - сопротивление процесса фильтрования,  $\text{м}^{-1}$ .

# Сопротивление процесса фильтрации

- При расчете сопротивления процесса учитывают сопротивление фильтрующей перегородки и сопротивление слоя осадка, образующегося на перегородке,:

$$R_{\text{ф}} = R_{\text{фп}} + R_{\text{ос}}, \quad \text{м}^{-1}$$

или  $R_{\text{ф}} = R_{\text{фп}} + r_{\text{ос}} \cdot h_{\text{ос}}, \quad \text{м}^{-1}$

# Пояснения к уравнению

- где:  $R_{фп}$  - сопротивление фильтрующей перегородки,  $M^{-1}$  ;  
 $R_{ос}$  - сопротивление слоя осадка,  $M^{-1}$   
 $r_{ос}$  – удельное объемное сопротивление осадка, ;  
 $h_{ос}$  – высота слоя осадка, м.  $M^{-2}$



# Физический смысл

- **Сопротивление фильтрующей перегородки** равно перепаду давления, который необходимо создать для фильтрования жидкости вязкостью  $1\text{Па}\cdot\text{с}$  со скоростью  $1\text{м/с}$  через перегородку.
- **Удельное объемное сопротивление осадка** равно перепаду давления, который необходимо создать для того, чтобы через слой осадка высотой  $1\text{м}$  проходил фильтрат вязкостью  $1\text{Па}\cdot\text{с}$  со скоростью  $1\text{м/с}$ .

# Влияние $\Delta P$ на характер процесса

- если  $\Delta P = \text{const}$ , то накопление осадка на фильтре уменьшает скорость фильтрования (процесс нестационарный);
- если с увеличением толщины слоя осадка  $h_{\text{ос}}$  увеличивается  $\Delta P$ , скорость фильтрования остается постоянной (процесс стационарный).

**В промышленности наиболее распространены процессы нестационарного фильтрования.**

# Вывод уравнения

- Объем образующегося осадка зависит от площади фильтра:

$$V_{oc} = h_{oc} F, \text{ м}^3 .$$

Обозначив через  $x_o$  объем влажного осадка, образующегося на фильтре, при прохождении 1 м<sup>3</sup> фильтрата:

$$x_o = V_{oc} / V, \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

можно вывести зависимость толщины слоя осадка от объема

фильтрата и площади фильтра:

$$h_{oc} = x_o \cdot V / F, \text{ м};$$

подставив в уравнение  $h_{oc}$  получим

# ВЫВОД УРАВНЕНИЯ

$$\frac{dV}{F \cdot d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu \left( R_{\text{фн}} + \frac{r_{\text{ос}} x_0 V}{F} \right)}$$

- В полученном уравнении введем понятие удельная производительность фильтра  $q=V/F$

# Уравнение для определения постоянных процесса

- Постоянные процесса фильтрации можно определить графически:

$$\frac{\mu \cdot R_{fn}}{\Delta P} + \frac{\mu \cdot r_{oc} \cdot x_0}{2\Delta P} q = \frac{\tau}{q}$$

# Графическое определение постоянных уравнения

- Обозначив:

$$N = \frac{\mu \cdot R_{fn}}{\Delta P}$$

$$M = \frac{\mu \cdot r_{oc} \cdot x_o}{2\Delta P}$$

## Общий вид уравнения

- Уравнение для нестационарного процесса фильтрования :

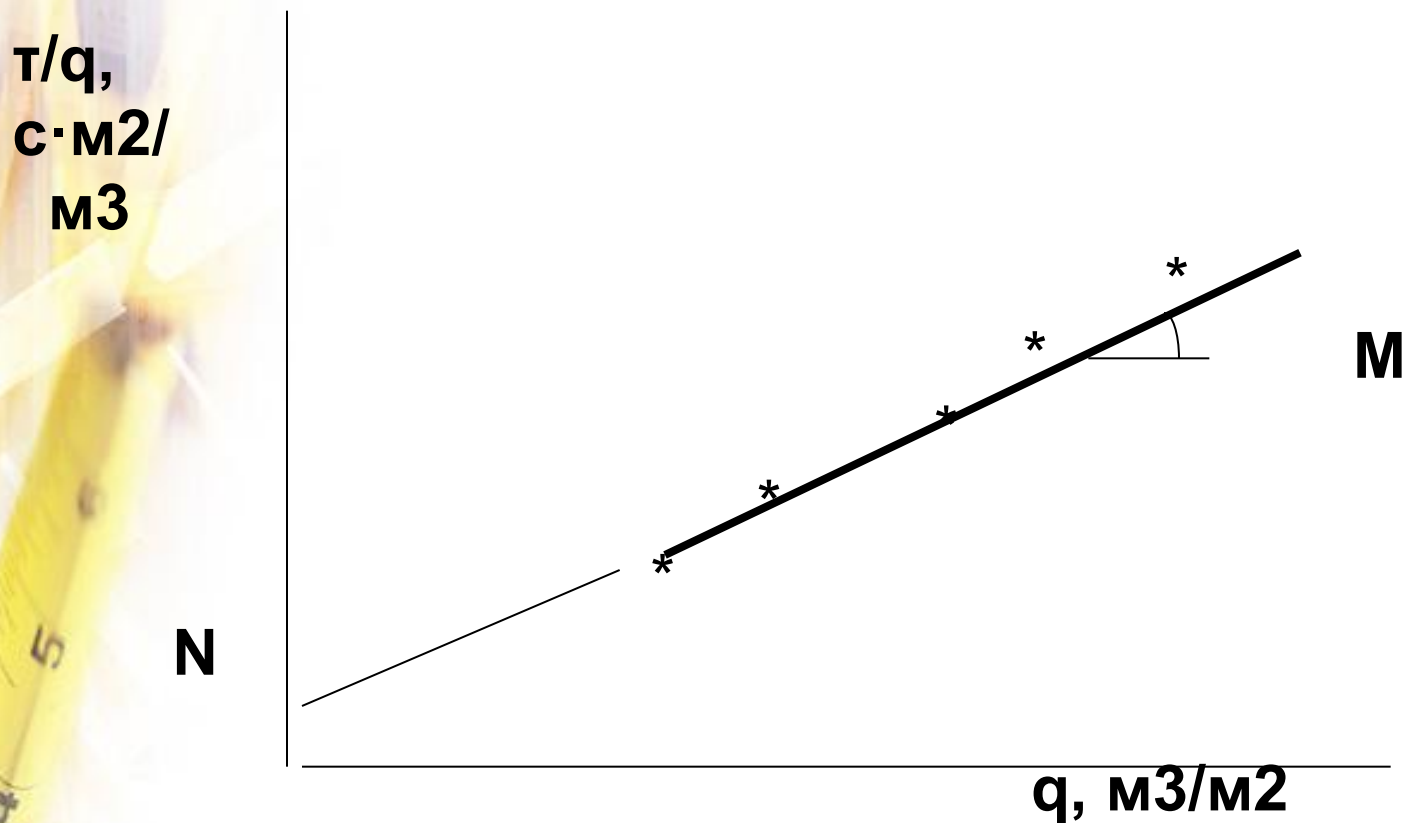
$$N + Mq = \frac{\tau}{q}$$

# Коэффициенты уравнения

- Коэффициенты  $N$  и  $M$  уравнения процесса фильтрации определяют экспериментальным путем. Уравнение для нестационарного процесса фильтрации – это уравнение прямой линии, тангенс угла наклона которой к оси абсцисс равен  $-M$ , а отрезок, отсекаемый линией на оси ординат,  $-N$ .



# График зависимости $\tau/q=f(q)$



# Определения

- **Фильтровальные перегородки**, материалы (естественные или искусственные) или изделия, имеющие пористую структуру (проницаемую для жидкости и газа) и применяемые для фильтрования.
- **Фильтровальные перегородки**, материалы должны обладать следующими свойствами:
  - 1) соответствующей пористостью (размеры пор должны быть такими, чтобы частицы осадка задерживались на перегородке),
  - 2) химической стойкостью к действию фильтруемой среды,
  - 3) достаточной механической прочностью,
  - 4) теплостойкостью при температуре фильтрования.

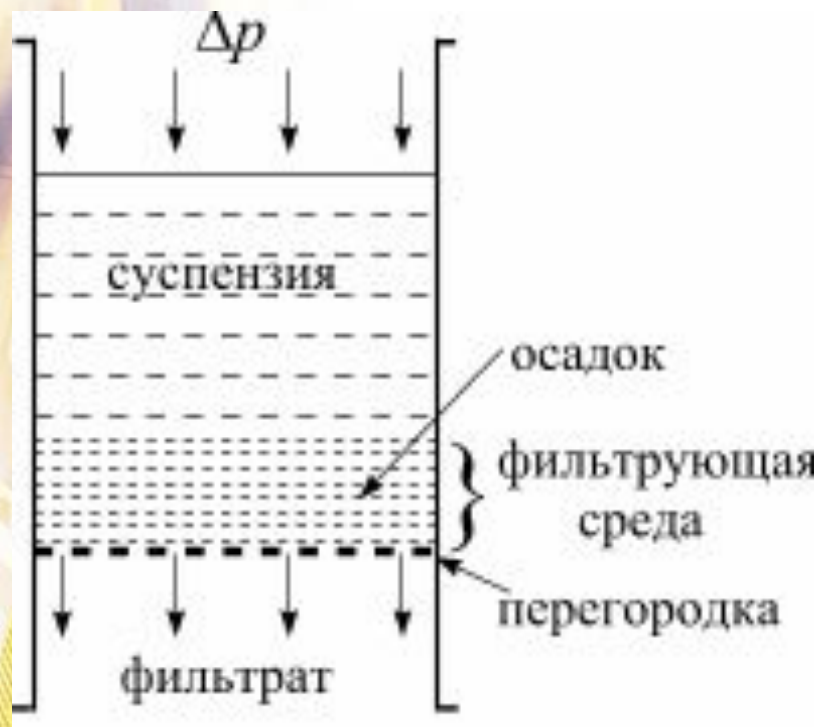
# Фильтровальные перегородки

- Различают гибкие и негибкие Ф. п.
- К гибким фильтровальным перегородкам относятся металлические перегородки в виде перфорированных листов и сеток из стали, меди, алюминия, никеля, серебра и др. материалов. Такие фильтры особенно удобны при работе с химически агрессивными жидкостями, в условиях повышенных температур и больших механических напряжений.
- К гибким Ф. п. относятся также неметаллические перегородки в виде тканей (Ткань техническая) или слоев несвязанных волокон (нетканые).

# Фильтровальные перегородки

- Неметаллические Ф. п. бывают асбестовые, стеклянные, хлопчатобумажные, шерстяные, поливинил-хлоридные, лавсановые и т.п. Негибкие Ф. п. могут быть жёсткие (в виде дисков, плит, патронов и листов), которые изготавливаются прессованием в формах с последующим спеканием из керамических, металлических, стеклянных и синтетических порошков, и нежёсткие, состоящие из соприкасающихся (но не связанных жестко) частиц каменного, древесного и животного углей, кокса, диатомита, песка, глины и т.п. материалов.

# Схема процесса фильтрации



- При фильтровании суспензия разделяется с помощью пористой перегородки на жидкую фазу в виде фильтрата и твердую фазу в виде осадка .
- Движущей силой процесса является разность давлений по обе стороны фильтрующей среды, которая состоит из фильтрующей перегородки и слоя образующегося на ней осадка.

# Скорость фильтрования

- Основной характеристикой процесса является скорость фильтрования - объем фильтрата, получаемый за единицу времени с единицы поверхности фильтра.
- Скорость фильтрования прямо пропорциональна разности давлений  $\Delta P$ , обратно пропорциональна вязкости фильтрата  $\mu$  и сопротивлению фильтрующей среды, т.е. сумме сопротивлений слоя осадка  $R_o$  и фильтрующей перегородки  $R_p$ .
- В большинстве случаев  $R_o$  существенно больше  $R_p$ .
- Толщина осадка  $h$ , а следовательно и его сопротивление в процессе фильтрования увеличивается, в том числе и за счет его сжатия под действием  $\Delta P$  и закупорки каналов мелкими частицами.
- Сопротивление перегородки также изменяется вследствие забивки ее пор и сжатия.

Основное уравнение фильтрования записывается в дифференциальной форме:

$$\frac{dV}{d\tau} = F \cdot \frac{\Delta p(\tau)}{\mu \cdot [R_o(\tau) + R_{\pi}(\tau)]}$$

Здесь  $V$  - объем фильтрата,  $F$  - поверхность фильтрования,  $\tau$  - продолжительность фильтрования.

На величину сопротивления осадка и перегородки кроме гидродинамических факторов, т.е. размеров и формы пор перегородки, формы, размеров и удельной поверхности частиц осадка, оказывают влияние и физико-химические факторы: степень коагуляции частиц осадка, наличие на них сольватной оболочки, содержание в суспензии смолистых и коллоидных примесей, набухание материала перегородки, изменение поверхностного натяжения жидкости в порах осадка и перегородки, образование у стенок пор неподвижного слоя жидкости, электростатические поля, возникающие на границе раздела фаз при наличии ионов в суспензии. Влияние этих факторов увеличивается с уменьшением размера пор осадка и пор перегородки.

# Жидкостные фильтры

- по принципу действия подразделяются на две основные группы: периодические и фильтры непрерывного действия.
- Фильтры различаются по способу создания в них разности давлений (работающие под вакуумом или под избыточным давлением),
- по геометрии фильтрующей поверхности (плоская или криволинейная),
- В фильтрах периодического действия на всей поверхности фильтрующей поверхности поочерёдно осуществляются поступление суспензии и образование осадка (фильтрование), обезвоживание, промывка и удаление осадка, регенерация.
- В фильтрах непрерывного действия указанные операции проходят непрерывно, одновременно и независимо одна от другой в каждой соответствующей зоне фильтра.



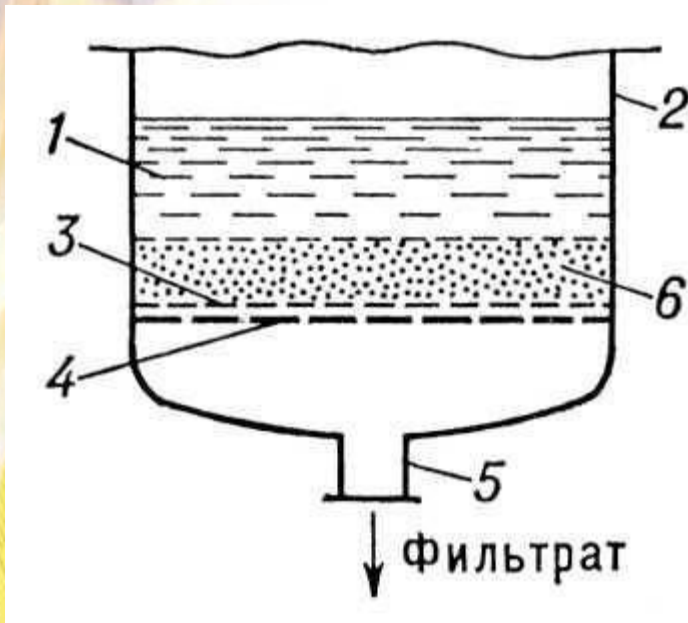
# Фильтры периодического действия

- К фильтрам периодического действия относятся
- ёмкостные ,
- листовые ,
- фильтр-прессы,
- патронные .

# Ёмкостный фильтр

- Ёмкостный фильтр применяют для разделения небольших количеств суспензий.
- Он может работать под вакуумом (путч-фильтр) и под избыточным давлением (друк-фильтр).
- Корпус ёмкостного фильтра бывает открытым или закрытым.
- Фильтровальная поверхность располагается на перфорированном днище.
- В верхнюю часть корпуса подаётся разделяемая суспензия. Из нижней части отводится фильтрат.
- В фильтрах с механизированной выгрузкой осадок удаляется через откидное днище.
- В фильтрах с открытым корпусом – опрокидыванием или вручную.

# Ёмкостный фильтр

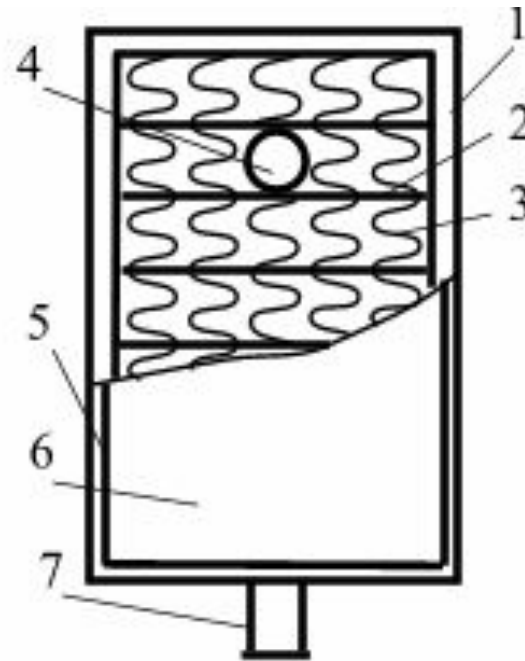
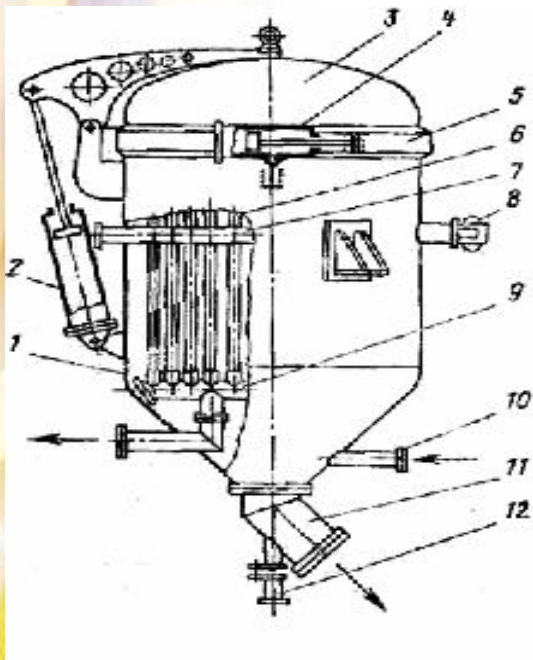


1. Суспензия
2. Корпус фильтра
3. Опорная решетка
4. Решотка
5. Выходной патрубок
6. Песчаный фильтр

# Листовой фильтр.

- Используют для осветления растворов и разделения суспензий, содержащих не более 5% (по объёму) твёрдой фазы.
- Фильтрующие элементы круглой или прямоугольной формы, обтянутые (обычно тканью), соединены с коллектором для отвода фильтрата.
- Суспензия подаётся в корпус фильтра. Слой осадка промывается (после удаления из корпуса остатка суспензии).

# Листовой фильтр.



1 - корпус; 2,4 - пневмоцилиндры;  
3,5 - крышка с байонетным затвором;  
6 - лист; 7 - подача жидкости для  
смыва осадка и сжатого воздуха;  
8 - вибровозбудитель; 9 - отвод  
фильтрата; 10,11 - подача суспен-  
зии и выгрузка осадка; 12 - клапан.

1 - рамка; 2,3 - каркасная и пру-  
жинная сетка; 4 - осушка и смыв  
осадка; 5 - резиновый шнур;  
6 - ткань; 7 - отвод фильтрата

# Фильтр-прессы

- Фильтр-прессы применяют в основном для разделения тонкодисперсных суспензий. К ним относятся рамные и камерные фильтр-прессы и камерный автоматический фильтр-пресс (ФПАКМ).
- Рамный фильтр-пресс представляет собой блок чередующихся вертикальных плит и рам, прижатых друг к другу ручным, гидравлическим или электромеханическим зажимом.
- Рамы образуют в собранном аппарате свободные плоские камеры (карманы) для приёма суспензии. Плиты с рифлёными боковыми поверхностями служат дренирующим основанием для фильтр-прессов.

# Фильтр-прессы

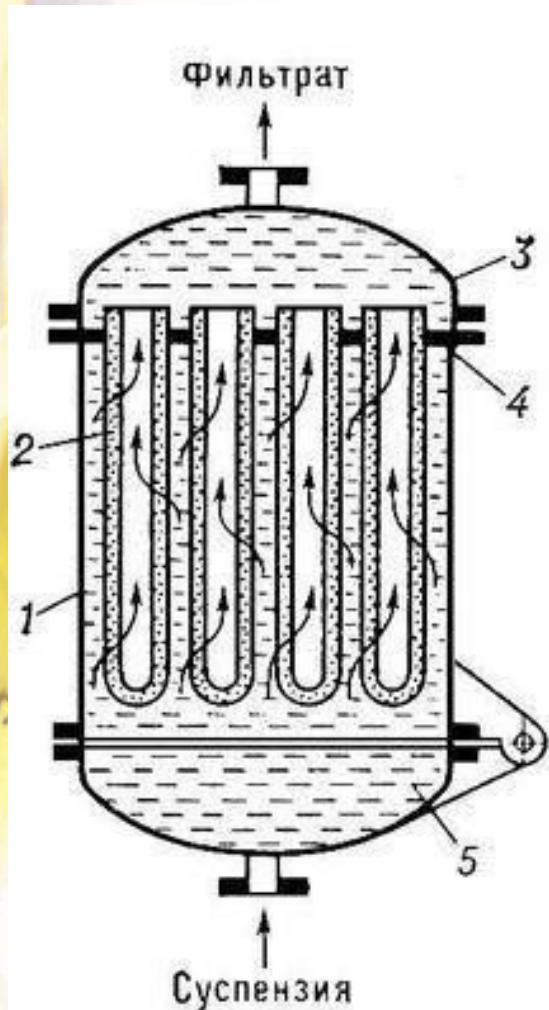
- Под действием избыточного давления фильтрат проходит через фильтр-пресс, затем стекает по желобкам рифлёных плит и через отводные каналы поступает в сборник. Твёрдые частицы образуют в камерах слой осадка, который удаляется при раздвигании плит. Действие камерного фильтр-пресса подобно работе рамного фильтр-пресса, но он рассчитан на более высокое избыточное давление. Камерный автоматический фильтр-пресс состоит из расположенных горизонтально на некотором расстоянии одна от другой фильтрующих плит, которые в свою очередь находятся между двумя поддерживающими плитами. Сверху каждая фильтрующая плита покрыта перфорированным листом, над которым находится ФП в виде бесконечной ленты.

# Фильтр-прессы

- При сжатии плит между ними образуются камеры, в которые последовательно подаётся из соответствующих коллекторов суспензия, промывная жидкость и сжатый воздух для продувки. Фильтрат проходит через ФП, а твёрдая фаза остаётся на ней в виде осадка. По окончании цикла фильтрования плиты раздвигаются, между ними открывается щель и ФП приводится в движение, вынося осадок наружу, где он снимается ножами. Работа Ф. автоматизирована. Производительность в 4–10 раз выше производительности рамного фильтра.

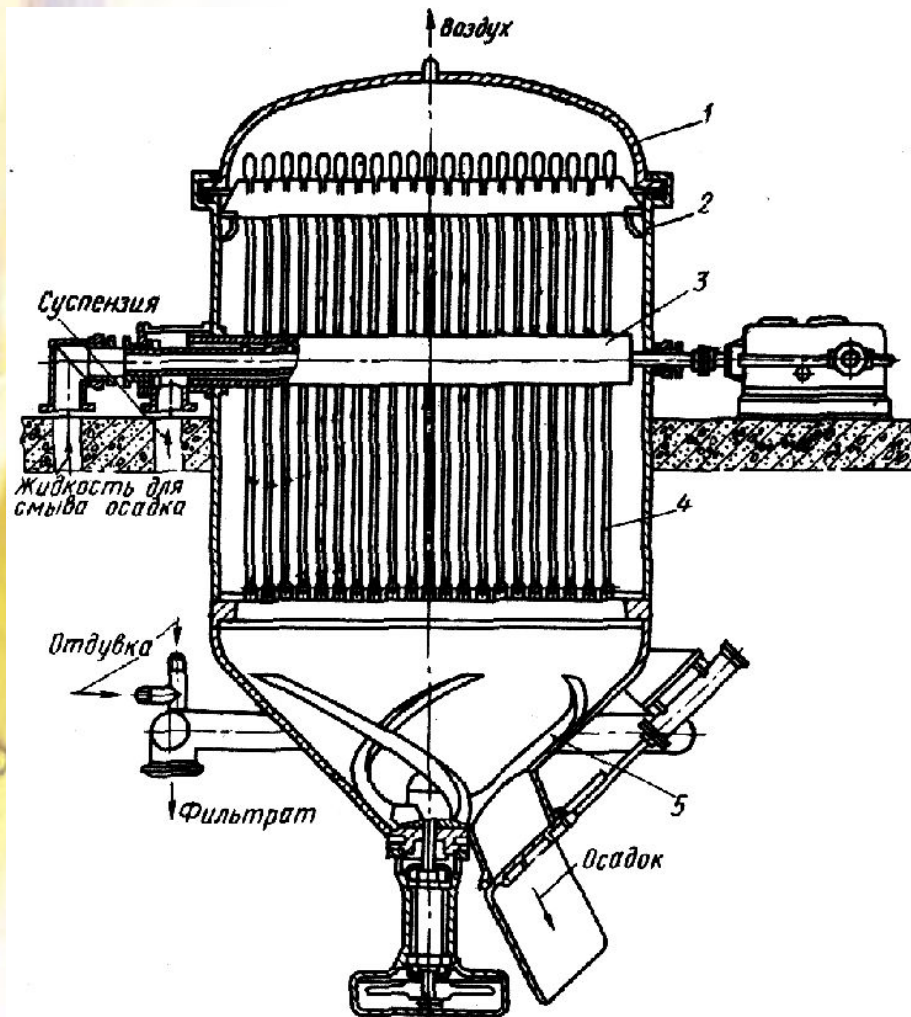


# Патронный фильтр

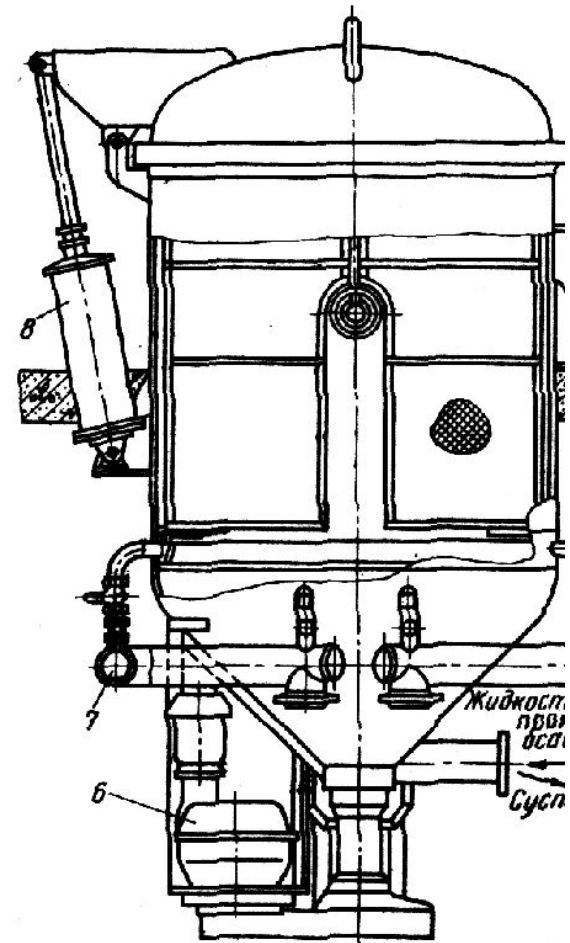


- Патронный фильтр применяют для осветления или сгущения суспензий; работает под вакуумом или под давлением и состоит из корпуса с крышкой и дном. Внутри находится решётка, на которой закреплена фильтрующая поверхность в виде патрона (обычно патронный фильтр имеет несколько десятков таких патронов). Удаление осадка с последней производится отдувкой сжатым воздухом, пневмогидравлическим ударом или с помощью вибрационных устройств.

# Патронный фильтр



Сергей Чекрызов



42

# Фильтры непрерывного действия

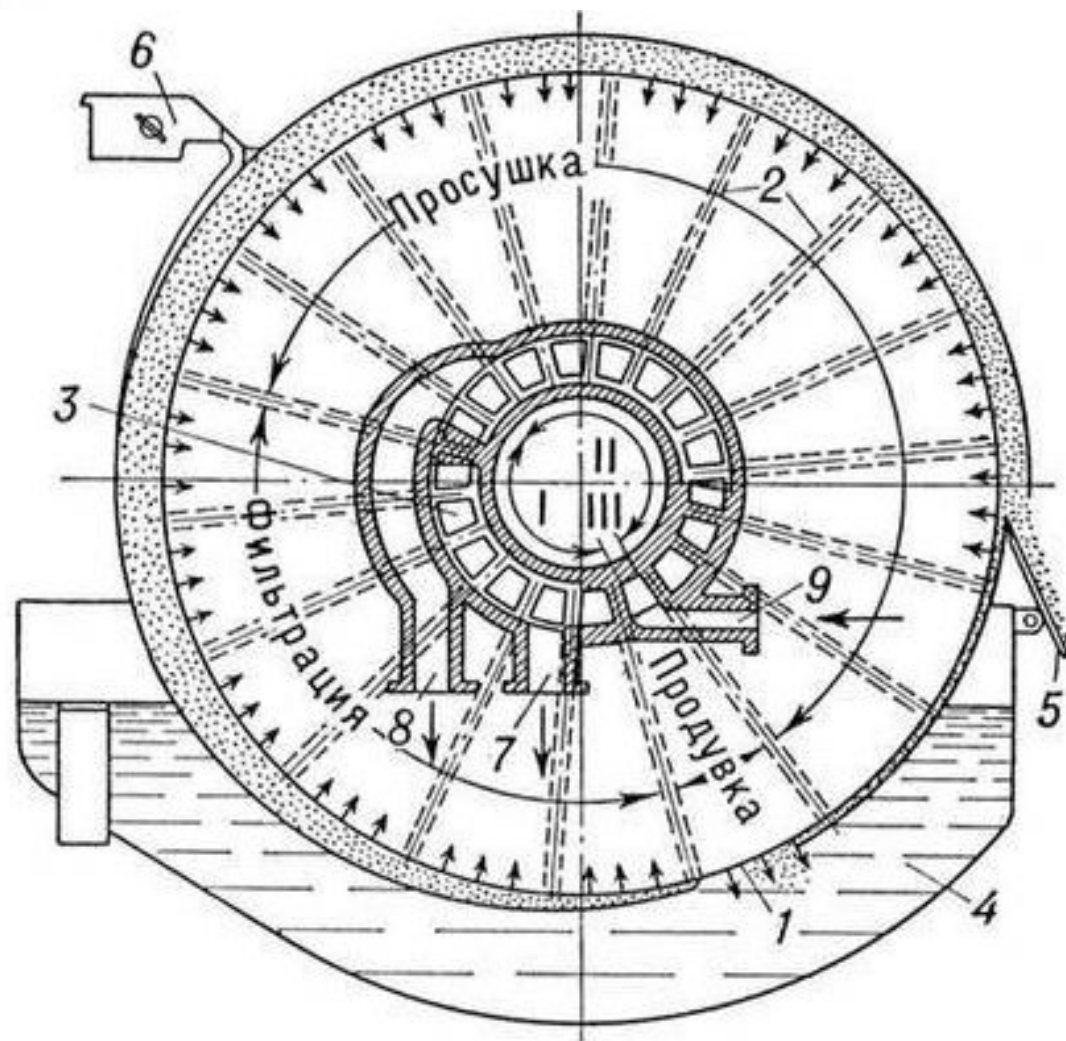
К фильтрам непрерывного действия относятся

- барабанные,
- дисковые,
- ленточные,
- тарельчатые и
- карусельные .

# Вакуум-фильтр

- **Вакуум-фильтр** представляет собой горизонтальный вращающийся барабан, который изнутри разделён радиальными герметичными перегородками на отдельные ячейки, соединённые трубками с распределительной головкой. По мере вращения барабана в ячейках создаётся вакуум или избыточное давление. При вращении барабан проходит зону фильтрации, где жидкость засасывается в барабан, а твёрдые частицы оседают на фильтрующей ткани. После промывания осадка водой барабан входит в зону сушки, где через осадок просасывается воздух, затем в зону удаления осадка. Здесь изнутри барабана подаётся сжатый воздух, а осадок с поверхности барабана срезается ножом.

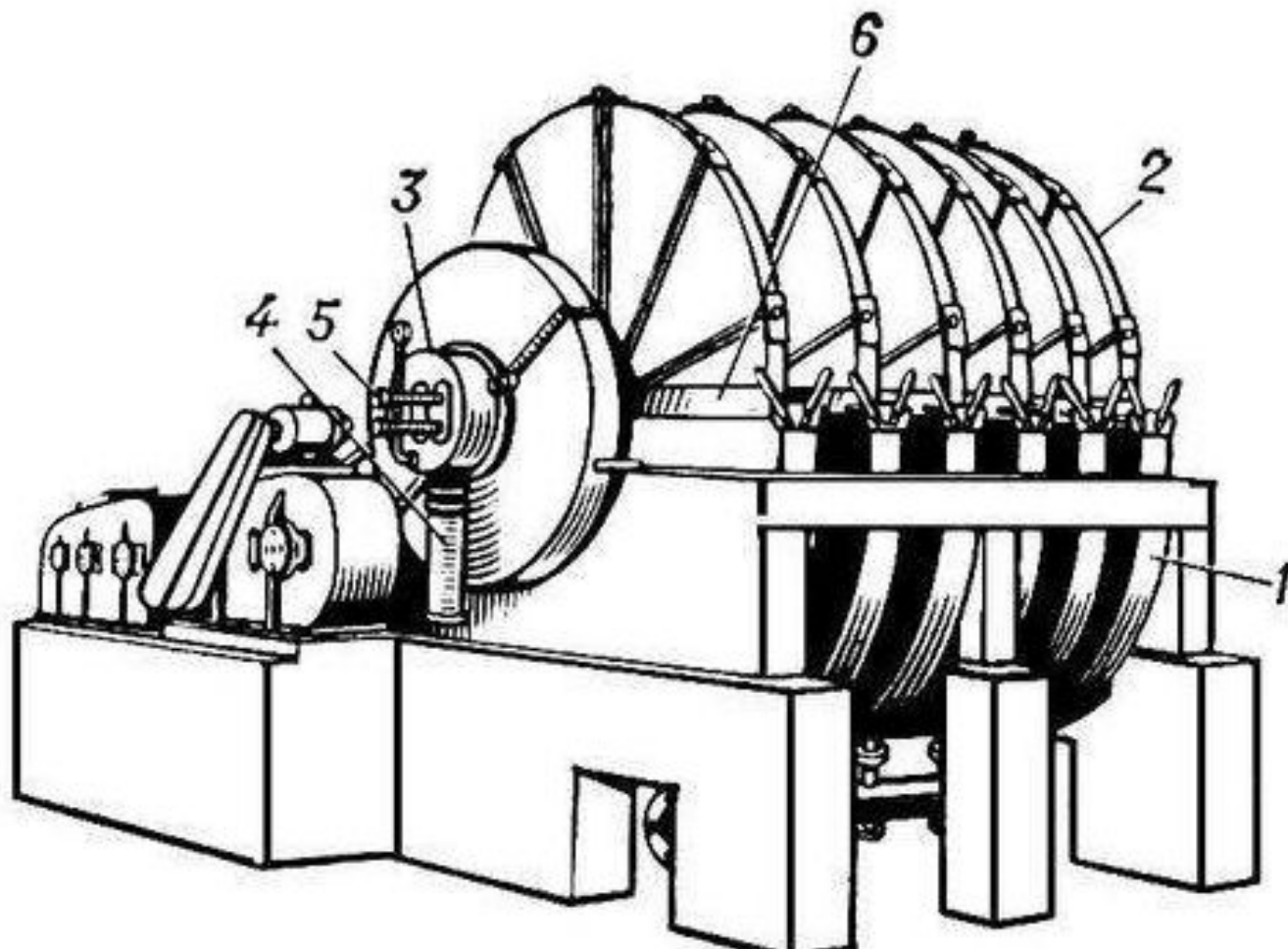
# Вакуум-фильтр



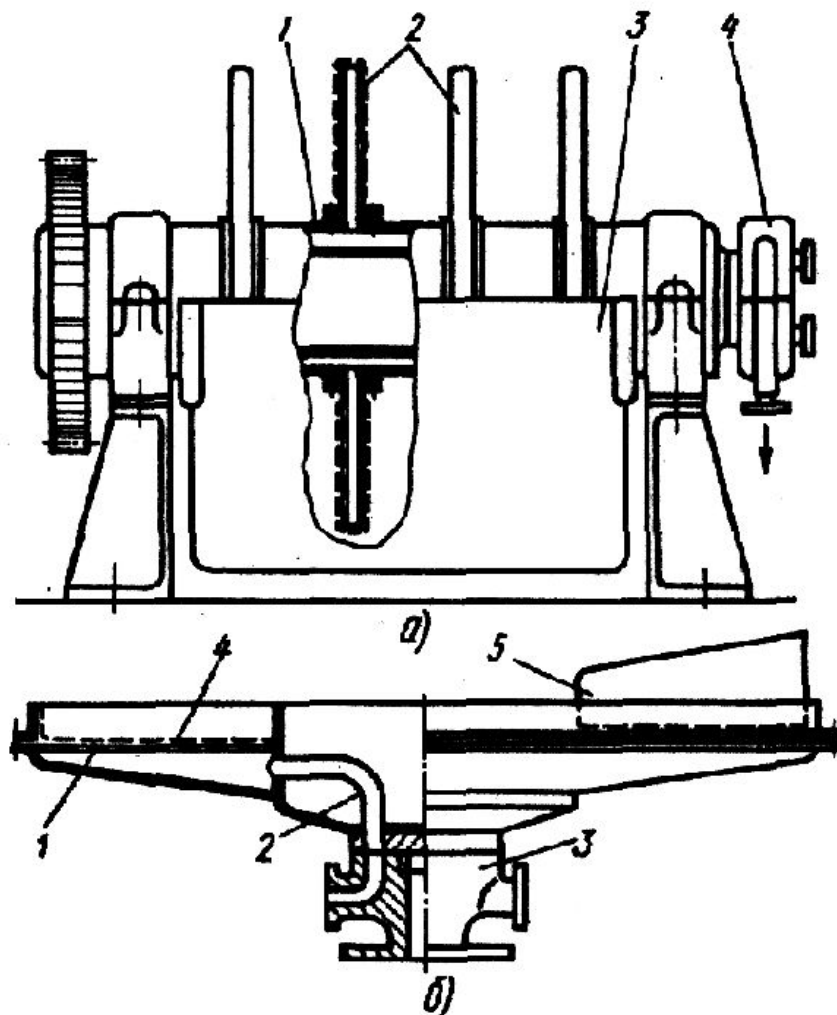
# Дисковый вакуум-фильтр

- Дисковый вакуум-фильтр предназначен для разделения суспензий с близкими по размерам частицами твёрдой фазы.
- Имеет более развитую фильтрующую поверхность, чем барабанные вакуум-фильтры.
- В дисковом вакуум-фильтре на горизонтально расположенном полом валу, разделённом на секции, укреплены вертикальные диски. Вал с дисками вращается в корыте, имеющем форму полуцилиндра и заполненном разделяемой суспензией.
- Каждый диск состоит из обтянутых ФП полых секторов, имеющих с обеих сторон перфорированную или рифлёную поверхность. Полость каждого сектора диска сообщается с отводящим каналом для удаления фильтрата. Съём осадка осуществляют сжатым воздухом (для отдувки), посредством ножей и валков (для отрыва и направления выгрузки).

# Дисковый вакуум-фильтр



# Дисковый вакуум-фильтр

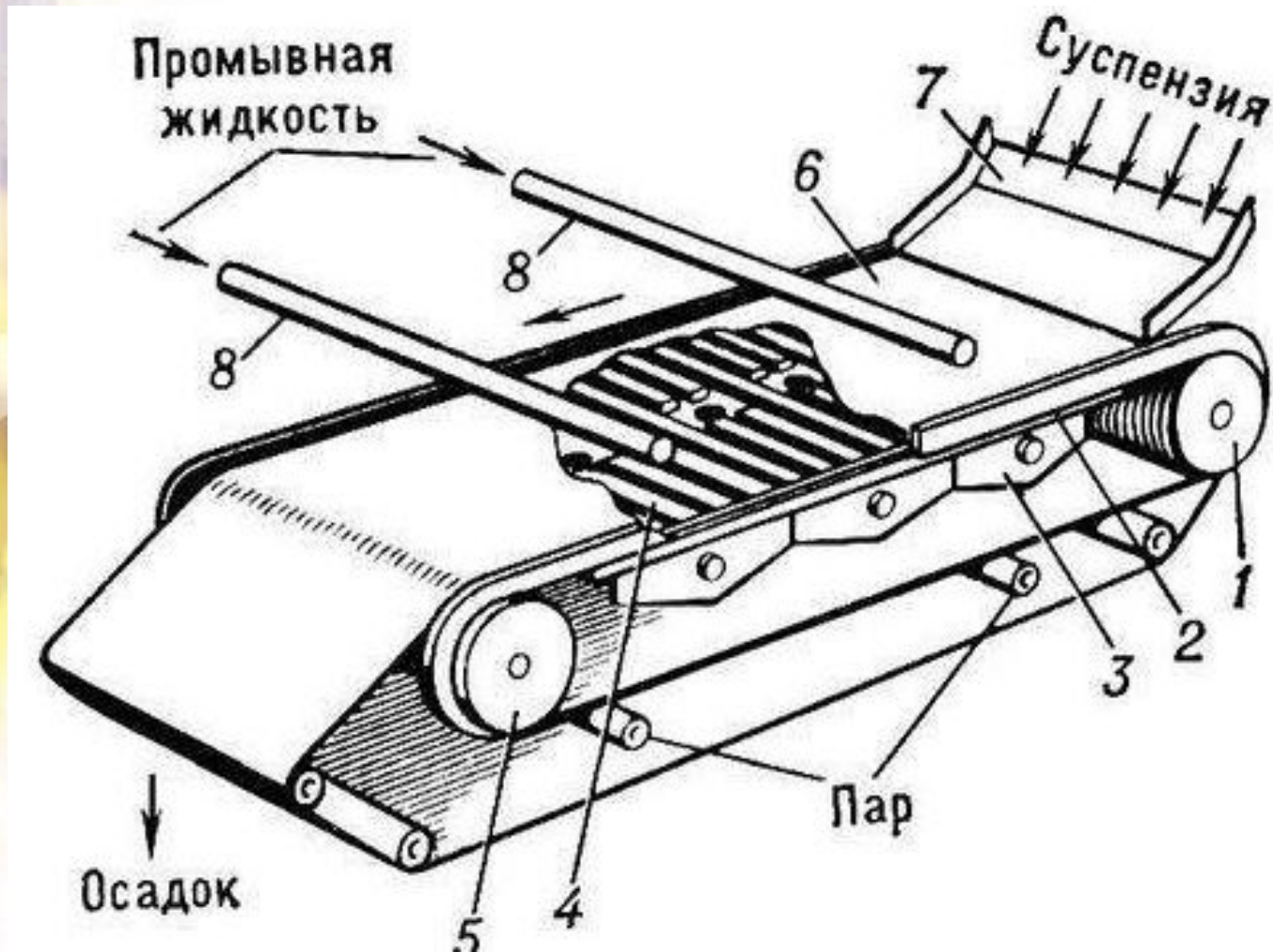




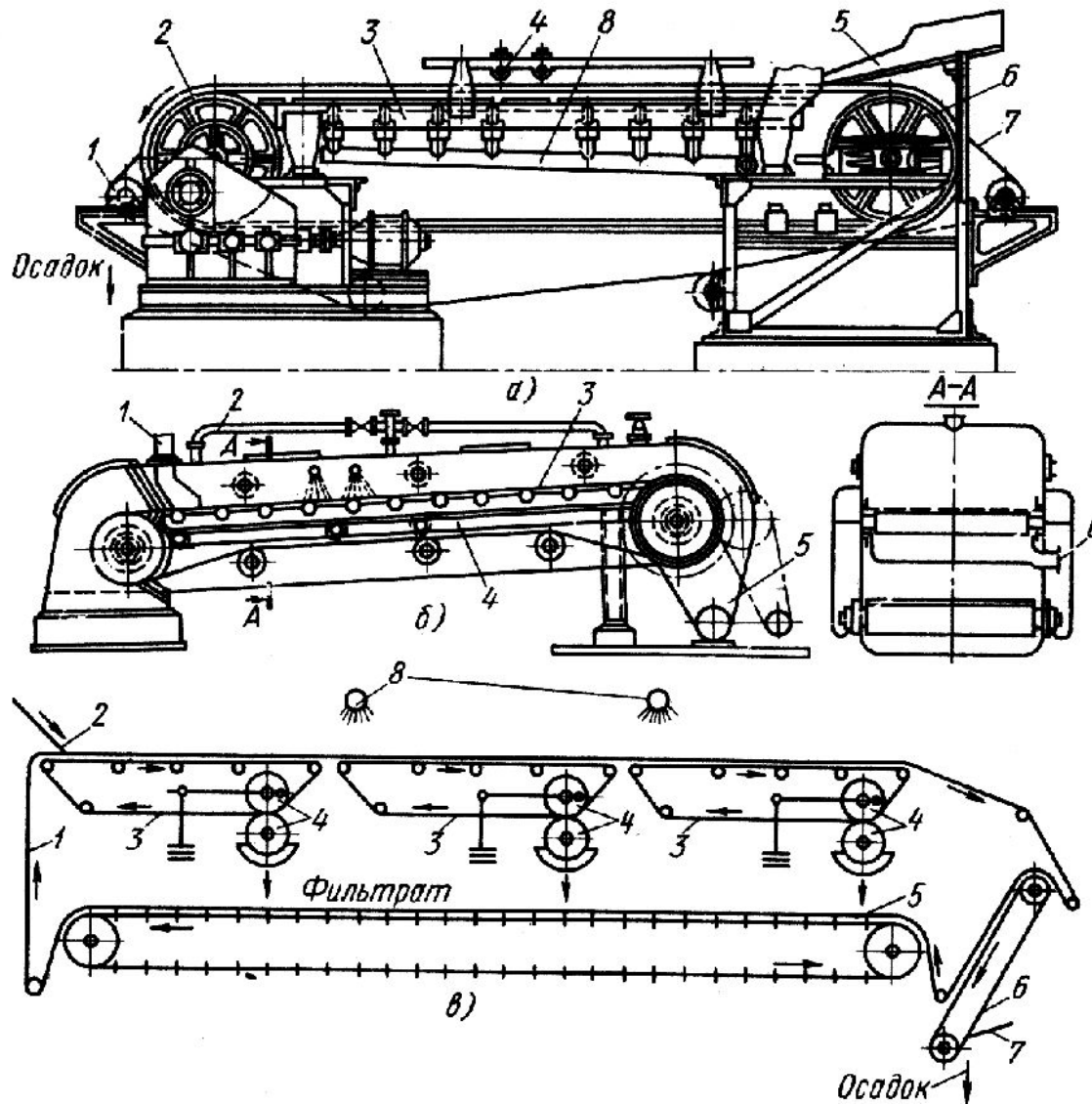
# Ленточный вакуум-фильтр

- Ленточный вакуум-фильтр предназначен для разделения суспензий, образующих неоднородный по размерам частиц тяжёлый и требующий тщательной промывки осадок.
- Фильтр представляет собой стол, в котором имеются вакуум-камеры для отвода фильтрата и промывной жидкости. Фильтровальная поверхность (обычно ткань) покрывает прорезиненную перфорированную ленту, натянутую на крайних барабанах стола. Осадок сбрасывается в сборник при перегибе фильтровальной поверхности. Регенерация фильтровальной поверхности производится при обратном движении ленты с помощью механических щёток или паровых форсунок.

# Ленточный вакуум-фильтр



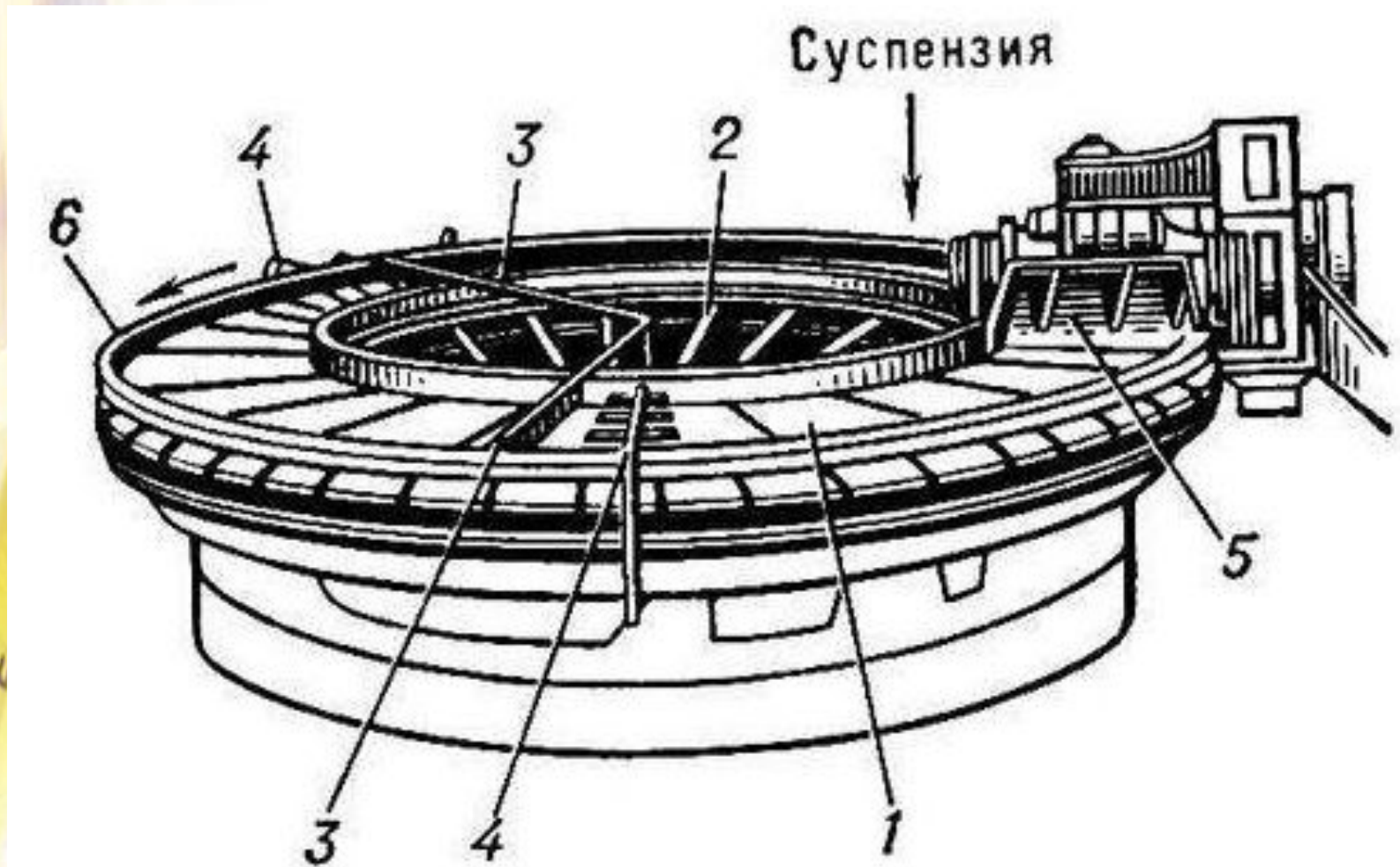
# Ленточный вакуум-фильтр



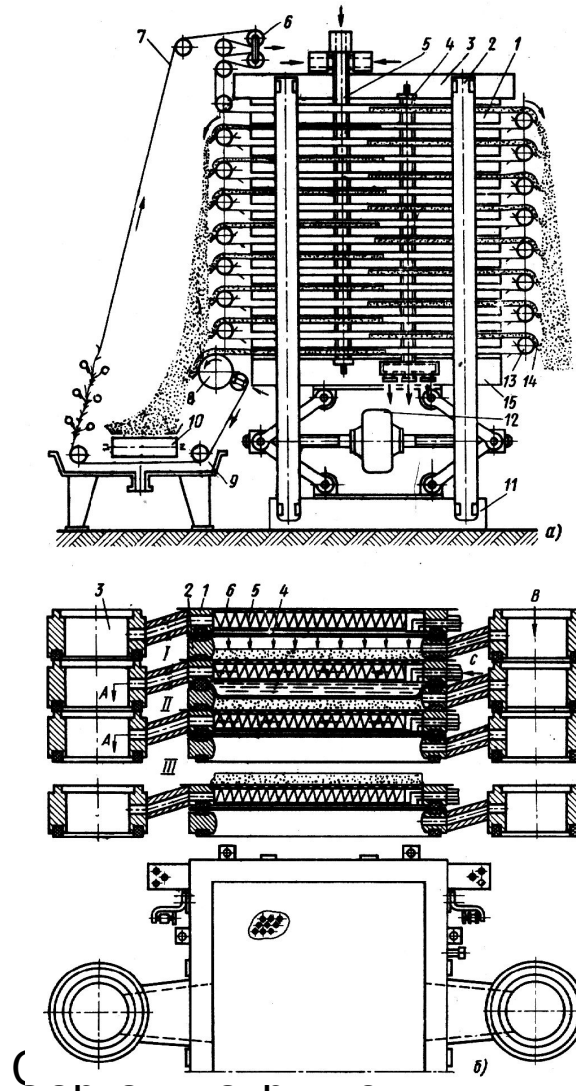
# Тарельчатые вакуум-фильтры

- Тарельчатые вакуум-фильтры применяют преимущественно для обезвоживания крупнозернистых шламов в производстве калия, в подготовке каменного угля и руд и т. д.
- Основная деталь фильтра – кольцо, состоящее из ряда трапецеидальных секторов, каждый из которых является фильтрующей ячейкой. Последняя открыта сверху и имеет днище, наклоненное к центру для облегчения стока жидкости. По верху ячейки уложен перфорированный лист, на котором находится фильтровальная поверхность. Внутренняя полость каждого сектора с помощью соединительных трубок сообщается с каналами распределительного устройства, жестко связанного с корпусом.
- Фильтр приводится во вращение электродвигателем. За один оборот ячейки  $\Phi$ . последовательно соединяются с линиями вакуума и сжатого воздуха. Подача суспензии осуществляется в ячейки сверху. Съём осадка производится ножом или шнеком.

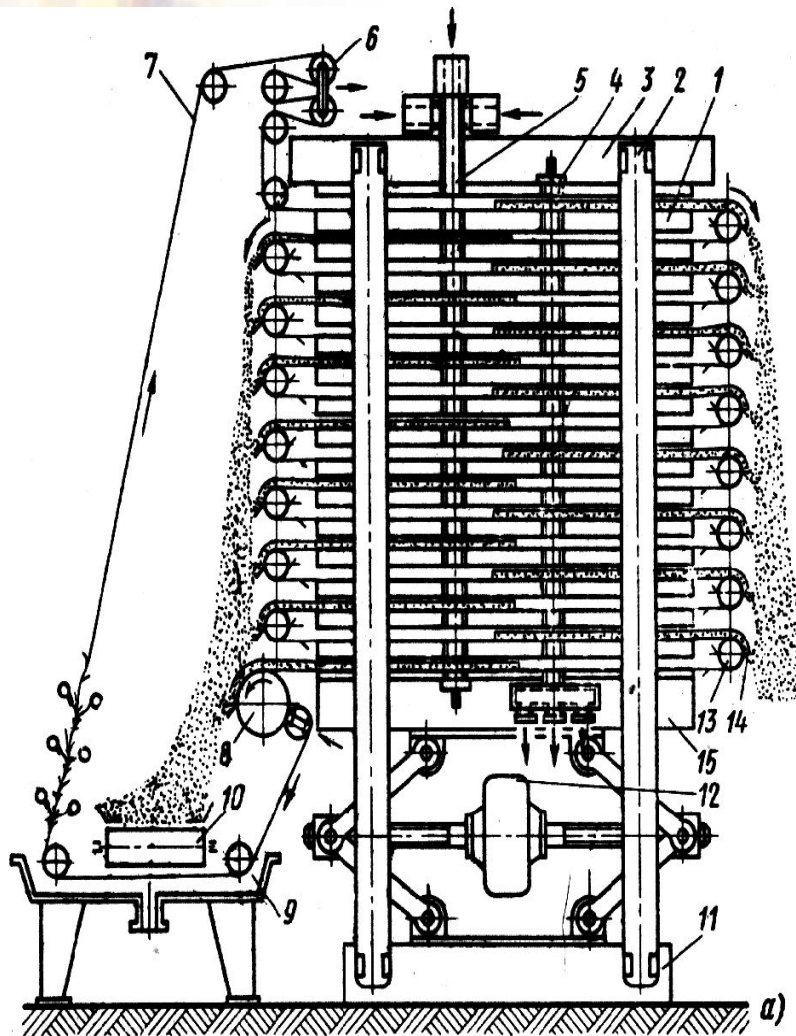
# Тарельчатые вакуум-фильтры



# Ленточный фильтр-пресс

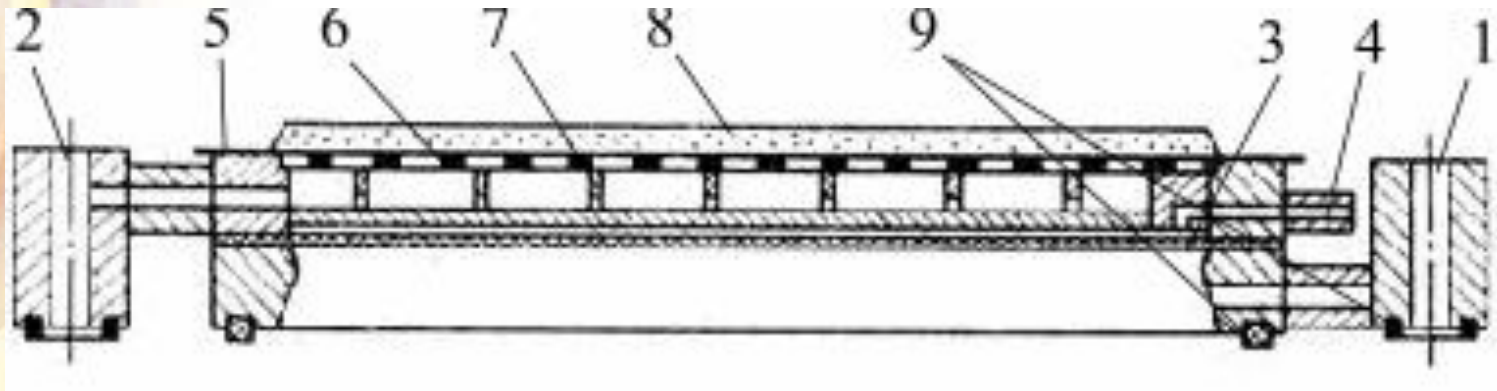


# Ленточный фильтр-пресс



1 - фильтровальная плита; 2 - стяжка; 3 - упорная плита; 4 - отвод фильтрата; 5 - подача суспензии, промывной жидкости и сжатого воздуха; 7,6 - лента фильтровальной ткани и ее натяжение; 8,14 - приводной и разгрузочный валик; 9 - регенерация ткани; 10 - прием осадка; 11,13 - опорная и нажимная плита, 12 - электромеханический зажим; 15 - нож.

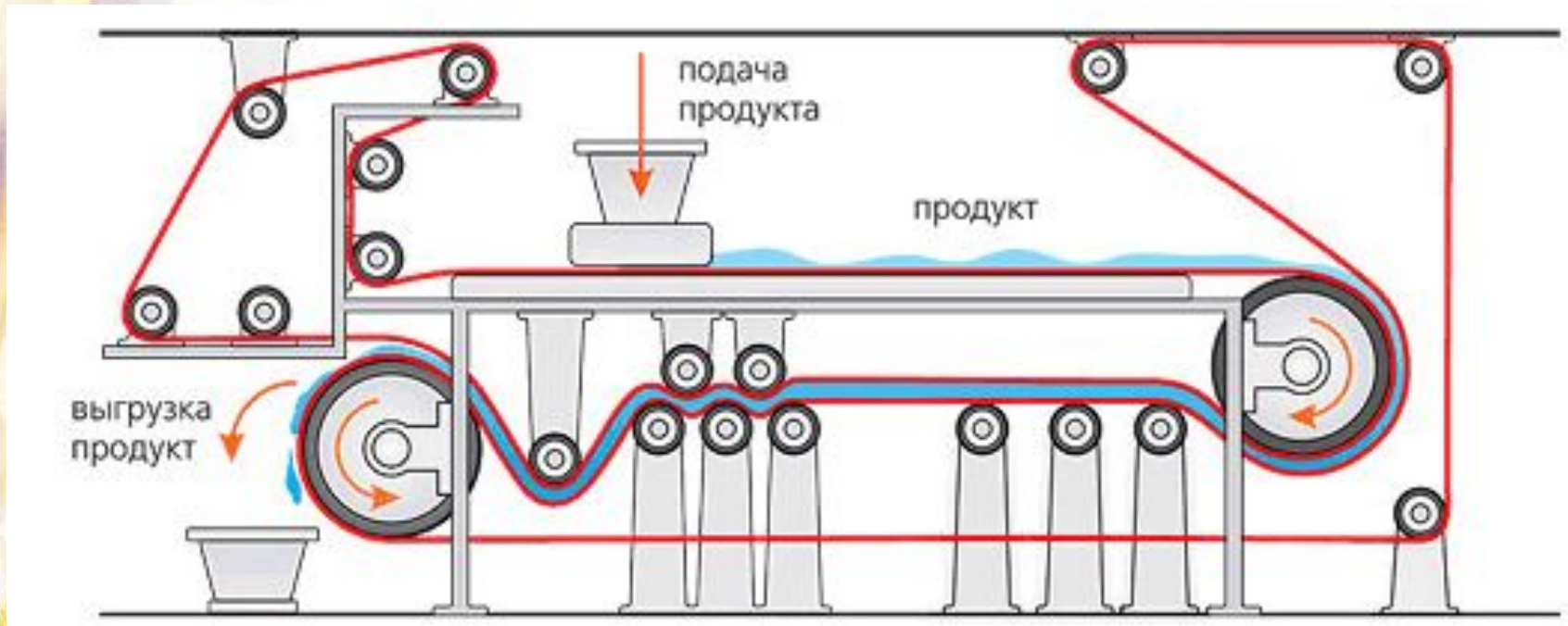
# Ленточный фильтр-пресс



1 - подача суспензии, промывной жидкости и сжатого воздуха; 2 - отвод фильтрата; 3,4 - резиновая диафрагма и подача в нее воды; 5,6,7 - фильтровальная ткань, металлическая сетка и ребра жесткости; 8 - осадок; 9 - уплотнители



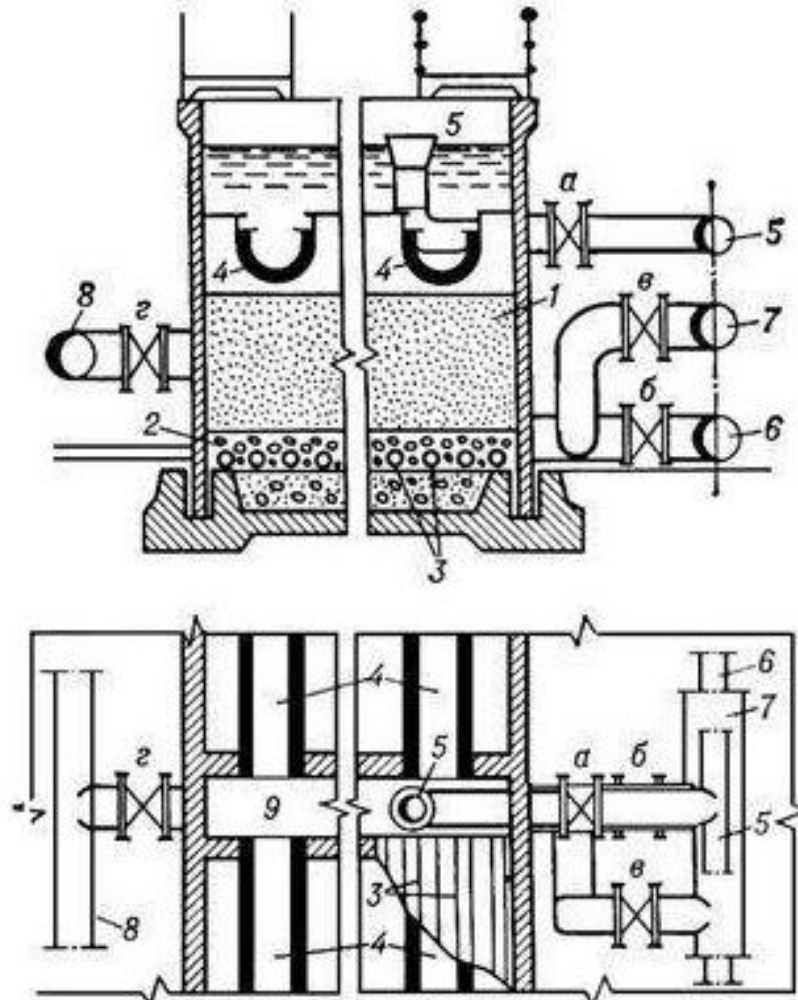
# Ленточный фильтр-пресс



# Ленточный фильтр-пресс



# Песчаный скорый фильтр



# Преимущества

- развитая фильтрующая поверхность при незначительной занимаемой производственной площади;
- - фильтрация осадка при оптимальной толщине слоя и возможность его гидравлического отжима, что резко снижает затраты воздуха на просушку осадка;
- - хорошая регенерация фильтровальной ткани;
- - полная механизация фильтра и возможность автоматизации его работы, что позволяет резко сократить затраты на обслуживание, быстро настраивать фильтр на оптимальный технологический режим;
- - низкая металлоемкость, отнесенная к единице производительности по суспензии и к 1 м.кв. фильтрующей поверхности.

# Расчёты

- [http://www.gaps.tstu.ru/win-1251/lab/sreda/togaps/6/TO\\_Ip/4\\_1.html](http://www.gaps.tstu.ru/win-1251/lab/sreda/togaps/6/TO_Ip/4_1.html)