



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

РАЗДЕЛЕНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ

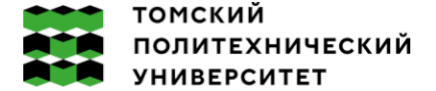
**к.т.н., старший преподаватель
НОЦ им. Кижнера
Богданов Илья Александрович**

среда, 20 ноября 2024 г.

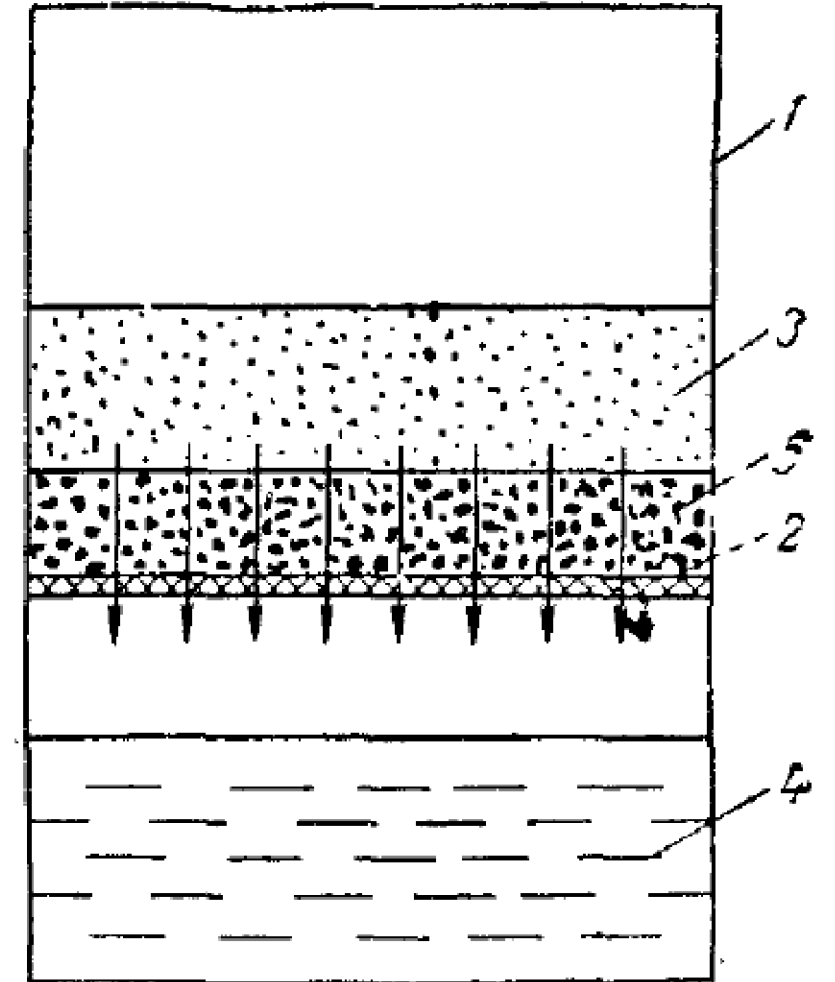


ФИЛЬТРОВАНИЕ

Фильтрация - процесс разделения суспензий с использованием пористых перегородок, которые задерживают твердую фазу суспензии и пропускают ее жидкую фазу.



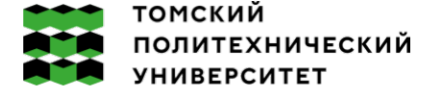
Разделение **суспензии**, состоящей из жидкости и взвешенных в ней твердых частиц, производят при помощи **фильтра**, который в простейшем виде является сосудом, разделенным на две части фильтровальной перегородкой. **Суспензия** разделяется на чистый фильтрат и **влажный осадок**. Иногда твердые частицы проникают в поры фильтровальной перегородки и задерживаются там, не образуя осадка. Такой процесс называют **фильтрацией с закупориванием пор**. Возможен также промежуточный вид фильтрации, когда твердые частицы проникают в поры фильтровальной перегородки и образуют на ней слой осадка.



1 — фильтр; 2 — фильтровальная перегородка;
3 — суспензия; 4 — фильтрат; 5 — осадок

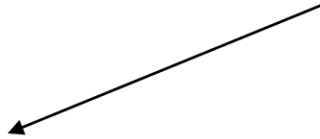
ФИЛЬТРОВАНИЕ

Движущая сила процесса фильтрации – разность давлений над фильтром и под фильтром



Разность давлений по обе стороны фильтровальной перегородки создают разными способами, в результате чего осуществляют различные процессы фильтрации.

Способы повышения разности давлений при фильтрации



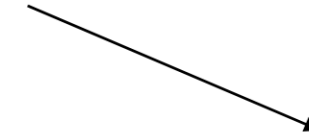
фильтрация при постоянной разности давлений:

пространство над суспензией сообщают с источником сжатого газа или пространство под фильтровальной перегородкой присоединяет к источнику вакуума



фильтрация при постоянной скорости:

суспензию подают на фильтр поршневым насосом, производительность которого при данном числе оборотов электродвигателя постоянна, при этом разность давлений увеличивается вследствие уже упоминавшегося увеличения сопротивления слоя осадка возрастающей толщины

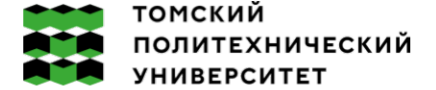


фильтрация при переменных разности давлений и скорости:

суспензию транспортируют на фильтр центробежным насосом, производительность которого при данном числе оборотов электродвигателя уменьшается при возрастании сопротивления осадка, что обуславливает повышена разности давлений

ФИЛЬТРОВАНИЕ

В производственных условиях под фильтрованием понимают не только операцию разделения суспензии на фильтрат и осадок с помощью пористой перегородки, но и последующие операции **промывки**, **продувки** и **сушки осадка на фильтре**.



Промывку осадка выполняют способами **вытеснения** и **разбавления**.

Способ **вытеснения** состоит в том, что промывную жидкость заливают на поверхность осадка в виде слоя или подают в диспергированном состоянии из разбрызгивающих устройств, причем промывная жидкость под действием разности давлений проходит сквозь поры осадка, вытесняет из них жидкую фазу и смешивается с ней. Этот способ применяют, когда осадок промывается легко и не содержит пор, недоступных для промывной жидкости.

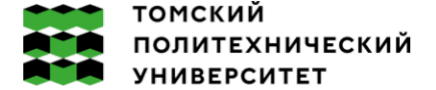
Способ **разбавления** характеризуется тем, что осадок снимается с фильтровальной перегородки и перемешивается в сосуде, снабженном мешалкой, с промывной жидкостью, после чего образовавшаяся суспензия разделяется на фильтре. Такой способ применяют, если осадок промывается трудно.

Продувку осадка производят с целью вытеснения из его пор оставшейся промывной жидкости. Для продувки обычно используют воздух, а также инертные газы. Продувкой можно удалить только часть жидкости из пор осадка до достижения равновесной влажности.

Сушку осадка на фильтре нагретым или предварительно осушенным воздухом применяют, когда желательно получить на фильтре осадок с окончательной влажностью менее равновесной.

УРАВНЕНИЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ

В общем случае в процессе фильтрации значения разности давлений и гидравлического сопротивления слоя осадка с течением времени изменяются поэтому переменную скорость фильтрации ($м/сек$) выражают в дифференциальной форме



$$W = \frac{dV}{Sd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu(R_{oc} + R_{фп})}$$

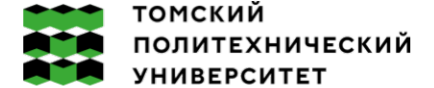
где V - объем фильтрата, $м^3$; S - поверхность фильтрации, $м^2$; τ - продолжительность фильтрации, сек; Δp - разность давлений, $н/м^2$; μ - вязкость жидкой фазы суспензии, $н*сек/м^2$; R_{oc} - сопротивление слоя осадка, $м^{-1}$; $R_{фп}$ - сопротивление фильтровальной перегородки, $м^{-1}$.

$$R_{oc} = r_o h_{oc} = r_o x_o \frac{V}{S}$$

x_o - отношение объема осадка к объему фильтрата; h_{oc} - толщина равномерного слоя осадка на фильтровальной перегородке, $м$; r_o — удельное объемное сопротивление слоя осадка, $м^{-2}$.

УРАВНЕНИЯ ФИЛЬТРОВАНИЯ

Приняв, что сопротивлением фильтровальной перегородки можно пренебречь получим:



$$r_0 = \frac{\Delta p}{\mu h_{oc} W}$$

при $\mu = 1 \text{ н*сек/м}^2$, $h_{oc} = 1 \text{ м}$ и $W = 1 \text{ м/сек}$ величина $r_0 = \Delta p$. Таким образом, удельное сопротивление осадка численно равно разности давлений, необходимой для того, чтобы жидкая фаза с вязкостью 1 н*сек/м^2 фильтровалась со скоростью 1 м/сек , сквозь слой осадка толщиной 1 м .

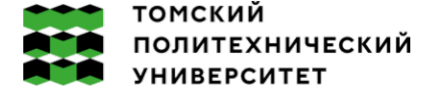
Приняв $V = 0$, что соответствует началу фильтрования, когда на фильтровальной перегородке еще не образовался слой осадка, получим:

$$R_{фп} = \frac{\Delta p}{\mu W}$$

при $\mu = 1 \text{ н*сек/м}^2$, $W = 1 \text{ м/сек}$ величина $R_{фп} = \Delta p$. Это означает, что сопротивление фильтровальной перегородки численно равно разности давлений, необходимой для того, чтобы жидкая фаза с вязкостью 1 н-сек/м^2 проходила сквозь фильтровальную перегородку со скоростью 1 м/сек .

ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ

Центрифугирование - процесс разделения неоднородных систем (эмульсий и суспензий) в поле центробежных сил с использованием сплошных или проницаемых для жидкости перегородок. Процессы центрифугирования проводятся в машинах, называемых **центрифугами**.



Центрифуга представляет собой в простейшем виде вертикальный цилиндрический **ротор** со сплошными или перфорированными боковыми стенками. Ротор укрепляется на вертикальном валу, который приводится во вращение электродвигателем, и помещается в соосный цилиндрический неподвижный кожух, закрываемый съемной крышкой; на внутренней поверхности ротора с перфорированными стенками находится фильтровальная ткань или тонкая металлическая сетка.



Под действием центробежных сил суспензия разделяется на **осадок** и **жидкую фазу**, называемую **фугатом**. Осадок остается в роторе, а жидкая фаза удаляется из него.

В **отстойных центрифугах** со сплошными стенками производят разделение эмульсий и суспензий по принципу отстаивания, причем действие силы тяжести заменяется действием центробежной силы.

В **фильтрующих центрифугах** с проницаемыми стенками осуществляют процесс разделения суспензий по принципу фильтрования, причем вместо разности давлений используется действие центробежной силы.

ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ

В общем случае центробежная сила C (n) выражается равенством:

$$C = \frac{mw^2}{r} = \frac{Gw^3}{gr}$$

где m - масса вращающегося тела, кг; G - вес вращающегося тела, н; w - окружная скорость вращения, м/сек; r - радиус вращения, м.

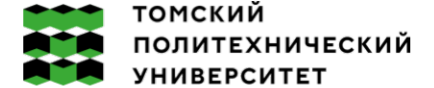
Окружная скорость вращения определяется равенством:

$$w = wr = \frac{2\pi n}{60} r$$

где w - угловая скорость вращения, рад/сек;
 n - число оборотов в минуту.

Ускорение в поле, центробежных сил составляет w^2/r . Отношение центробежного ускорения к ускорению силы тяжести g называют **фактором разделения**:

$$K_p = \frac{w^2}{gr}$$



Сопоставляя равенства получим:

$$C = \frac{G}{gr} \left(\frac{2\pi n}{60} r \right)^2 \approx \frac{Grn^2}{900}$$

Откуда следует, что увеличение числа оборотов ротора значительно больше влияет на возрастание центробежной силы, чем увеличение диаметра ротора центрифуги.

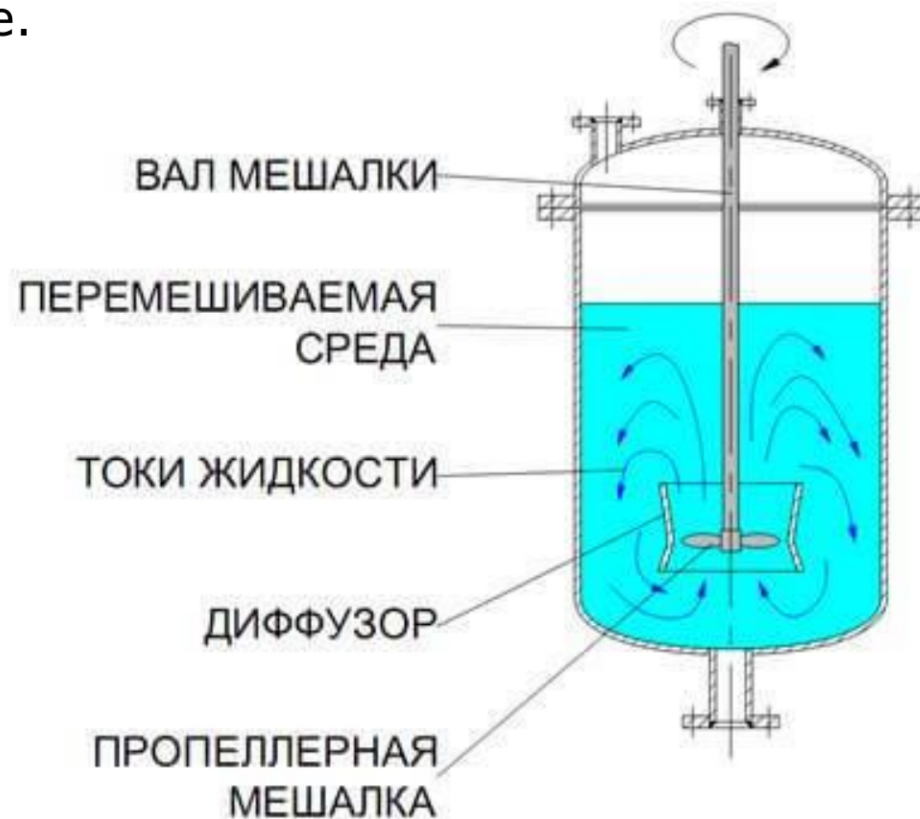
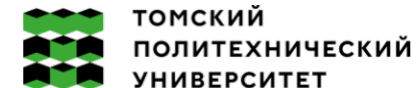
Приняв величину $G = 1$ н получим:

$$K_p = \frac{rn^2}{900}$$

МЕХАНИЧЕСКОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

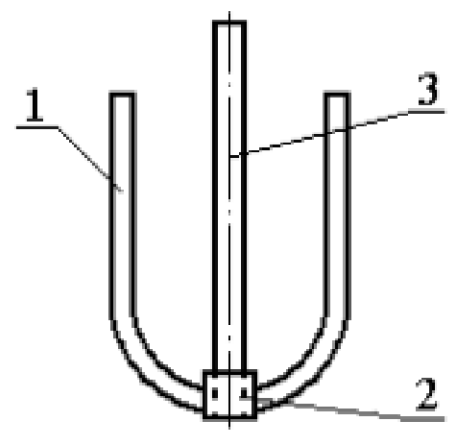
Наиболее распространено перемешивание механическими мешалками.

Механические мешалки – это твердые тела, совершающие в жидкости вращательное (реже – возвратно-поступательное или колебательное) движение.

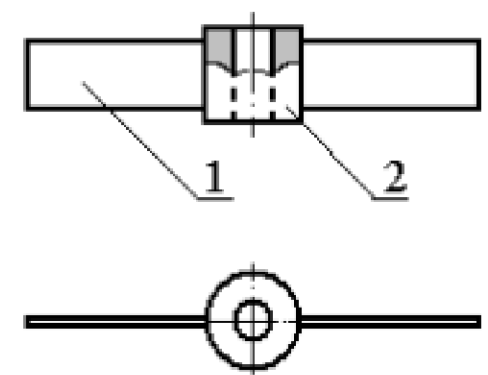


Механическое перемешивание, как правило, осуществляется в тех аппаратах, в которых непосредственно осуществляются технологические процессы: реакторах, нейтрализаторах и т.д. Основными характеристиками процесса перемешивания являются эффективность перемешивания и интенсивность перемешивания

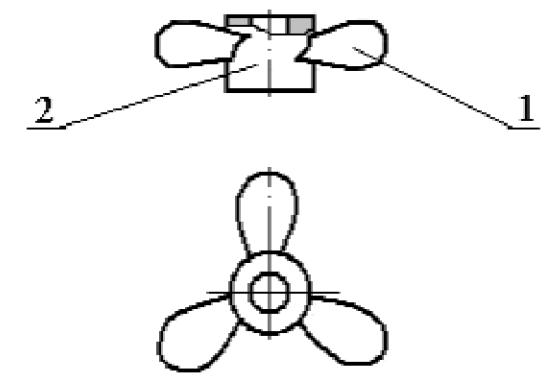
ВИДЫ МЕШАЛОК



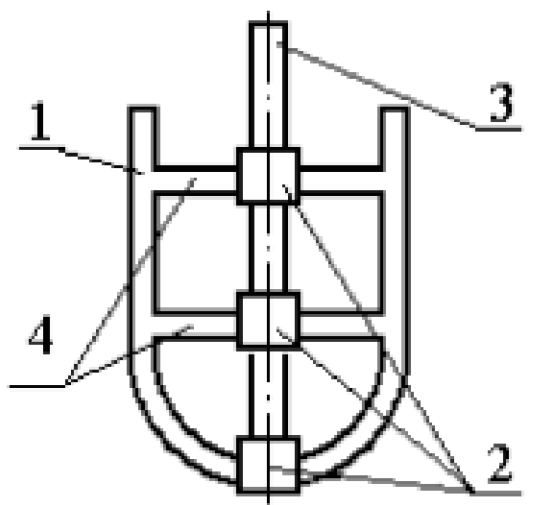
Якорная мешалка
1 – лопасть 2 – втулка
3 – вал



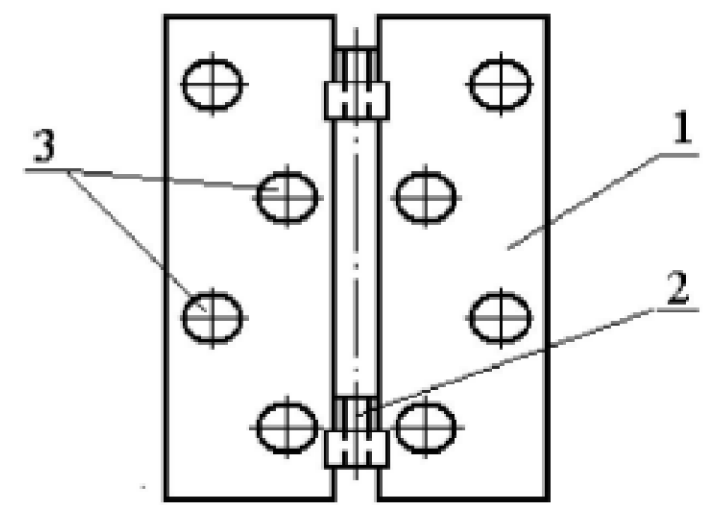
Лопастная мешалка
1 – лопасть 2 – втулка



Винтовая мешалка
1 – лопасть
2 – втулка



Рамная мешалка
1 – лопасть 2 – втулки
3 – вал 4 – перемычки



Листовая мешалка
1 – лопасть
2 – втулка 3 – отверстие



СХЕМЫ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Перемешивание в трубопроводах осуществляют, как правило, при совмещении этого процесса с транспортировкой жидкости на значительные расстояния. Перемешивание достигается за счет турбулентных пульсаций в жидкости, оно может быть дополнительно интенсифицировано за счет установки турбулизующих вставок в трубопровод.

