

6. Физико-химическая очистка воды

Физико-химическая очистка воды

Группа методов очистки воды, основанных силах на межмолекулярных взаимодействиях, возникающих между частицами извлекаемого из воды вещества с реагентом (специально введенным в воду или возникающем при воздействии на воду внешними физическими полями).

Методы этой группы играют значительную роль при очистке природных и сточных вод. Они применяются как самостоятельно, так и в сочетании с методами других групп.

В последние годы область применения физико-химических методов очистки расширяется, и доля их среди других методов возрастает.

6.1. Коагуляция и флокуляция

Коагуляция

Слипание частиц при их столкновении в процессе теплового движения, перемешивания или направленного перемещения во внешнем силовом поле.

В результате коагуляции образуются коагуляционные агрегаты - более крупные (вторичные) частицы, состоящие из скопления мелких (первичных). Первичные частицы в них соединены силами межмолекулярного взаимодействия непосредственно или через прослойку окружающей (дисперсионной) среды.

Коагуляция сопровождается прогрессирующим укрупнением частиц и уменьшением их общего числа в объёме дисперсионной среды.

Назначение

Повышение эффективности очистки воды от диспергированных и мелкодиспергированных нерастворенных примесей.

Область применения

Коагуляция не является самостоятельным методом очистки воды.

Она применяется в качестве предварительной обработки воды перед отстаиванием, флотацией, фильтрованием и другими методами очистки воды, предназначенными для удаления диспергированных и мелкодиспергированных нерастворенных примесей, с целью укрупнения частиц взвешенных веществ и повышения за счет этого эффекта очистки.

Так же коагуляция применяется для улучшения осаждения активных илов во вторичных отстойниках после сооружений биологической очистки сточных вод.

Эффективность коагуляции определяется устойчивостью дисперсной системы, которая зависит от свойств, характеризующих данную систему в целом, а также от свойств дисперсионной среды и дисперсной фазы. Поскольку природные и сточные воды содержат разнородные частицы, отличающиеся химической природой, знаком или величиной поверхностного заряда, то в этих случаях наблюдается гетерокоагуляция. Теория гетерокоагуляции частиц в растворах электролитов была создана Б.В. Дерягиным на базе общего подхода к теории ДЛФО (теория Дерягина-Ландау-Фербея-Овербека), т.е. учета баланса сил молекулярного притяжения и электрических сил отталкивания.

Коагуляцию можно вызвать, вводя в сточную воду электролиты и коллоиды - частицы, которых имеют знак электрического заряда, противоположный знаку заряда частиц загрязняющих веществ, а также наложением внешнего электростатического поля.

Различают два основных вида коагуляции: химическую коагуляцию и электрокоагуляцию.

Мицеллы гидролизованных коагулянтов коагулируют спонтанно во всём объёме дисперсной системы с образованием агрегатов преимущественно за счет межмолекулярных сил Ван-дер-Ваальса. Взаимодействие мицелл протекает в области быстрой коагуляции, когда все частицы, находящиеся в броуновском движении, при сближении слипаются.

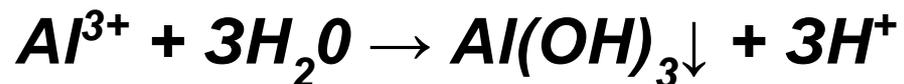
В практике очистки природных вод для целей водоснабжения коагулирование применяется весьма широко при осветлении и обесцвечивании воды.

Наиболее часто применяемыми реагентами при коагулировании (коагулянтами) в настоящее время являются: сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$, железный купорос $FeSO_4$ и хлорное железо $FeCl_3$.

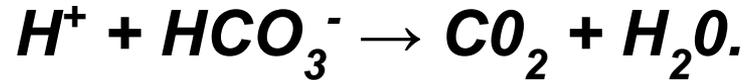
При введении в осветляемую воду сернокислого алюминия происходит его диссоциация:



Далее имеет место ионный обмен катионов алюминия на катионы, сорбированные содержащимися в воде глинистыми частицами. В результате гидролиза оставшихся в избытке катионов алюминия происходит образование выпадающей в осадок гидроокиси алюминия:



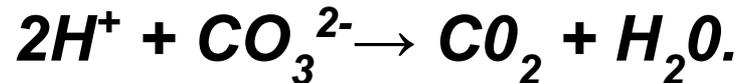
Катионы водорода оказывают отрицательное влияние на протекание указанного процесса. Они реагируют с имеющимися в воде бикарбонатами:



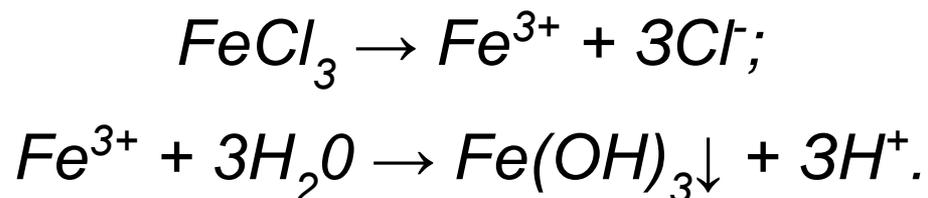
Если естественная щелочность воды для хода этой реакции недостаточна, то воду необходимо подщелачивать. Для этого в нее вводят известь или соду. Связывание водородных катионов идет в случае добавления извести по уравнению



а при добавлении соды по уравнению



При применении в качестве коагулянта хлорного железа реакция с образованием хлопьевидной взвеси $Fe(OH)_3$ протекает аналогично описанным выше:



Хорошие результаты дает также применение железного купороса с одновременным хлорированием воды.

Введение хлора облегчает процесс коагуляции и способствует окислению закисного железа.

Скорость быстрой коагуляции по Смолуховскому

$$-\frac{dC_c}{d\tau} = \frac{2RTlC_c^2}{3\eta r}$$

C_c – концентрация частиц; τ – время; R - радиусом притяжения частицы; T – температура; l - расстояния, на которое должны приблизиться центры частиц для того, чтобы произошло слипание; η - динамическая вязкость дисперсионной среды; r - радиус частиц

Скорость быстрой коагуляции находится в прямой зависимости от температуры, расстояния и концентрации частиц и в обратной зависимости от динамической вязкости и радиуса частиц.

Принято различать гравитационную и градиентную коагуляции.

Гравитационная коагуляция осуществляется в результате инерционных явлений осаждения захватом и подтягиванием частиц. Инерционные силы действуют при прямом столкновении относительно крупных (более 100 нм) полидисперсных частиц. Мелкие частицы чаще осаждаются захватом и подтягиванием по искривлённым траекториям.

Градиентная коагуляция характеризуется интенсивным перемешиванием жидкости с целью обеспечения наиболее благоприятных условий для гидролиза коагулянтов, максимальной скорости образования достаточно крупных быстрооседающих хлопьев.

Скорость градиентной коагуляции

$$\frac{dC_c}{dr} = K_r \gamma^3 G \omega^3 C_c^2$$

K_e - коэффициент, зависящий от режима движения среды ($K_e = 4/3$ - для ламинарного и $K_e = 12$ - для турбулентного потока);

ω - отношение сферы действия межмолекулярных сил к размеру частиц; G - средний градиент скорости с^{-1}

$$G = \sqrt{\frac{A}{\eta W \tau}}$$

A - работа, затрачиваемая на перемешивание, Дж; W - перемешиваемый объём, м^3 ; τ - время перемешивания, с; η - динамическая вязкость воды, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Градиентная коагуляция происходит в поли- и монодисперсных системах при наличии частиц размером более 200÷300 нм.

Образовавшиеся в результате гидролиза коагулянтов мицеллы и более крупные шарообразные агрегаты золя ($r=10\div 100$ нм) сорбируются на поверхности частиц очищаемой жидкости. При этом происходит нейтрализация заряда частиц, в результате чего они покрываются плотным слоем гидрооксида коагулянта. Т.о. проявляется опалесценция (скрытая фаза коагуляции). Затем наступает период построения цепочных структур и образования большого количества мельчайших хлопьев, которые агрегируют в более крупные и, достигнув определённых размеров, под действием сил тяжести оседают. В действительности эти процессы перекрывают друг друга, а не следуют один за другим.

Различают объемную и контактную коагуляции.

Объемная коагуляции происходит в объеме воды в результате столкновения частиц взвешенных веществ в процессе теплового движения, перемешивания или направленного перемещения во внешнем силовом поле. Используется для повышения эффективности отстаивания и флотации.

Контактная коагуляция – процесс коагуляции при соприкосновении с макрочастицами при протоке воды через слой этих частиц. Используется для повышения эффективности фильтрования и осаждения во взвешенном слое осадка.

Флокуляция

Процесс глубокой коагуляции, в результате которой образуются третичные (флокуляционные) агрегаты, состоящие из вторичных агрегатов.

Происходит при введении в воду полимерных реагентов – флокулянтов. Механизм действия этих веществ в настоящее время мало изучен. Согласно теории Ла Мера, при флокуляции сначала происходит первичная адсорбция и каждая микромолекула прикрепляется несколькими сегментами к одной коллоидной частице. Адсорбированные молекулы занимают часть поверхности (F) частиц (активных центров, на которых возможна адсорбция), а остальная поверхность ($1-F$) остаётся свободной. Затем в процессе вторичной адсорбции свободные сегменты адсорбированных молекул закрепляются на поверхности других частиц, связывая их полимерными мостиками.

Скорость флокуляции

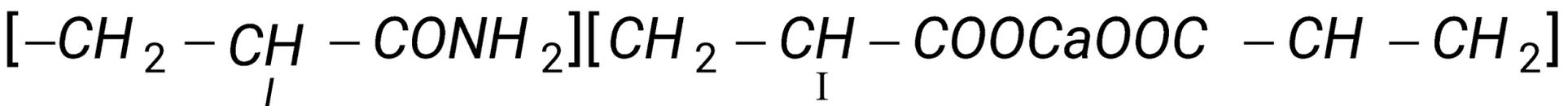
$$\frac{dC_c}{d\tau} = -K_\phi R_\phi \phi_\phi F(1-F)C_c^2$$

K_ϕ - коэффициент, характеризующий условия сближения частиц; R_ϕ - сфера действия аттракционных сил (расстояние между центрами частиц, при которых происходит флокуляция); ϕ_ϕ - коэффициент, учитывающий суммарные действия возникающие между частицами и молекулами Ван-дер-Вальсовых и Кулоновских сил; $F(1-F)$ - фактор, определяющий вероятность того, что свободная поверхность одной частицы расположится около макромолекул, адсорбированных на поверхности другой частицы

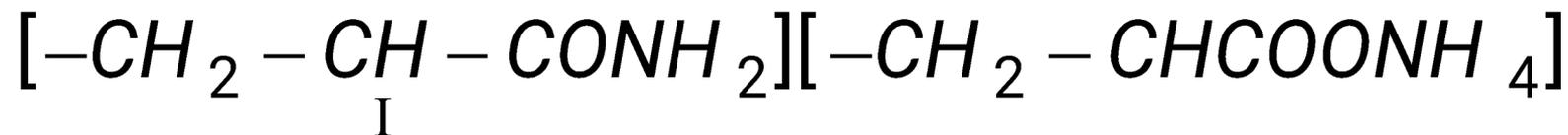
В настоящее время известно более 2000 флокулянтов. Все флокулянты по их природе делят на природные и синтетические. В большинстве случаев эти вещества принадлежат к классу линейных полимеров. Для удобства рассмотрения синтетические флокулянты подразделяют на неионные, анионные и катионные соединения.

Наиболее распространенным и эффективным анионным флокулянтom является полиакриламид (ПАА), который представляет собой сополимер акриламида с акрилатом аммония, натрия или кальция с содержанием акрилатов до 10%. У нас в стране применяют два вида ПАА:

- известковый ПАА - сополимер акриамида и акрилата кальция

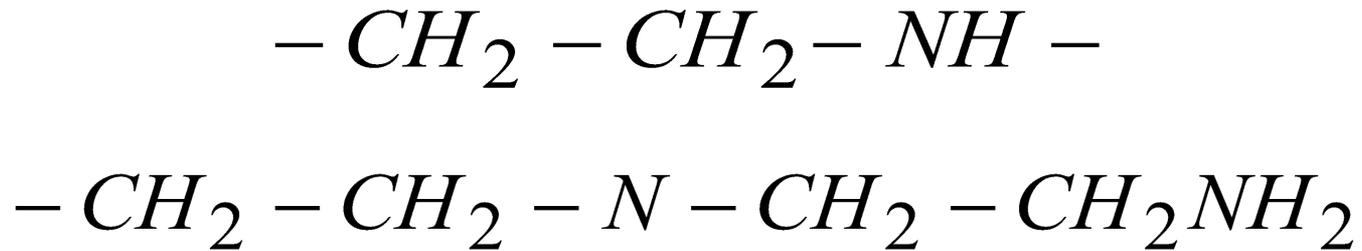


аммиачный ПАА - сополимер акриламида и акрилата аммония



За рубежом выпускается широкий ассортимент ПАА в порошкообразном, гранулированном и гелеобразном виде под коммерческими названиями: Сепаран; Суперфлок 16, 20 и 84; Пулифлок А-22; Магнофлок 990, 985, 971 и 860; Могул СО-983; Кей-Флок; Полифлок и т.д. Эти вещества отличаются молекулярной массой, степенью гидролиза (которая колеблется от 5 до 41%) и содержанием основного вещества в продукте.

Наиболее простым по строению катионным флокулянтom является полиэтиленимин (ПЭИ). Он состоит из звеньев двух типов:



Этот коагулянт получают полимеризацией этиленимина в присутствии инициаторов - эпихлоргидрина, дихлоргидриглицерина и т.д.

Технический ПЭИ представляет собой водный раствор, содержащий 20÷50% полимера. Внешне он выглядит как густая вязкая жидкость.

Основными недостатками полиэтиленимина являются:

- высокая коррозионная активность (разрушает сталь, резину, эпоксидные смолы);
- умеренная токсичность.

Так как мономер этиленимин является канцерогенным соединением и возможно его наличие в готовом продукте, производство данного полиэлектролита в промышленных масштабах у нас в стране запрещено.

Кроме органических флокулянтов в практике очистки сточных вод используют неорганические полимеры. Примером таких полиэлектролитов может служить активная кремнекислота (АК). Она является высокомолекулярным неорганическим полимером анионного типа. Это вещество не относится к стандартным продуктам с определёнными свойствами. Её получают на очистных станциях непосредственно перед использованием путем активации жидкого стекла (водного раствора селюката натрия $mNa_2O \cdot nSiO_3$) серной кислотой, сернокислым аммонием, хлором и др.

Установки, связанные с процессом коагулирования (флокулирования), обычно включают:

- сооружения для подготовки и дозирования реагентов (реагентное хозяйство);
- для смешения осветляемой воды с реагентами (смесители);
- для хлопьеобразования (камеры хлопьеобразования).

Доставляемый на станцию коагулянт может храниться в сухом виде или в виде концентрированного раствора. Последнее весьма рационально, особенно на станциях большой производительности.

Коагулянт должен быть введен в очищаемую воду до ее поступления в основное сооружение (отстойник, осветлитель, фильтр и т.д.).

Наиболее часто применяемые коагулянты представляют собой твердые вещества. Подобные реагенты вводятся в очищаемую воду в виде раствора, суспензии или порошка. В практике очистки воды в России коагулянт вводится в воду в виде раствора.

Дозирование коагулянта в виде порошка получило значительное распространение в США.

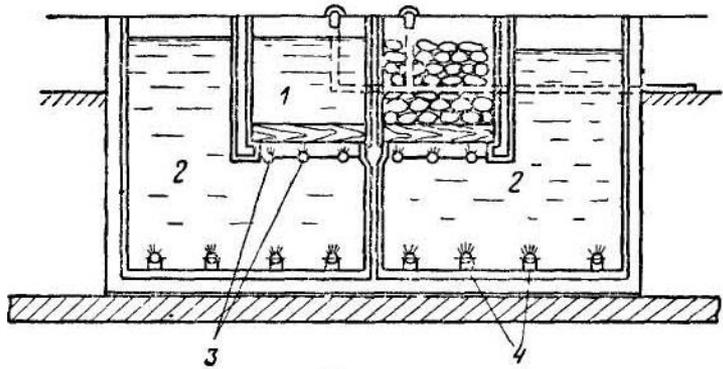
Для надлежащего действия реагента при введении его в очищаемую воду надо обеспечить совершенное смешение. Для этой цели служат смесители различных типов и конструкций. В смесителе начинаются реакции взаимодействия введенных в воду реагентов с веществами, находящимися в исходной воде. Однако для образования хлопьев надлежащего размера, обеспечивающих хорошее качество осветления воды при их осаждении, требуется определенное время. Поэтому прежде чем подавать воду из смесителя в основные сооружения ее направляют в камеры хлопьеобразования, где происходит образование достаточно крупных хлопьев коагулянта. Рост хлопьев происходит быстрее при плавном перемешивания воды (со скоростями движения, не вызывающими разрушения хлопьев).

Для приготовления раствора коагулянта на станциях разной производительности применяют различные устройства. На станциях небольшой производительности (до 1000 м³/сутки) применяют установка для приготовления раствора очищенного сернокислого алюминия, блочного типа, предусматривающие блокирование в едином корпусе растворных и расходных баков. Для возможности непрерывного приготовления и непрерывной подачи раствора устанавливается не менее двух растворных и двух рабочих баков, работающих попеременно. На станциях большей производительности растворные и расходные баки обычно конструктивно разделяются. Здесь также осуществляется перемешивание раствора сжатым воздухом. Дно бака коническое для приема осадка (что особенно необходимо при использовании неочищенного коагулянта). Раствор отбирается из верхней части бака при помощи поплавкового устройства и гибкого шланга, что дает возможность подавать в рабочие баки раствор с небольшим количеством взвеси. Ускорение процесса растворения коагулянта может быть достигнуто использованием подогретой до 50—60° С воды.

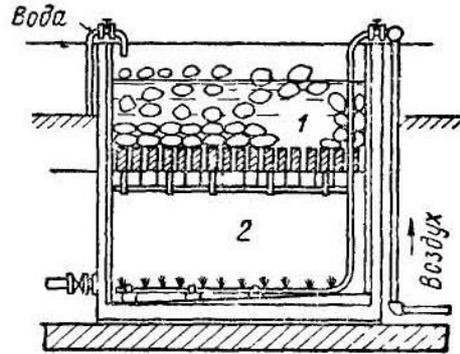
Установка приготовления раствора коагулянта

для станций малой производительности

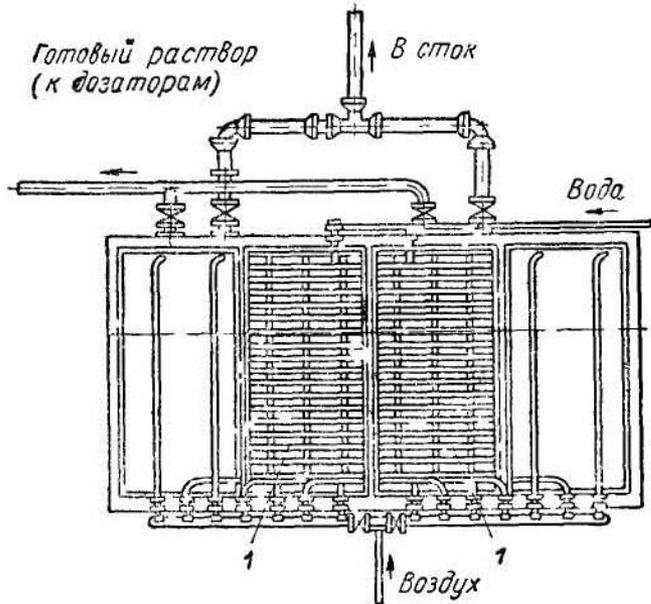
Продольный разрез



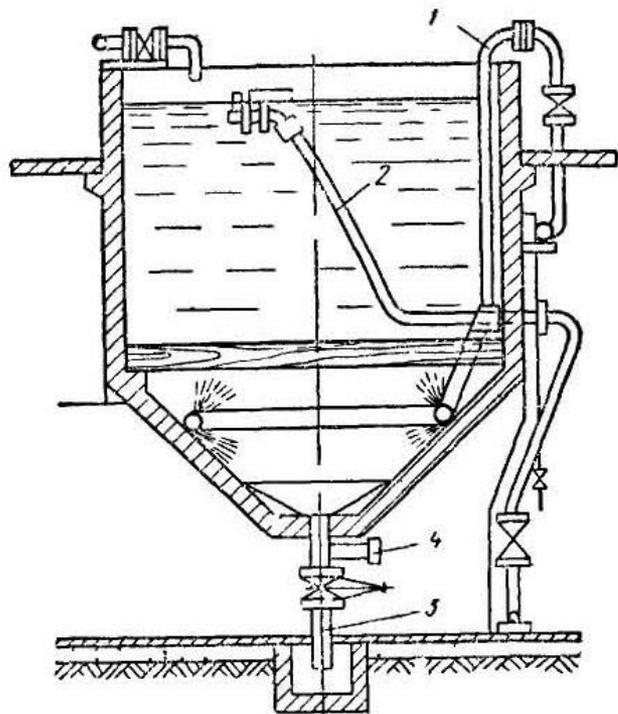
Поперечный разрез



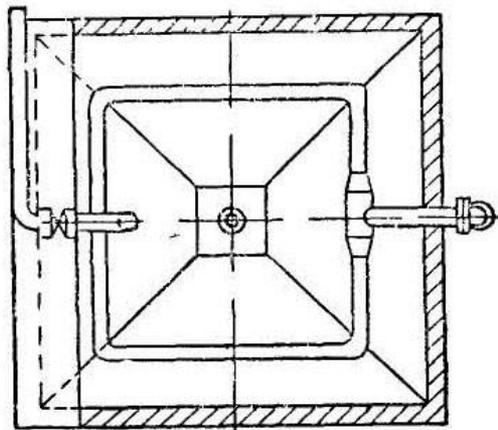
План



1 - Растворные баки; 2 – Расходные (рабочие) баки; 3 – Система дырчатых труб для подачи сжатого воздуха; 4 - Система дырчатых труб для подачи сжатого воздуха с целью перемешивания (барботирования) раствора.



Растворный бак



1 — труба для подвода сжатого воздуха;
 2 — шланг с поплавком для отбора осветленного раствора, 3 — выпуск осадка;
 4 — патрубок для подвода воды в целях взрыхления осадка перед его выпуском

Емкость растворных баков W_p можно определять в зависимости от производительности станции Q , м³/ч, расчетной дозы коагулянта D_k , г/м³, числа часов работы n , на которые производится заготовка раствора, принятой концентрации раствора b_1 , %, и объемной массы раствора коагулянта γ , т/м³, по формуле

$$W_p = \frac{D_k n Q}{10000 b_1 \gamma}.$$

Обычно принимают $b_1 = 17—18\%$ (по безводному продукту); $\gamma = 1$ т/м³; $n = 12—24$ ч для станций производительностью до 10 тыс. м³/сутки; $n = 8—10$ ч для станций производительностью от 10 до 50 тыс. м³/сутки; $n = 6—8$ ч для станций производительностью более 50 тыс. м³/сутки.

Емкость расходных баков W при концентрации раствора в них b_2 будет:

$$W = \frac{b_1}{b_2} W_p.$$

Обычно принимают b_2 от 4 до 12%.

В настоящее время на очистных станциях большой производительности начинают применять заготовку больших количеств раствора коагулянта высокой концентрации с постепенной его подачей и разбавлением в расходных баках. Это позволяет избежать частого повторения операций по загрузке баков, усовершенствовать (механизировать и автоматизировать) операции, связанные с приготовлением растворов, и снизить эксплуатационные расходы на очистных станциях.

Такие хорошо растворимые коагулянты, как железный купорос и хлорное железо, обычно растворяют в тех же баках, из которых их расходуют. Для таких коагулянтов находят применение баки с механическими мешалками.

Устройства для приготовления и дозирования раствора коагулянта удобно располагать над смесителем, чтобы раствор мог поступать туда самотеком. На станциях значительной производительности установка в верхних этажах громоздких и тяжелых растворных баков неудобна, поэтому здесь раствор коагулянта готовят внизу, перекачивая его затем в расположенные наверху дозирующие устройства либо через напорные дозаторы.

Ввиду того что раствор сернокислого алюминия обладает коррозионными свойствами, баки для его приготовления, арматура, насосы и трубопроводы для его перекачки должны быть специально защищены от коррозии или выполнены из некорродирующих материалов.

Устройства для дозирования реагентов (дозаторы) могут быть отнесены к двум типам:

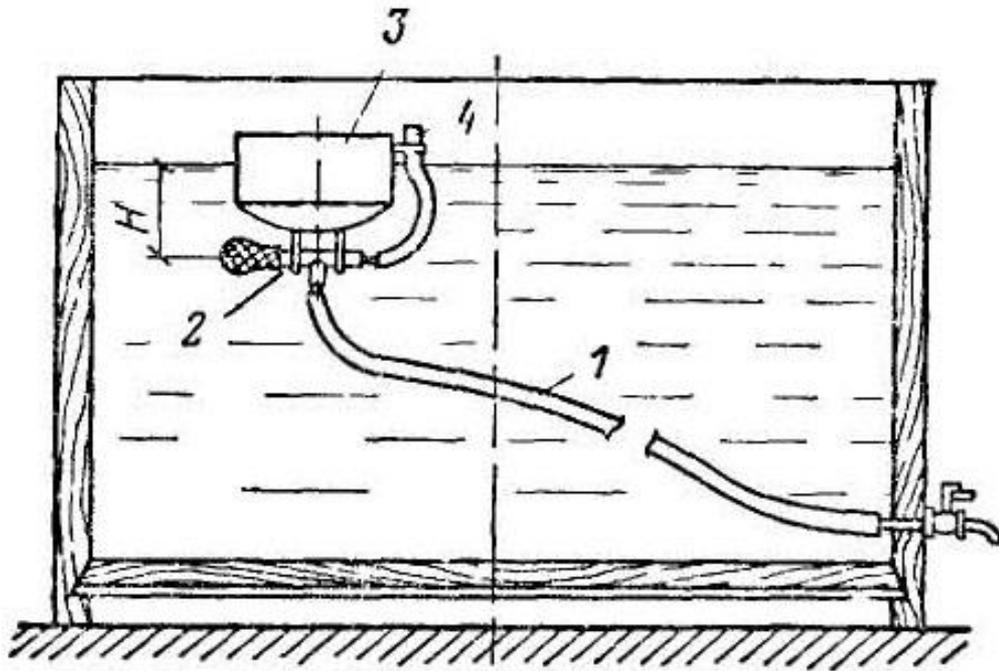
а) дозаторы, которые устанавливаются на подачу постоянного количества реагента в единицу времени;

б) дозаторы, автоматически меняющие количество реагента при изменении расхода очищаемой воды (пропорциональные дозаторы).

Дозаторы первого типа могут обеспечить подачу в воду заданной дозы реагента лишь при условии неизменного расхода очищаемой воды.

В зависимости от того, как подается дозируемый раствор реагента — самотеком или под напором, применяют открытые или напорные дозаторы.

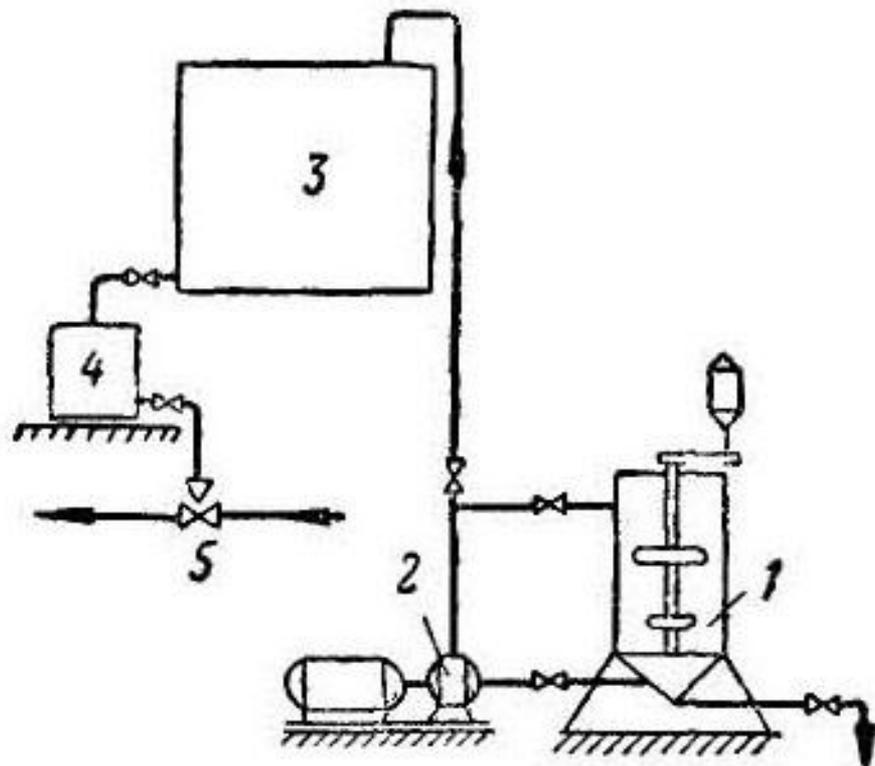
Поплавковый дозатор системы В. В.



1 – гибкая трубка; 2 –
диафрагма
(тарированная
шайба); 3 – поплавок;
4 – воздушная трубка

Рис. V.4

Устройство для приготовления раствора полиакриламида



1 - бак с мешалкой; 2 - циркуляционный насос; 3 - расходный бак; 4 - дозатор; 5 - эжектор на трубе, подающей раствор в очищаемую воду.

Для надлежащего действия вводимых в воду реагентов необходимо быстрое и полное смешение их с водой. Его осуществляют при помощи специальных устройств — смесителей. В смеситель подается вся подлежащая обработке вода. Раствор реагента, прошедший дозатор, вводится в подающую трубу перед смесителем или в головную часть смесителя. Смешение раствора реагента с водой может быть осуществлено путем создания сильно завихренного движения воды в пределах смесителя или путем механического перемешивания воды в смесителе различными мешалками. В нашей практике преимущественно используются системы, основанные на первом принципе. Они обеспечивают достаточно полное смешение и более просты и надежны в эксплуатации. Наиболее распространенными типами таких смесителей являются дырчатый, перегородчатый и вертикальный. Продолжительность пребывания воды в смесителе не должна превышать 2 мин.

Дырчатый смеситель выполняют в виде железобетонного или металлического лотка с дырчатыми перегородками. Обычно устраивают три перегородки. Расстояние между перегородками принимают равным ширине смесителя. Скорость движения воды в лотке (за последней перегородкой) $v \approx 0,6$ м/с, средняя скорость в отверстиях $v_0 \approx 1$ м/с.

Суммарная площадь отверстий в каждой перегородке

$$\omega = q/v_0,$$

площадь каждого отверстия

$$\omega_0 = \omega/n,$$

где n — число отверстий.

Практически диаметр отверстий принимается от **20** до **100** мм.

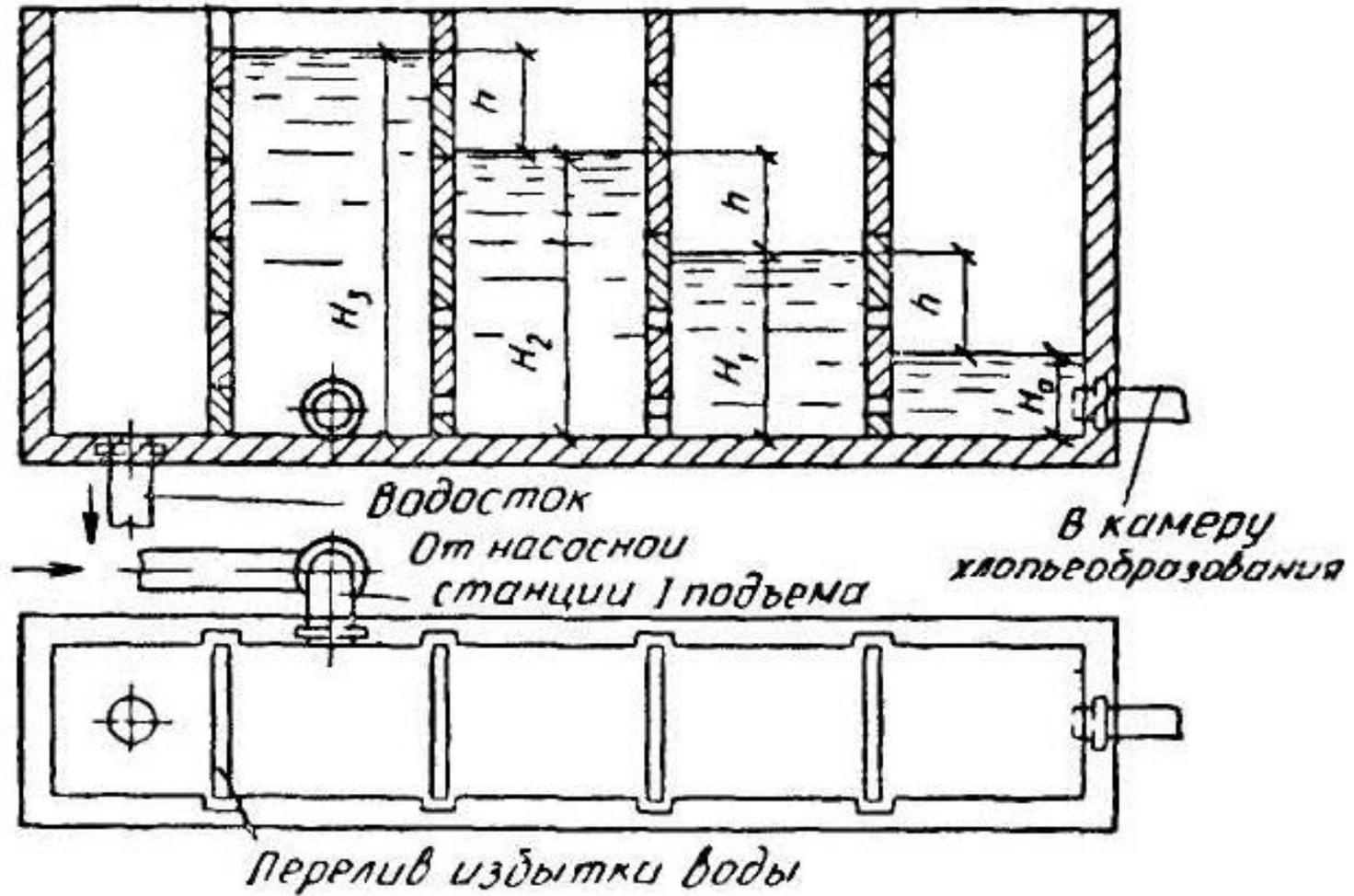
Потери напора в отверстиях каждой перегородки

$$h = v_0^2 / (\mu^2 2g)$$

где μ — коэффициент расхода, равный 0,65—0,75.

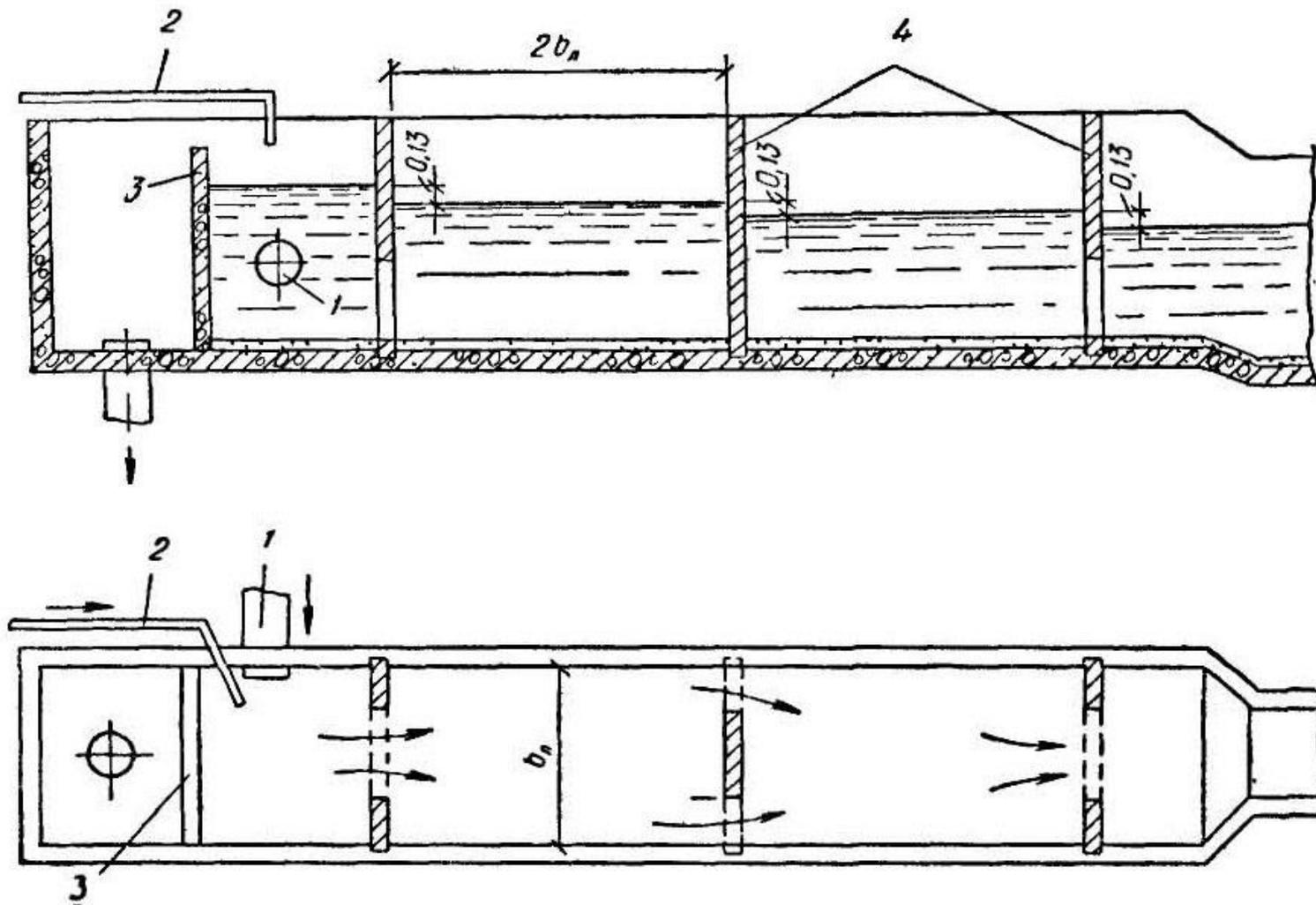
Уровень воды за последней перегородкой $H_0 = 0,4—0,5$ м

Дырчатый смеситель



Перегородчатый смеситель представляет собой прямоугольный лоток, в котором последовательно установлено несколько перегородок с проемами, обуславливающими непрерывное изменение направления струй воды и скорости движения. Расчетная скорость движения воды в лотке принимается равной **0,6** м/с, а в проемах—**1** м/с. Расстояние между перегородками принимается равным двойной ширине лотка $B_{л}$. При подобных условиях падение уровня между отделениями будет составлять около **0,13** м.

Перегородчатый смеситель

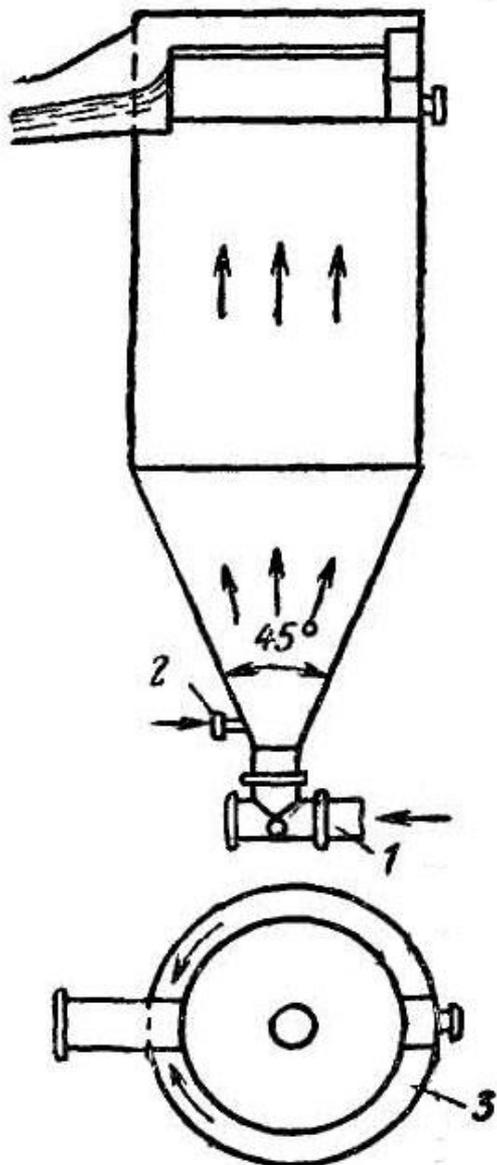


1 — труба для подвода воды; 2 — труба для подвода реагента; 3 — перелив;
4 — перегородки

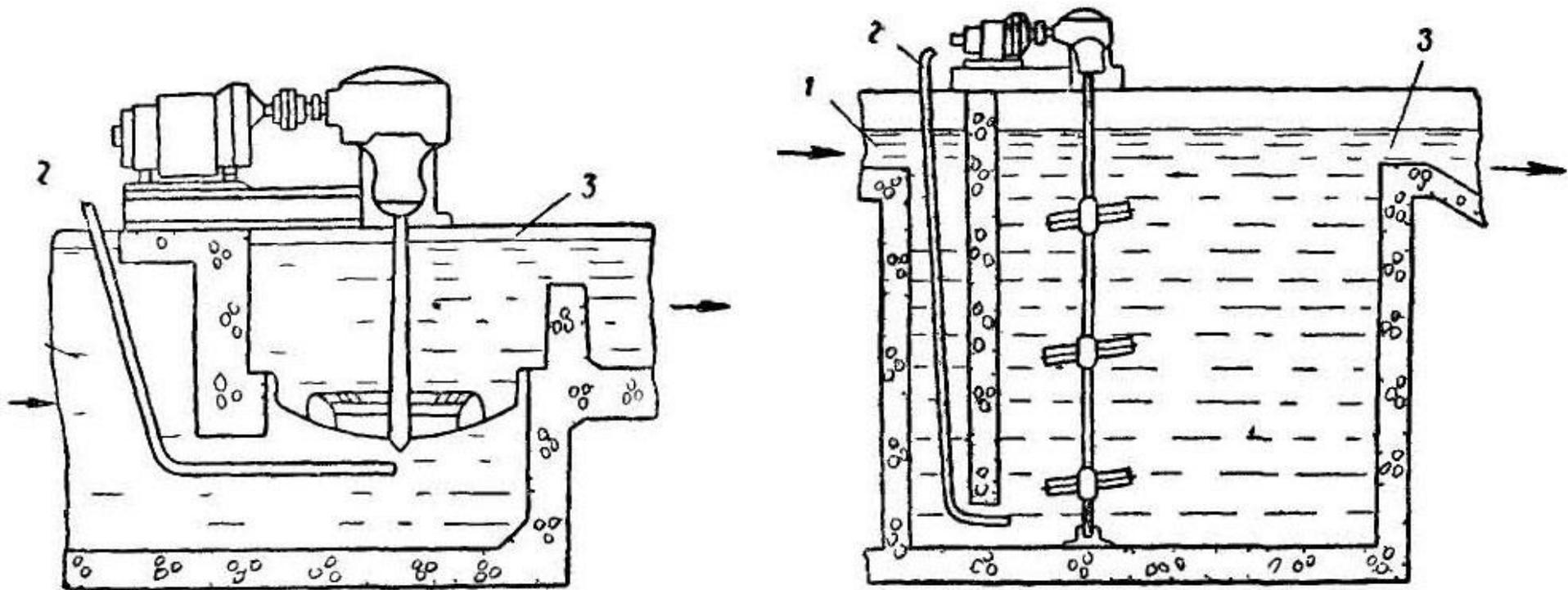
Смеситель вертикального (вихревого) типа, предложенный ВНИИ ВОДГЕО, основан на принципе турбулизации потока благодаря значительному изменению его живого сечения и соответствующему изменению его скорости.

Вертикальный вихревой смеситель

- 1 – подача воды;
- 2 – подача реагента;
- 3 – кольцевой желоб (переливной лоток)



Смесители мешалочного типа основаны на механическом перемешивании воды с



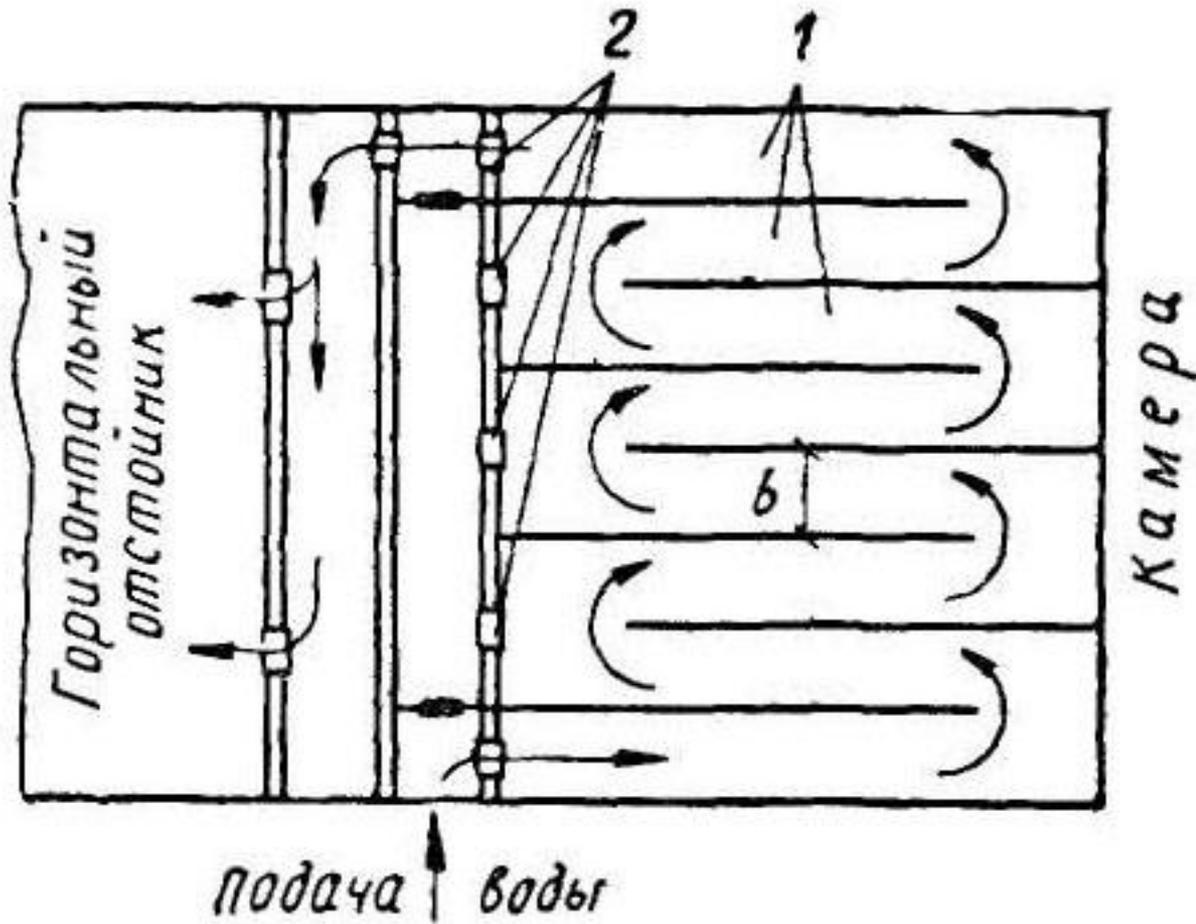
1 — подвод воды; 2 — трубка для подвода реагента; 3 — отвод воды

Камеры хлопьеобразования применяются в настоящее время лишь в схемах осветления воды, включающих отстойники. Назначение камер хлопьеобразования — обеспечить образование хлопьев коагулянта. Процесс хлопьеобразования, начинающийся после смешения воды с реагентами, протекает относительно медленно, и для получения достаточно крупных хлопьев (для осаждения) требуется 10—30 мин. Процессу хлопьеобразования способствует плавное перемешивание воды. Скорость движения воды при перемешивании должна быть достаточной для предотвращения выпадения хлопьев коагулянта в пределах камеры, но не настолько большой, чтобы вызвать разбивание образовавшихся хлопьев.

Наибольшее распространение имеют камеры хлопьеобразования следующих типов: а) перегородчатые; б) вихревые; в) водоворотные; г) лопастные.

Перегородчатая камера представляет собой резервуар, разделенный перегородками на ряд последовательно проходимых водой коридоров. Окна с шиберами позволяют выключать отдельные коридоры и менять длину пути воды в камере. Число поворотов потока обычно принимают равным восьми-десяти. Для выпуска осадка дну камеры придается уклон. Осадок удаляется через систему сборных труб.

Перегородчатая камера хлопьеобразования

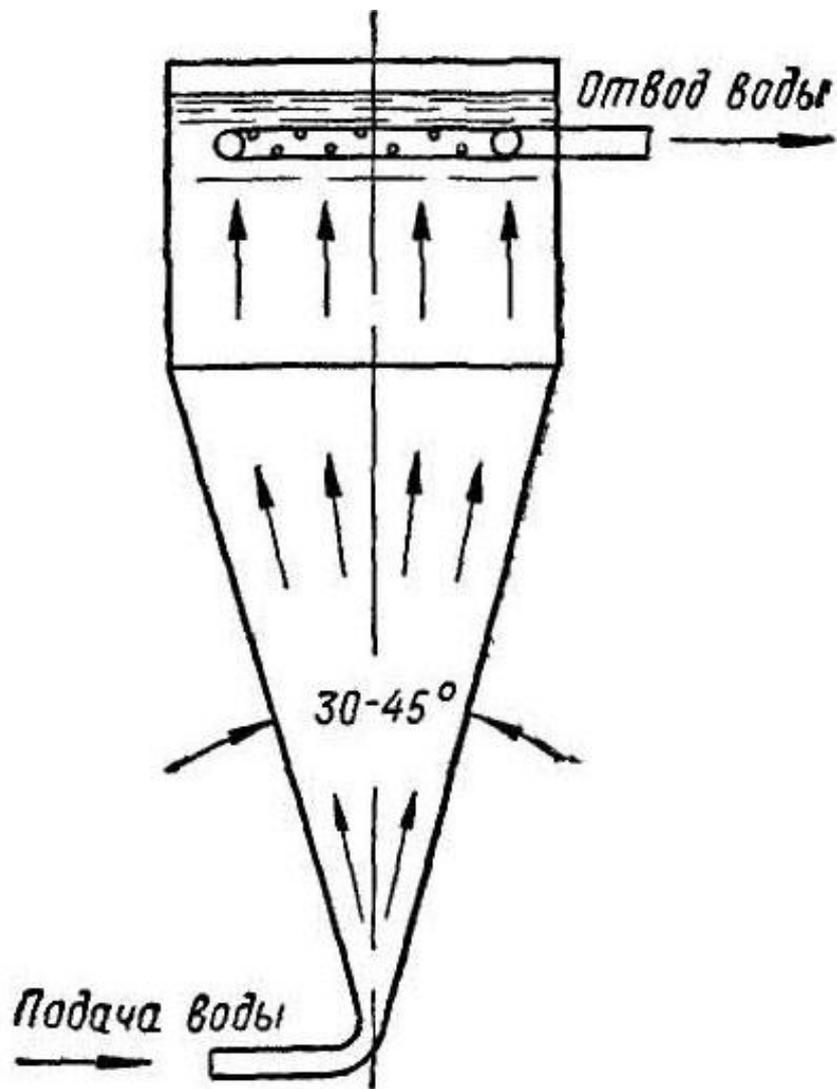


1 – коридоры; 2 – шиберы

Камеры вихревого типа основаны на принципе изменения скорости потока, что и вихревой смеситель. Эти камеры могут иметь коническую форму (в комбинации с цилиндром) или призматическую.

. Вода подается в нижнюю часть корпуса. Скорость движения воды в конической части меняется от 0,7 м/с в нижнем сечении до 4—5 м/с в верхнем сечении. Время пребывания в камере 6—10 мин. Из верхней, цилиндрической части камеры вода отводится обычно системой дырчатых труб.

В вихревые камеры призматической формы вода поступает через нижнюю, продольную щель и отводится из верхней части камеры сборными дырчатыми трубами, погруженными в воду.



Коническая вихревая
камера
хлопьеобразования

Водоворотные камеры чаще всего объединяют конструктивно с вертикальными отстойниками, совмещая с их центральной трубой. Вода поступает в камеру через два расположенных в ее верхней части насадка, подобных насадкам в сегнеровом колесе. Эти насадки направляют струи воды по касательным к цилиндрическим стенкам трубы. Скорость выхода воды из насадков 2—3 м/с. Благодаря этому получается вращательное движение воды в верхней части камеры. В нижней ее части устраивают гаситель в виде решетки из поставленных на ребро досок, переводящий вращательное движение воды в поступательное.

Время пребывания воды в камере 15—20 мин.

В лопастных камерах перемешивание воды достигается вращением мешалок, приводимых в движение электродвигателем. Различают лопастные камеры с вертикальной и горизонтальной осью вращения мешалок. Первые представляют собой железобетонные резервуары, рассчитанные на 10—20-минутное пребывание в них обрабатываемой воды. В центре камеры располагается вертикальная ось с сидящими на ней лопастями. Средняя скорость движения воды в камере 0,2—0,5 м/с.

Электрокоагуляция или метод электрохимического коагулирования

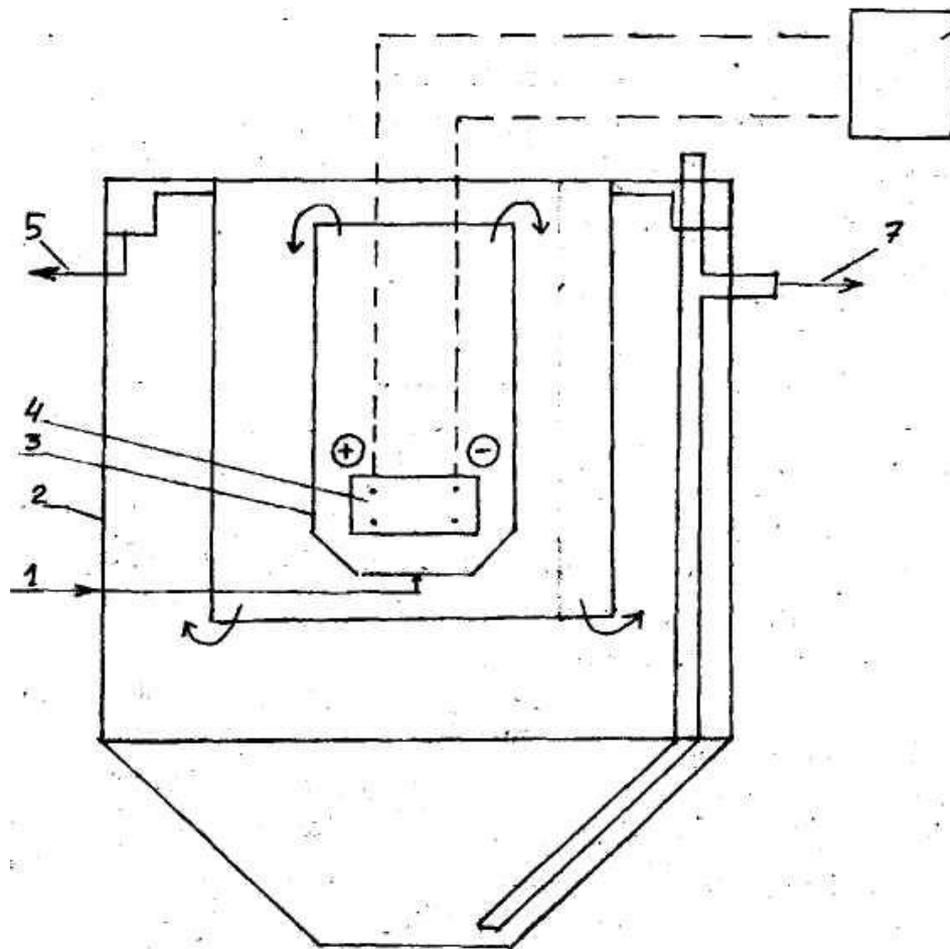
Основан на процессе электролиза воды. При наложении электростатического поля возникает направленное движение заряженных частиц взвешенных веществ. Разнозаряженные частицы при столкновении слипаются.

При использовании растворимых электродов, изготовленных из стали или алюминия, на аноде происходит так называемое анодное растворение металла, в результате чего в воду переходят катионы железа или алюминия, которые вызывают образование хлопьев гидроокисей, являющихся коагулянтами. В этом случае процесс коагуляции аналогичен процессу химической коагуляции.

Компактность установок, отсутствие реагентного хозяйства, простота обслуживания служат преимуществами этого метода по сравнению с химической коагуляцией. При этом значительные расходы электроэнергии и металла, как следствие образования окисной пленки на поверхности электродов, их механического загрязнения примесями, содержащимися в сточных водах, а также нагрева сточной воды, ограничивают область применения метода.

При электрокоагуляции в резервуаре (электрокоагуляторе) на систему плоских электродов, установленных на расстоянии 10 мм друг от друга, подается постоянный ток плотностью $0,6 \text{ A/дм}^2$ под напряжением $10 \div 18 \text{ В}$. Продолжительность контакта воды с электрическим полем составляет $15 \div 30 \text{ с}$, удельная производительность - $1,5 \div 3,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади поверхности электродов одного полюса. При этом расход электроэнергии на 1 м^3 очищаемых сточных вод - $0,4 \div 0,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Схема электрокоагуляционной установки



1 - подводящий трубопровод сточных вод; 2 - отстойник; 3 - электрокоагулятор; 4 - пакет электродов; 5 - отводящий трубопровод очищенных сточных вод; 6 - выпрямитель электрического тока; 7 - трубопровод выпуска осадка