

*Фильтрация воды  
через зернистую среду*

*Лекция 8*

# **Физико-химические основы фильтрования**

*Фильтрование, т. е. пропуск воды через слой зернистого или пористого материала, загруженного в осветлительные фильтры, применяется для глубокого удаления из воды грубодисперсных частиц, хлопьев коагулянта и скоагулированных коллоидных частиц.*

*При фильтровании воды твердые частицы задерживаются на поверхности или в толще фильтрующего материала. В результате фильтрования происходит осветление воды. При отсутствии предварительной коагуляции в осветлителях вода, содержащая грубодисперсную взвесь, образует фильтрующую пленку на поверхности фильтрующего материала. Если же применяется предварительная коагуляция в осветлителе, в котором задерживается основная масса взвеси, и на фильтры поступает вода, содержащая мельчайшие взвешенные частицы, фильтрование идет не на поверхности, а в толще фильтрующего слоя. При таком процессе полнее используется вся толщина зернистой загрузки фильтра и обеспечивается высокая степень осветления.*

*Процесс фильтрования имеет физико-химическую природу, а эффект осветления воды при фильтровании объясняется прилипанием взвешенных частиц к зернам фильтрующего слоя и ранее прилипшим частицам под действием молекулярных сил притяжения.*

# **Физико-химические основы фильтрации.**

## **Контактная коагуляция**

*По своей физической сущности процесс взаимодействия и слипания разнородных частиц, значительно различающихся своими размерами, является коагуляционным, причем устойчивость и прилипание мелких частиц к крупным значительно выше, чем интенсивность взаимного слипания мелких частиц, так как вероятность попадания мелкой частицы в сферу притяжения крупной частицы значительно больше, чем вероятность столкновения мелких частиц. Явление прилипания мельчайших частиц, содержащихся в воде, к поверхности зерен фильтрующего материала получило название контактной коагуляции.*

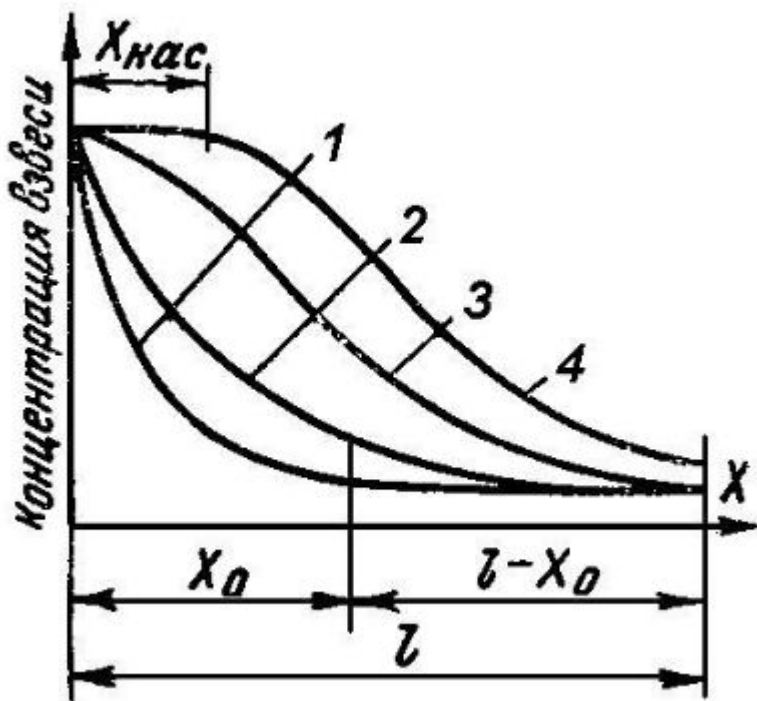
*Сооружения, специально предназначенные для очистки воды с использованием явлений контактной коагуляции, называются контактными осветлителями; в них вода сразу после смешивания с коагулянтом проходит через слой песка. За короткий промежуток времени от момента поступления воды в фильтрующий слой в воде успевают образоваться лишь микроэлементы слипшихся частиц, которые прилипают к поверхности зерен песка.*

## **Физико-химические основы фильтрации**

*При фильтрации воды через фильтры после коагулирования и предварительного осветления вместе с водой в фильтры поступают мелкие хлопья, не успевшие осесть в отстойниках или осветлителях. При фильтрации эти хлопья прилипают к зернам фильтрующего материала и осветляют воду. Основным фактором, определяющим эффект осветления воды фильтрами, является не соотношение размеров частиц, поступающих на фильтр, и пор в фильтрующем слое, как это предполагалось раньше, а способность частиц прилипнуть к поверхности зерен загрузки фильтров, которая является результатом химической обработки воды коагулянтom. Опыт показывает, что при фильтрации устойчивой суспензии, не обработанной коагулянтom, даже довольно крупные частицы свободно проходят через весь фильтрующий слой. Наоборот, при фильтрации коагулированной воды в фильтрующем слое задерживаются частицы любых размеров вплоть до мельчайших, чем достигается высокий эффект осветления воды при сравнительно высоких скоростях фильтрации. Таким образом, принцип скорой фильтрации заключается в фильтрации неустойчивой коагулирующей суспензии. Это же явление лежит в основе технологического процесса осветлителей со взвешенным осадком.*

*Сетчатые барабанные фильтры, применяемые в качестве самостоятельных сооружений глубокой очистки, называют микрофильтрами, а устанавливаемые перед зернистыми фильтрами глубокой очистки - барабанными сетками.*

## Изменение концентрации взвешенных веществ по высоте фильтрующего слоя в процессе осветления воды



Кривая 1 характерна для начала процесса  $t_p$ , когда осветление воды происходит на участке толщиной  $x_0$ . На остальной части фильтрующего слоя толщиной  $(l-x_0)$  концентрация взвеси изменяется незначительно, так как после извлечения из воды всех способных к прилипанию частиц в ней остаются устойчивые частицы, которые плохо задерживаются фильтрами. С течением времени по мере накопления осадка в фильтрующем слое роль его верхних слоев, как показывают зависимости 2, 3 и 4, уменьшается, и после предельного насыщения их осадком они перестают осветлять воду.

С уменьшением роли верхних слоев возрастает роль слоев загрузки, расположенных ниже, а толщина загрузки, участвующая в осветлении воды, увеличивается. Когда вся толщина загрузки окажется недостаточной для обеспечения требуемой полноты осветления воды, концентрация взвеси в фильтрате будет быстро возрастать. Толщина слоя загрузки, которая к моменту времени  $t_p$  находится в состоянии предельного насыщения, обозначена через  $x_{нас}$ . Интенсивность задержания взвеси каждым элементарным слоем загрузки с течением времени уменьшается; это влияние объясняется тем, что отложения на поверхности зерен загрузки образуют характерную для геля рыхлую сетчатую структуру, которая является весьма непрочной.

## *Протекание коллоидных процессов при фильтровании*

*В результате действия гидродинамических сил, возникающих при движении воды, структура отложений разрушается, и некоторая часть ранее прилипших частиц отрывается от зерен в виде мелких хлопьев и проносится в следующие слои загрузки, где вновь задерживается. Таким образом, эффект осветления воды каждым элементарным слоем фильтрующего материала является суммарным результатом двух противоположных процессов: прилипания извлеченных из воды частиц к поверхности зерен загрузки и отрыва под действием гидродинамических сил потока прилипших ранее частиц, обратно поступающих в воду. Эти два процесса обуславливают кинетику фильтрования воды, загрязненной взвешенными частицами: изменение концентрации взвеси в воде и количества отложений в толще фильтрующего слоя с течением времени. Осветление и накопление осадка в каждом элементарном слое фильтра происходит до тех пор, пока прилипание частиц идет быстрее, чем их отрыв. С накоплением осадка отрыв частиц увеличивается, и, когда насыщение элементарного слоя приблизится к предельному, слой перестанет осветлять воду.*

*В верхних слоях загрузки фильтра задерживается наибольшее количество взвеси, и эти слои раньше других могут оказаться в состоянии предельного насыщения. Постепенно область предельного насыщения распространяется в глубь загрузки. Одновременно вглубь загрузки перемещается и область интенсивного изменения концентрации взвеси в воде.*

# Скорость фильтрования

Интенсивность работы осветлительных фильтров характеризуется скоростью фильтрования, выраженной в м/ч и численно равной часовой производительности 1 м<sup>2</sup> сечения фильтра [м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч)]. Скорость фильтрования определяется по формуле:

$$W = \frac{Q}{F} \text{ м/ч,}$$

где  $Q$  – часовое количество фильтруемой воды, м<sup>3</sup>/ч;

$F$  – площадь фильтрования, м<sup>2</sup>.

Фильтрование воды происходит за счет разности давления над  $h_1$  и под  $h_2$  фильтрующим слоем:

$$\Delta h = h_1 - h_2.$$

Величина  $\Delta h$  называется перепадом давления или потерей напора в фильтре. Потеря напора в фильтрующем слое или сопротивление этого слоя тем больше, чем больше скорость фильтрования, высота и степень засорения фильтрующего слоя загрязнениями, удаляемыми из воды, и чем меньше размеры зерен фильтрующего материала и температура фильтруемой воды. Процесс осветления воды фильтрованием сопровождается увеличением гидравлического сопротивления фильтра вследствие накопления в нем задержанной взвеси и уменьшения свободного объема пор между зернами фильтрующего материала. Потеря напора при этом повышается от некоторой наименьшей величины, соответствующей чистому слою и равной 0,4 м вод. ст., до максимально допустимой, составляющей 3 м вод. ст. для безнапорных и 10 м вод. ст. для напорных осветлительных фильтров.

# *Понятие о фильтроцикле.*

## *Продолжительность фильтроцикла.*

*По мере увеличения сопротивления фильтра уменьшаются скорость фильтрования и производительность фильтра. Поэтому для обеспечения необходимой производительности фильтра приходится периодически увеличивать перепад давлений в нем путем увеличения степени открытия задвижки на трубопроводе подвода воды к фильтру. При достижении максимально допустимого загрязнения, характеризуемого предельно допустимой потерей напора, фильтр выключается из работы на взрыхляющую промывку, которая состоит в пропуске через него осветленной воды снизу вверх. Период работы фильтра от начала одной промывки до начала следующей называется фильтроциклом. Продолжительность фильтроцикла  $T+t$  складывается из полезной работы фильтра между промывками  $T$  и продолжительности выключения фильтра на промывку  $t$ . Величина  $T+t$  зависит от удельной грязеемкости фильтра (т.е. от количества килограммов загрязнений, задержанных фильтром за цикл, отнесенного к  $1 \text{ м}^3$  фильтрующей загрузки), основных размеров фильтра (площади фильтрования и высоты фильтрующей загрузки), концентрации взвешенных веществ в фильтруемой воде и часовой производительности фильтра.*



# *Классификация осветлительных фильтров по типу*

**Сертификационные фильтры**



# *Классификация осветлительных фильтров по давлению воды над фильтрующим слоем*

## **Осветлительные фильтры**

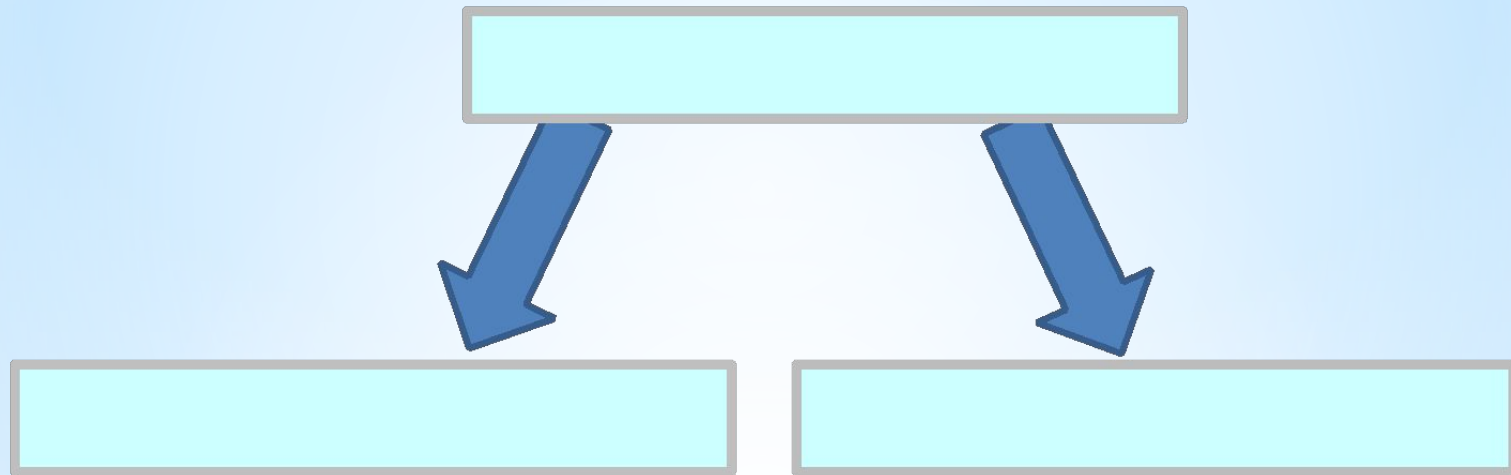


*Самотечные или открытые фильтры - фильтры, работающие под напором, создаваемым разностью уровней воды в фильтре и сборном баке осветленной воды.*

*Напорные или закрытые фильтры - фильтры, работающие под напором, создаваемым насосом или высоко расположенным баком.*

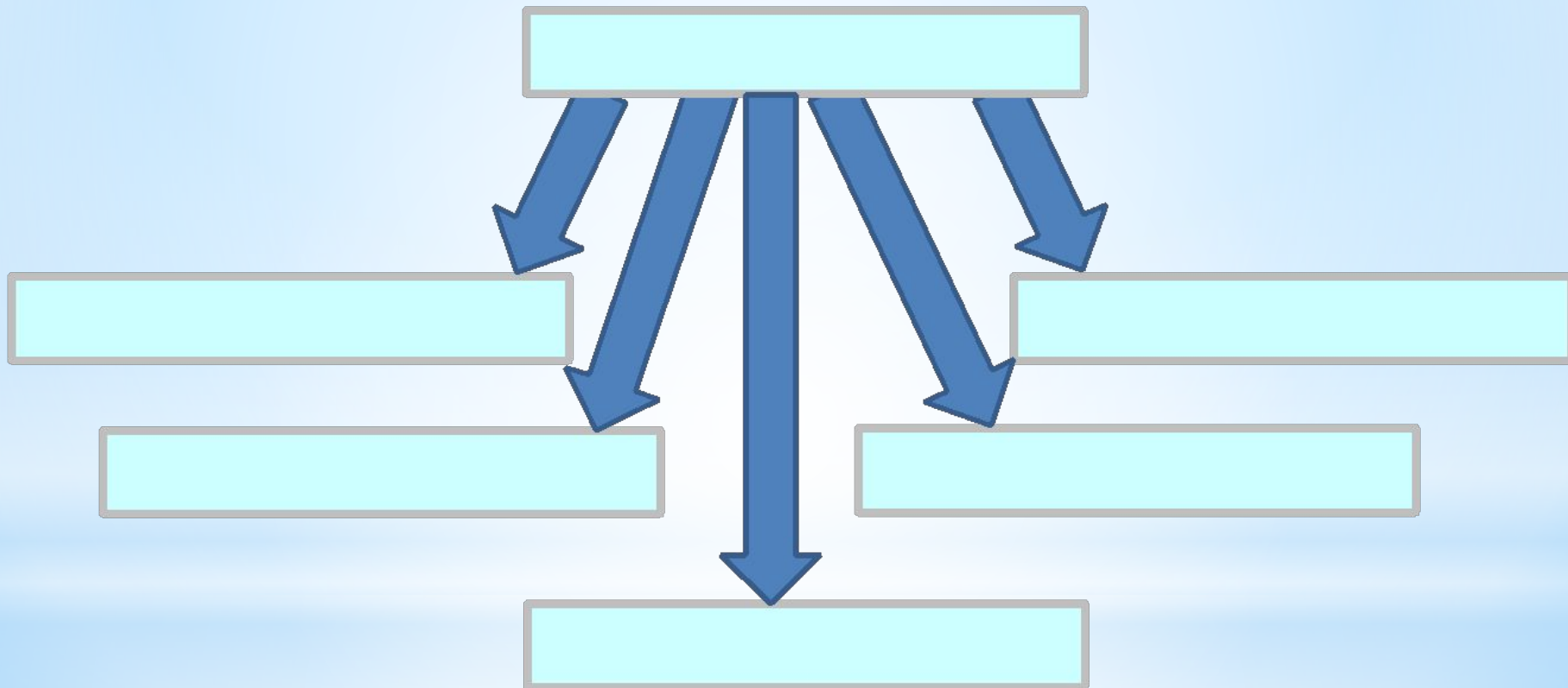
# *Классификация осветлительных фильтров по количеству фильтрующих слоев*

**Одноступенчатые фильтры**



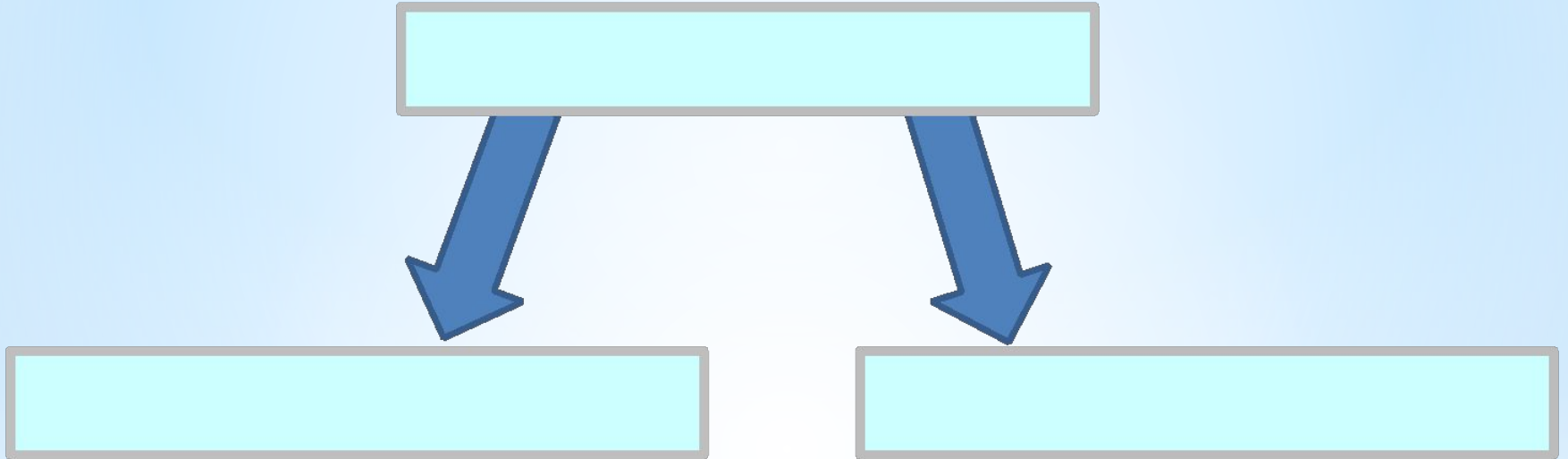
# *Классификация осветлительных фильтров по числу параллельно работающих камер*

~~Общая классификация фильтров~~

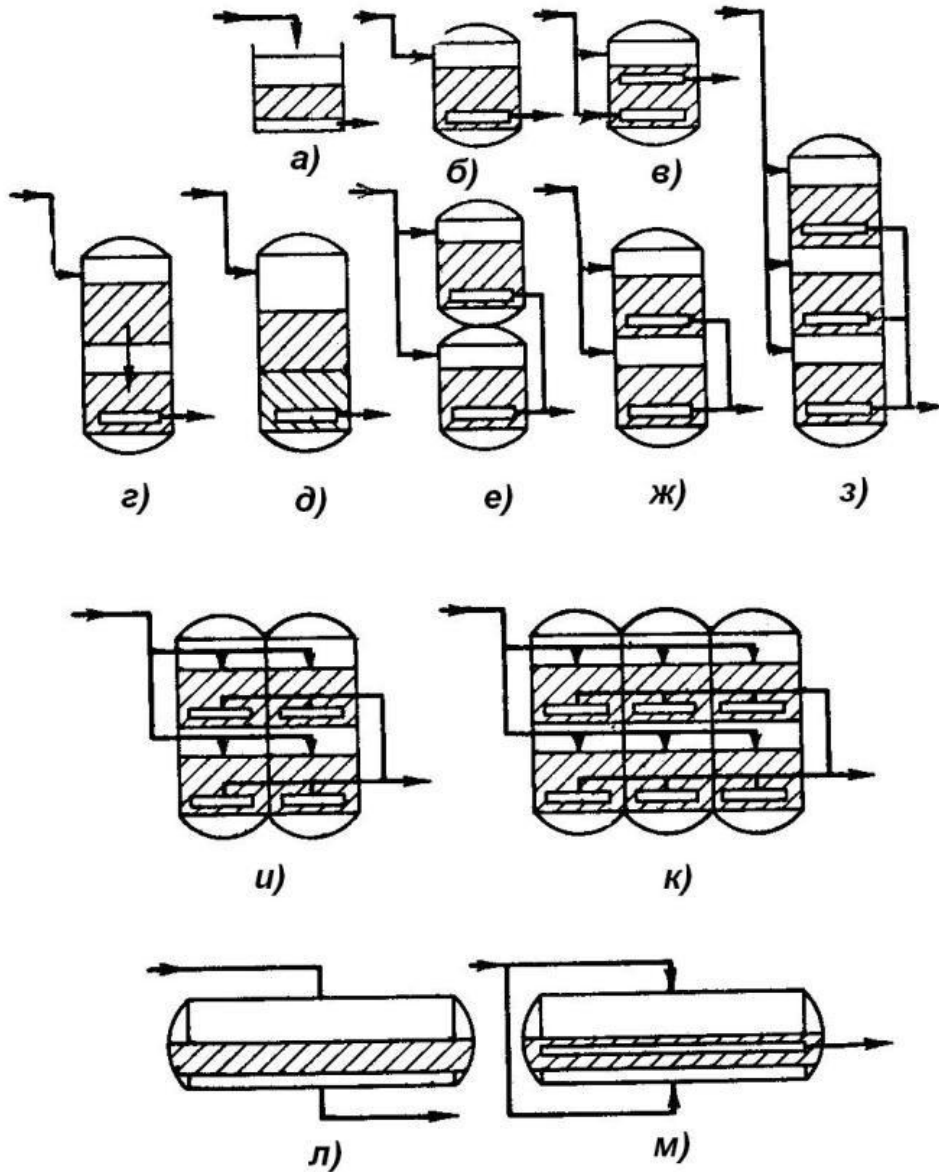


# *Классификация осветлительных фильтров по способу фильтрования*

~~Осветлительные фильтры~~



# Принципиальные схемы осветлительных фильтров

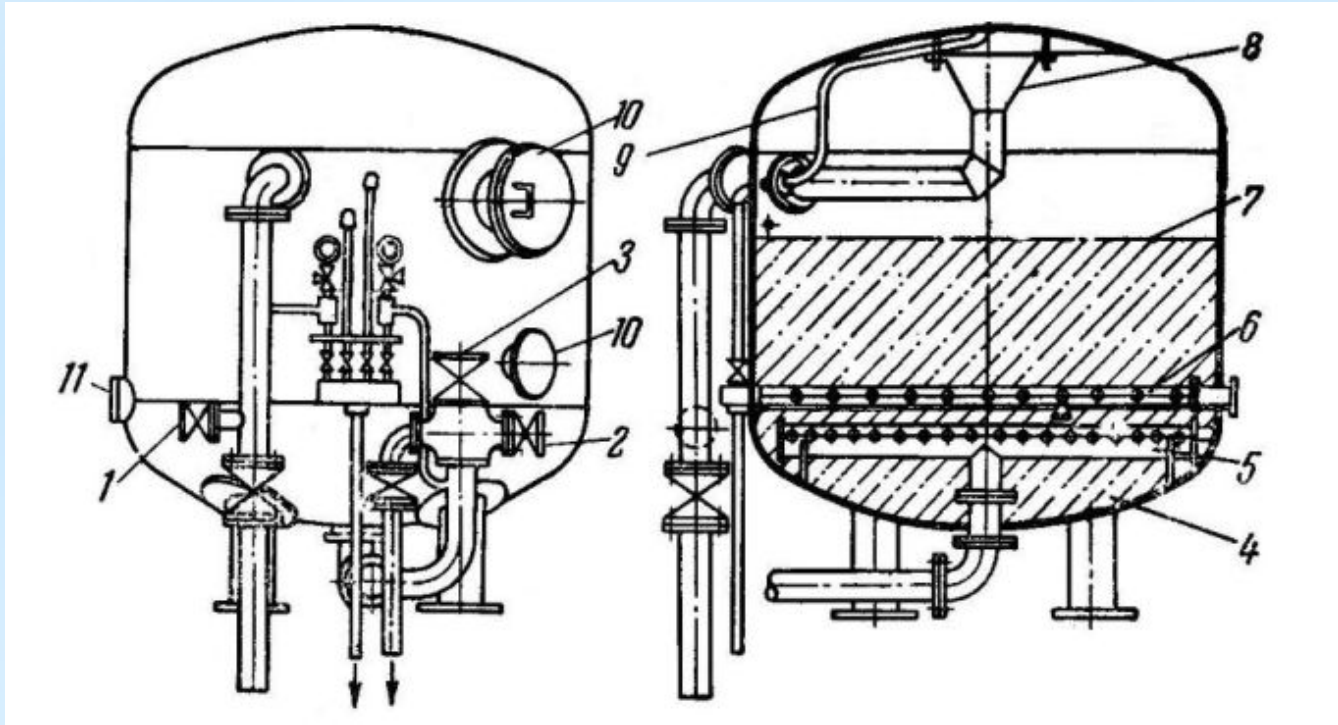


- а – вертикальный самотечный, одно-  
слойный однокамерный однопоточный*
- б - вертикальный напорный, однослойный  
однокамерный однопоточный*
- в - вертикальный напорный, однослойный  
однокамерный **двухпоточный***
- г - вертикальный напорный, двухслойный  
двухкамерный **однопоточный***
- д - вертикальный напорный, двухслойный  
однокамерный **однопоточный***
- е - вертикальный напорный, однослойный  
двухэтажный двухпоточный*
- ж - вертикальный напорный, однослойный  
двухкамерный однопоточный*
- з - вертикальный напорный, однослой-  
ный трехкамерный однопоточный*
- и - вертикальный напорный, однослой-  
ный батарейный однопоточный*
- к - вертикальный напорный, однослой-  
ный батарейный однопоточный*

*л – горизонтальный напорный, однослойный  
однокамерный однопоточный*

*м – горизонтальный напорный, однослойный  
однокамерный двухпоточный*

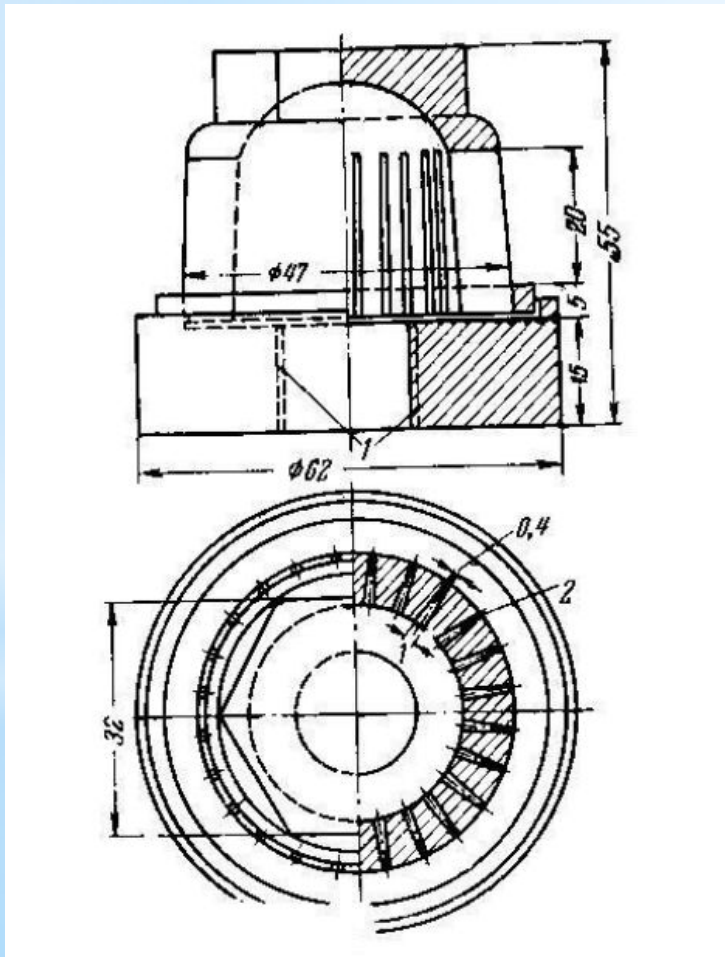
# Конструкция однопоточного вертикального осветлительного фильтра



Корпус фильтра представляет собой стальной цилиндр со штампованными эллиптически-ми днищами, рассчитанный на давление 6 атм. В верхнюю часть фильтра введены труба 1 с воронкой 8 для подвода и распределения по площади фильтра фильтруемой воды и труба 9 для отвода воздуха. В цилиндрической части корпуса имеются люки 10 и 11 для осмотра и ремонта фильтра и для выгрузки фильтрующего материала. Нижнее днище заполнено бетоном 4 для создания горизонтальной плоскости, на которой располагается дренажное устройство 5, предназначенное для равномерного распределения воды по площади фильтра, отвода 2 осветленной воды из-под фильтрующего слоя и предотвращения выноса из фильтра вместе с осветленной водой зерен фильтрующего материала 7. Над дренажным устройством установлено аналогичное распределительное устройство 6 для сжатого воздуха. Через задвижку 3 подается вода для взрыхляющей промывки фильтрующего слоя.

## Дренажные устройства осветлительных фильтров

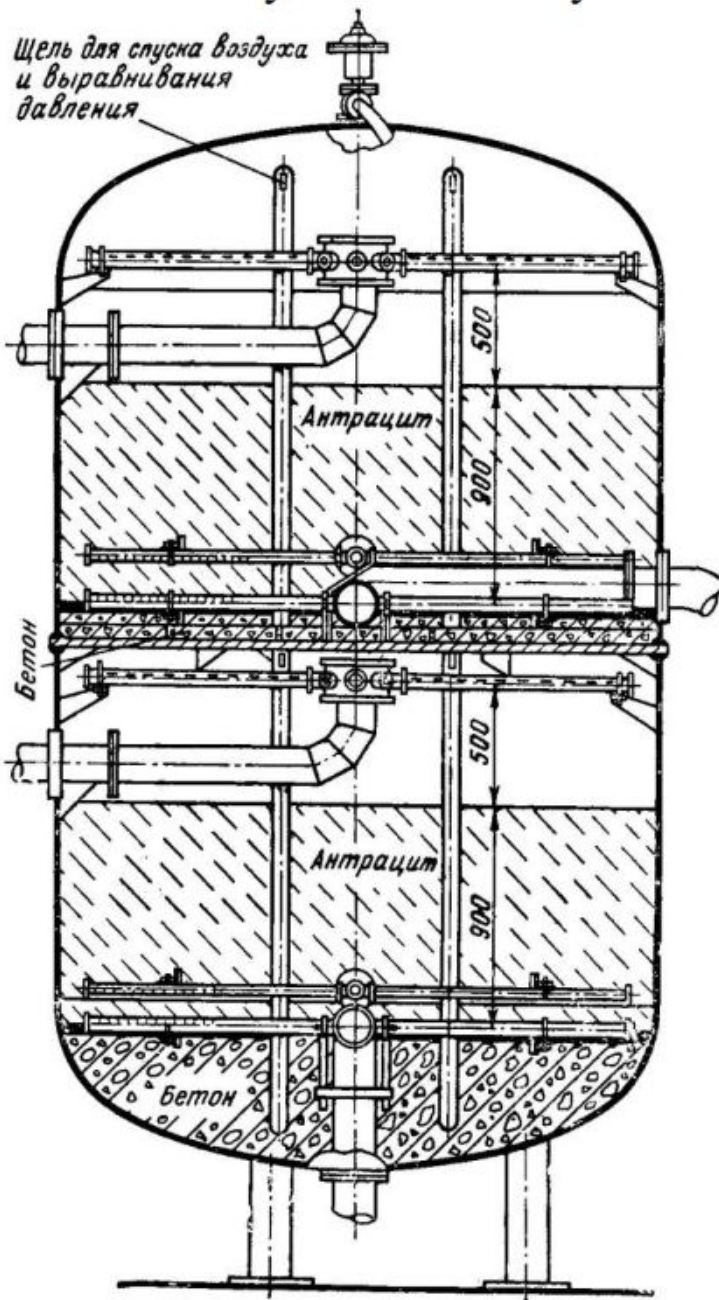
Дренажное устройство является весьма важным элементом осветлительного фильтра. Наиболее широкое распространение получили колпачковые дренажные устройства, в которых на ниппели стальных распределительных труб навинчиваются щелевые дренажные колпачки имеющие различные конструкции.



Дренажный щелевой фарфоровый колпачок. Достаточно стоек против истирания крупным песком при промывке фильтра. В последнее время все более широкое распространение приобретает бесколпачковое трубчато-щелевое дренажное устройство, которое является наиболее простым и прочным и представляет собой коллектор с боковыми распределительными трубками из винипласта, полиэтилена или нержавеющей стали с прорезанными в них вертикально или наклонно щелями шириной 0,5 мм. Во избежание нежелательного уноса в дренаж фильтрующего материала при взрыхляющей промывке фильтра на сливной линии устанавливаются специальные ограничители взрыхления (регуляторы скорости промывки), которые выполняются или в виде вращающейся в трубе заслонки, степень открытия которой регулируется поплавком, или в виде дроссельной шайбы.



# Двух- и трехкамерные осветлительные фильтры



Двух- и трехкамерные фильтры разделены на две или три камеры плоскими промежуточными днищами, рассчитанными из условия возможного перепада давлений в соседних камерах, равного 1 атм. Плоские днища имеют анкерные трубы для обеспечения необходимой жесткости. В этих трубах в верхних зонах камер имеются щели для выравнивания давления в камерах фильтров. На верхнем сферическом днище установлен вантуз для автоматического удаления воздуха из фильтра.

Преимуществом двух- и трехкамерных фильтров по сравнению с однокамерными является то, что они при одном и том же диаметре имеют вдвое и втрое большую производительность, что создает возможность лучшего использования площади пола и кубатуры помещения водоподготовительной установки. Кроме того, благодаря меньшему количеству сферических днищ камерные фильтры получаются легче, чем два-три однопоточных фильтра той же суммарной производительности: двухкамерный фильтр легче, чем двухэтажный фильтр той же производительности.

## *Двухслойные фильтры*

*На водоподготовительных установках применяются двухслойные осветлительные фильтры большой грязеемкости. После загрузки этих фильтров кварцевым песком и взрыхляющей промывки последнего из них удаляется верхний слой высотой 200-300 мм наиболее мелкого песка, оставляя нижний слой загрузки с размером зерен 0,65-0,75 мм, на который загружается слой дробленого антрацита высотой 500 мм с размером зерен 1,0-1,25 мм. В результате такой замены фильтрующая пленка на поверхности антрацита образовываться не будет, а содержащиеся в воде взвешенные вещества будут проникать в поры слоя дробленого антрацита и задерживаться на поверхности его частиц и лежащем ниже слое кварцевого песка. Так как плотность антрацита почти в 1,5 раза меньше плотности кварцевого песка, слой дробленого антрацита может состоять из более крупных зерен, чем зерна лежащего ниже кварцевого песка, без опасности перемешивания их во время взрыхляющей промывки. Такие фильтры могут применяться только в тех случаях, когда допустимо использование кварцевого песка в качестве фильтрующего материала.*

## **Фильтрующие материалы**

*Материал, загружаемый в осветлительные фильтры, должен хорошо задерживать содержащиеся в осветляемой воде грубодисперсные вещества, легко отмываться от задержанной взвеси, не измельчаться и не истираться при промывке, быть стойким против химического воздействия на него фильтруемой воды и не загрязнять фильтруемую воду какими-либо веществами, входящими в состав самого материала. В качестве материалов, отвечающих этим требованиям, наиболее широкое применение получили кварцевый песок и дробленый антрацит. Кварцевый песок обычно применяется на коагуляционных установках, предназначенных для подготовки добавочной питательной воды парогенераторов низкого и среднего давлений при температуре не выше 60 °С и значении рН не выше 9. Применять кварцевый песок в осветлительных фильтрах для подготовки добавочной питательной воды парогенераторов высокого давления нецелесообразно ввиду опасности загрязнения фильтрата кремниевой кислотой. Поэтому на водоподготовительных установках электростанций с давлением 100 атм и выше в качестве фильтрующего материала применяется малозольный термостойкий дробленый антрацит при температуре до 100 °С и значении рН в пределах от 4 до 10.*

*Крупность и степень неоднородности фильтрующего материала, высушенного при 105 °С, определяются ситовым анализом на ряде калиброванных сит. Для загрузки фильтров рекомендуется среднезернистый песок с размерами зерен 0,35-1,5 мм и крупнозернистый песок с размерами зерен 0,4-2,0 мм. В частности, в фильтрах, предназначенных для осветления некоагулированной воды или же воды, обработанной коагулянтом в осветлителе, принимается слой фильтрующей загрузки высотой 0,9-1,2 м с зернами диаметром 0,5-1,0 мм. При подаче на фильтры коагулированной воды без предварительного отстаивания высота слоя фильтрующей загрузки принимается в пределах 1,2-2,0 м с размерами зерен 1,0-1,5 мм.*

*Важным показателем качества фильтрующего материала является его механическая прочность. При недостаточной механической прочности при взрыхляющей промывке происходит истирание и измельчение зерен, в результате чего повышается гидравлическое сопротивление фильтрующей загрузки, происходят вынос измельченных зерен при промывке и безвозвратная потеря фильтрующего материала.*

**См. ГОСТ Р 51641-2000 Материалы фильтрующие зернистые.**

**Физико-химические методы водоподготовки**

## Эксплуатация осветлительных фильтров

*Работа осветлительных фильтров состоит из трех периодов: полезной работы фильтра по осветлению воды, взрыхляющей промывки фильтра и спуска первого фильтрата в дренаж. Эксплуатация фильтра в межпромывочный период состоит в наблюдении за прозрачностью воды после пропуска ее через фильтр, производительностью фильтра и изменением его гидравлического сопротивления (величиной потери напора). Для этого на линиях осветляемой и осветленной воды установлены пробоотборные краны и манометры, а на линиях промывной и осветленной воды – расходомеры.*

*При снижении прозрачности осветленной воды, а также при достижении максимально допустимой потери напора фильтр выводится из работы на промывку. Промывка фильтра заключается в пропуске через него осветленной воды снизу вверх. Для этого сначала фильтр выключается из работы, а затем подается вода из промывочного бака. Интенсивный поток промывной воды, поднимаясь, разрыхляет и взвешивает весь фильтрующий слой, расширяющийся при этом на 40-50 %, что дает возможность зернам загруженного фильтрующего материала свободно двигаться в потоке воды и при столкновениях счищать прилипшие к ним частицы ила и слизи.*

## Эксплуатация осветлительных фильтров

*Скорость воды при взрыхляющей промывке характеризуется интенсивностью промывки, под которой подразумевается секундный расход воды в литрах через 1 м<sup>2</sup> сечения фильтра [л/ (м<sup>2</sup>·с)]. Промывка фильтра должна проводиться с такой интенсивностью, которая, обеспечивая вымывание осадков, не приводит к выносу зерен фильтрующего материала. Величина интенсивности промывки зависит от рода материала, размера его зерен, температуры промывной воды и обычно составляет 15-18 л/(м<sup>2</sup>·с) для кварцевого песка и 10-12 л/(м<sup>2</sup>·с) для дробленого антрацита. Контроль за интенсивностью промывки осуществляется по расходу промывной воды, измеряемому расходомером. Продолжительность промывки составляет 6 мин. По окончании взрыхляющей промывки первый, мутный фильтрат спускается в канализацию со скоростью 5 м/ч в течение 5-10 мин, после чего фильтр включается в нормальную работу. Во время работы фильтра постепенно заполняется осветленной водой промывочный бак. Продолжительность остановки фильтра на промывку и спуск первого фильтрата со всеми переключениями задвижек составляет около 20 мин.*

*Скорость фильтрования воды в напорных осветлительных фильтрах, загруженных кварцевым песком или дробленым антрацитом, при предварительной обработке воды в осветлителях составляет 5,0-6,5 м/ч, а без предварительной обработки ее 4-5 м/ч.*

## **Эксплуатация осветлительных фильтров**

*Удельная грязеемкость фильтрующих материалов, в однопоточных фильтрах без предварительной обработки воды перед фильтрами составляет для кварцевого песка  $0,75 \text{ кг/м}^3$ , для дробленого антрацита  $1,0 \text{ кг/м}^3$ . При предварительной обработке воды в осветлителе удельная грязеемкость соответственно  $1,25$  и  $1,5 \text{ кг/м}^3$ . С точки зрения экономичности работы установки и удобства обслуживания фильтров продолжительность фильтроцикла должна быть не менее 8 ч, а количество установленных фильтров не меньше трех.*

*Для уменьшения расхода воды на собственные нужды и повышения эффективности промывки иногда применяются устройства для верхней промывки фильтров, которые представляют собой систему дырчатых труб, уложенных на 50-75 мм выше поверхности фильтрующего слоя. Подводимая в устройство промывная вода, проходя через отверстия, размывает пленку задержанной взвеси.*

