

**С. М. ЧУДНОВСКИЙ**

***УЛУЧШЕНИЕ  
КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ  
ВОД***

Учебное пособие

Вологда  
2014

Министерство образования и науки Российской Федерации

Вологодский государственный университет

**С.М. Чудновский**

## **УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД**

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ  
в качестве учебного пособия

Вологда  
2014

УДК 502.5(204)–02(075.8)  
ББК 38.761.104я73  
Ч 84

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения  
Вологодского государственного университета *А.Г. Гудков*

директор ООО «Росэко» *О.Б. Волошина*

директор ООО «РАЦИО» *А.И. Дурягин,*

**Чудновский С.М.**

Ч 84     **Улучшение качества природных вод:** учеб. пособие / С.М. Чуднов-  
ский. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 182 с.

ISBN 978–5–87851–516–0

В учебном пособии изложены рекомендации по проектированию водо-  
очистных сооружений для подготовки питьевой и технической воды, приве-  
дены необходимые справочные материалы. Пособие предназначено для ис-  
пользования в учебном процессе при выполнении курсовых и дипломных  
проектов, расчетно-графических работ, практических занятий для студентов  
специальностей 280302, 280402 и направления бакалавриата 280100.62 «При-  
родообустройство и водопользование».

УДК 502.5(204)–02(075.8)  
ББК 38.761.104я73

ISBN 978–5–87851–516–0

© Вологодский государственный  
университет, 2014

© С. М. Чудновский, 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Вода – это вещество, которое определяет жизнедеятельность человека во всех ее сферах. Антуан де Сент-Экзюпери посвятил воде ставшие знаменитыми строки: «Вода! У тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя невозможно описать, тобой наслаждаются, не ведая, что ты такое. Нельзя сказать, что ты необходима для жизни, ты – сама жизнь... Ты самое большое богатство на свете».

Требования к качеству воды, предъявляемые потребителями, весьма разнообразны и зависят от ее назначения. Так, например, вода, используемая для питьевых и хозяйственно-бытовых целей, должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу, иметь благоприятные органолептические свойства.

С 1 января 2013 года в России вступил в силу Федеральный закон от 07.12.2011 N 416-ФЗ "О водоснабжении и водоотведении". В тексте этого закона изложена государственная политика в сфере водоснабжения и водоотведения, в частности, предусматривается достижение следующих целей:

- охрана здоровья и улучшение качества жизни населения путем обеспечения бесперебойного и качественного водоснабжения и водоотведения;
- повышение энергетической эффективности путем экономного потребления воды;
- снижение негативного воздействия на водные объекты путем повышения качества очистки сточных вод;
- обеспечение доступности водоснабжения и водоотведения для всех абонентов;
- обеспечение развития централизованных систем водоснабжения и водоотведения путем развития эффективных форм управления этими системами, привлечения инвестиций и развития кадрового потенциала.

Целью изучения дисциплины «Улучшение качества природных и очистка сточных вод» является приобретение студентами знаний в области теоретических основ современных методов водоподготовки и очистки сточных вод, приобретение навыков проектирования очистных сооружений, получение навыков анализа работы и оценки достоинств и недостатков различных конструкций сооружений. Так как дисциплина носит прикладной характер, студенты одновременно с изучением теоретических вопросов, должны овладеть современными методами расчета водоочистных станций, станций очистки сточных вод, научиться выбирать оптимальные варианты технологических схем.

В учебном пособии изложены основные теоретические вопросы, представлены сведения о новых разработках, выполненных за последние годы в ВоГТУ, содержится подробный материал по проектированию сооружений для улучшения качества природных вод. Пособие предназначено для использования в учебном процессе при выполнении курсовых и дипломных проектов, практических работ, для самостоятельной подготовки студентов, обучающихся по специальностям 280302 «Комплексное использование и охрана водных ресурсов» и 280402 «Природоохранное обустройство территорий» и направления бакалавриата 280100.62- «Природообустройство и водопользование».

## 1. Основные термины и определения

Таблица 1.1

### Основные типы вод

| Термин              | Определение                                                                                                                                                                                   |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Бойлерная вода      | Вода определенного качества, находящаяся в котле при кипении или прошедшая через него                                                                                                         |
| Дождевые воды       | Воды, образующиеся из атмосферных осадков и в которые еще не поступили растворимые вещества из почвы                                                                                          |
| Минеральная вода    | Вода, в которой содержание минералов выше, чем в обычной питьевой воде                                                                                                                        |
| Мягкая вода         | Вода с низкой общей жесткостью                                                                                                                                                                |
| Необработанная вода | Вода, которая не подверглась очистке, или вода, поступающая для дальнейшей очистки на очистные сооружения                                                                                     |
| Оросительная вода   | Вода, подводимая к почвам или корням растений с целью повышения влажности почвы и обеспечения растений водой, необходимой для их нормального роста или предотвращения накопления соли в почве |
| Охлаждающая вода    | Вода, используемая для поглощения и передачи тепла                                                                                                                                            |
| Питьевая вода       | Вода, качество которой пригодно для питья                                                                                                                                                     |
| Поверхностные воды  | Воды, которые текут или собираются на поверхности земли                                                                                                                                       |
| Промышленная вода   | Вода, используемая в производственном процессе                                                                                                                                                |
| Термальная вода     | Вода горячего или теплого источника                                                                                                                                                           |

Таблица 1.2

### Качество и состав природных вод

| Термин                                    | Определение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Бактерии                                  | Большая группа микроскопических, метаболически активных, одноклеточных организмов с дисперсным ядром, в основном обитающих свободно и обычно размножающихся делением                                                                                                                                                                                                                  |
| Биомасса                                  | Общая масса живого вещества в данном водоеме                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Биота                                     | Живые компоненты водной системы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Биохимическое потребление кислорода (БПК) | Массовая концентрация растворенного кислорода, потребленного при определенных условиях в процессе биологического окисления органических и/или неорганических веществ, содержащихся в воде                                                                                                                                                                                             |
| Взвешенные вещества                       | Вещества, выделенные путем фильтрации и центрифугирования при определенных условиях                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Вирусы                                    | Большая группа ультрамикроскопических организмов (от 20 до 300 нм в диаметре), которые в основном состоят из нуклеиновой кислоты, окруженной протеиновой оболочкой. Они репродуцируются только в живых клетках. Вирусы могут проходить через фильтры, которые задерживают бактерии                                                                                                    |
| Гуминовые кислоты                         | Аморфные комплексные полимерные органические вещества, образующиеся при разложении растительных и животных остатков в почвах и осадках. Они придают характерную желто-коричневую окраску многим поверхностным водам                                                                                                                                                                   |
| Жесткость                                 | Свойство воды, которое проявляется через ее способность образовывать пену при контакте с мылом. Термин «жесткость» является широко применяемым термином для описания концентрации кальция и магния в воде. Существуют разные типы жесткости (общая жесткость, карбонатная жесткость и др.), и соответствующие определения в различных странах не всегда совпадают с этим определением |

Продолжение табл. 1.2

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Жесткость нещелочная (постоянная)    | Жесткость, которая не исчезает после кипячения, она связана с присутствием сульфатов, хлоридов, нитратов кальция и магния                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Канцероген                           | Вещество, способное вызвать злокачественную опухоль (рак) у человека, животного или растений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Микрозагрязнитель                    | Вещество, которое загрязняет воду даже в минимальных концентрациях                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Мутаген                              | Вещество, способное вызывать генетические изменения в живых организмах                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Общий хлор                           | Хлор в виде свободного хлора или сложного хлора, или в обоих видах сразу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Олиготрофный                         | Определение, характеризующее водную массу, обедненную биогенными элементами и содержащую водные организмы, представленные значительным разнообразием видов, но относительно малой численностью. Эта водная масса характеризуется большой прозрачностью, высоким содержанием кислорода в ее верхнем слое и донными отложениями, окрашенными, как правило, в коричневые оттенки и содержащими незначительное количество органического вещества |
| Органолептический                    | Определение, характеризующее свойства воды, такие как цвет, вкус, запах и внешний вид, которые воспринимаются органами чувств человека                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Патоген                              | Организм, способный вызывать заболевание у восприимчивых растений или животных, а также у человека                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Планктон                             | Дрейфующие или взвешенные в воде организмы, состоящие в основном из мелких растений или животных, но включающие также крупные формы, имеющие слабую способность к передвижению                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Поверхностно-активное вещество (ПАВ) | Химическое соединение, растворенное или диспергированное в жидкости, абсорбирует главным образом поверхностью контакта, что определяет совокупность его физико-химических или химических свойств, имеющих практический интерес                                                                                                                                                                                                               |
| Растворенные вещества                | Вещества, оставшиеся после фильтрации пробы и выпаривания ее досуха при определенных условиях                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Токсикологический тест               | Тест, в котором вещество заданной концентрации контактирует с определенными организмами с целью определения токсикологического воздействия вещества на эти организмы                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Химическое потребление кислорода     | Массовая концентрация кислорода, эквивалентная количеству бихромата, потребленного растворенными или взвешенными веществами во время обработки пробы воды этим окислителем при определенных условиях                                                                                                                                                                                                                                         |
| Фульвокислоты                        | Часть гуминовых веществ, которые растворимы как в растворе кислоты, так и в щелочном растворе                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Щелочность                           | Способность водной среды количественно реагировать с ионами водорода                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Энтеровирусы; кишечные вирусы        | Группа вирусов, которые могут размножаться в желудочно-кишечном тракте человека и животных                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

**Технологические термины**

| Термин                          | Определение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Аэрация                         | Введение воздуха в жидкость                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Дезинфекция (обеззараживание)   | Обработка воды с целью удаления патогенных микроорганизмов                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Диализ                          | Процесс, при котором небольшие молекулы или ионы проходят через мембрану, в результате чего происходит их отделение от более крупных молекул в растворе и от суспензированных частиц                                                                                                                                                                    |
| Дистилляция                     | Процесс выпаривания и конденсации, используемый для получения воды высокой степени чистоты                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Загрязнение                     | Ухудшение свойств природных вод, необходимых для использования в определенных целях (определение, данное Международной организацией здравоохранения)                                                                                                                                                                                                    |
| Минерализация                   | Распад органического вещества до образования двуокиси углерода, воды и углеводов, окисей или минеральных солей любых других присутствующих элементов                                                                                                                                                                                                    |
| Многослойное фильтрование       | Процесс очистки воды, при котором вода проходит сверху вниз или снизу вверх через два или более слоев. Верхний слой состоит из крупных частиц с малой плотностью. В каждом из последующих слоев размер частиц уменьшается, но возрастает их плотность                                                                                                   |
| Озонирование                    | Добавление озона к воде или сточным водам, например, с целью дезинфекции, окисления органического вещества или удаления неприятного вкуса и запаха                                                                                                                                                                                                      |
| Осветление                      | Процесс, при котором происходит оседание частиц в большом резервуаре, в результате чего вода становится более светлой, чем при поступлении в резервуар                                                                                                                                                                                                  |
| Самоочистка                     | Естественные процессы очистки загрязненной водной массы                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Седиментация                    | Процесс осаждения и отложения под действием силы тяжести взвешенного вещества в воде или в сточных водах                                                                                                                                                                                                                                                |
| Стерилизация                    | Процесс обезвреживания или уничтожения всех живых организмов (включая вегетативные и споровые формы), а также вирусов                                                                                                                                                                                                                                   |
| Физико-химическая обработка     | Сочетание физической и химической обработки с целью достижения требуемых результатов                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Фильтрация                      | Удаление взвешенного вещества из массы воды путем прохождения через слой пористого материала или через сетки с подходящим размером отверстий                                                                                                                                                                                                            |
| Флотация                        | Всплывание взвешенного в воде вещества на поверхность, например, с помощью улавливания газа                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Фторирование                    | Добавление к питьевой воде соединения, содержащего фтор, для сохранения концентраций ионов фтористых соединений в установленных пределах                                                                                                                                                                                                                |
| Химическая (реагентная) очистка | Процесс, связанный с добавлением химических реагентов с целью достижения требуемых результатов                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Хлорирование                    | Процесс добавления в воду газообразного хлора или других компонентов, с помощью которых образуются хлорноватистая кислота или гипохлоритные ионы, которые необходимы, например, для прекращения роста бактерий, окисления органических веществ, для стимулирования коагуляции или уменьшения запаха. Основная цель этого процесса – обеззараживание вод |

## **2. Методы и технологические схемы улучшения качества природных вод**

Возможны два метода осветления воды: естественный и искусственный.

При первом методе вода в естественном виде очищается без применения каких либо химикатов.

При искусственном методе вода подвергается химической обработке, которая в определенной степени изменяет ее химический состав.

Основными производственными операциями по удалению из воды взвесей являются осаждение и фильтрование (естественный метод).

Осветление воды по искусственному методу осуществляется тремя этапами:

**I Подготовительный этап.** Вода подвергается обработке различными химическими реагентами, что приводит к увеличению эффективности последующих приемов осветления;

**Второй этап осветления** заключается в осаждении из воды взвешенных частиц

**III этап** – с помощью фильтрации удаляются из воды мелкие частицы взвеси, не задержанные осаждением.

Рассмотрим общую схему сооружений осветления и обеззараживания воды.

Возможны другие схемы осветления.

### **2.1. Теоретические основы процессов коагуляции воды**

В водах открытых водоисточников взвешенные вещества обычно представляют собой частицы песка, глины, ила, планктонные организмы, продукты разрушения растений и т.д.

Взвешенные частицы, удельный вес которых больше единицы, стремятся осесть. Однако, мелкие частицы, имеющие размеры от  $3 \div 4$  до 0,1 мм и коллоидные частицы с размерами от 0,1 и до 0,001 мм практически не оседают, находясь в воде во взвешенном состоянии. Обычно в процессе очистки воды могут за относительно короткий срок оседать частицы, имеющие радиус более 30 микрон. Остальные частицы без специальных мер выделить отстаиванием невозможно. Именно для их осаждения и применяют добавление к воде коагулянтов – веществ, образующих относительно крупные, быстро оседающие хлопья, которые увлекают за собой при осаждении мелкодисперсную взвесь.

Частицы глины, ила и другие загрязнения природных вод по преимуществу образуют коллоидные системы. Коллоиды – это совокупности большого количества молекул данного вещества, содержащегося в воде в диспергированном состоянии.

Коллоидные частицы постоянно находятся в броуновском движении и перемещаясь, эти частицы увлекают за собой определенный покрывающий их тонкий слой воды. Обладая большой удельной поверхностью, частицы абсорбируют находящиеся в воде ионы одного знака. Эти ионы, непосредственно прилегающие к ядру коллоидной частицы, образуют так называемый абсорбционный слой. В связи с тем, что на границе абсорбционного слоя создается электрический заряд, вокруг него создается еще один диффузный слой с ионами, компенсирующими заряд абсорбционного слоя. Потенциал на границе абсорбционного слоя носит название электрокинетического потенциала, или дзета-потенциала ( $\tau$  - потенциал). Таким образом, наличие у частиц электрических зарядов одного знака, вызывающих их взаимное отталкивание, мешает слипанию частиц.

Одновременно между коллоидными частицами имеются молекулярные силы взаимного притяжения, называемые силами Ван-дер-Ваальса. Эти силы проявляются лишь при небольшом расстоянии между частицами и быстро убывают с увеличением расстояния.

Если показать зависимость между силами притяжения и силами отталкивания от расстояния между частицами, то график такой зависимости будет выглядеть примерно так.

Построим кривую, суммирующую влияние сил притяжения и отталкивания. Таким образом, для того чтобы частицы эффективно притягивались друг к другу, им необходимо преодолеть некоторый силовой барьер, соответствующий максимуму отталкивания. После преодоления этого барьера резко увеличиваются силы притяжения, и частицы слипаются. Следовательно, необходимо понизить величину дзета-потенциала. Экспериментально установлено, что дзета-потенциал коллоидных частиц в природных водах обычно находится в пределах 35-70 мВ. Для того чтобы молекулярные силы преобладали над электрокинетическими, дзета-потенциал должен быть ниже 30 мВ. С максимальной интенсивностью будет проходить коагуляция при дзета-потенциале, близком к нулю.

Одним из методов снижения дзета-потенциала частиц является увеличение концентрации электролита в воде, т.е. введение в воду раствора коагулянта. При этом увеличивается количество ионов, входящих в диффузный слой, и, следовательно, уменьшается разность потенциалов между диффузным и абсорбционным слоями.

Следовательно, основным назначением коагуляции воды является снижение дзета-потенциала загрязняющих ее частиц.

Электрофорез – это направленное движение коллоидных частиц или макроионов под действием внешнего электрического поля. Электрофорез был открыт Ф. Ф. Рейссом в 1807 году и считается важнейшей разновидностью электрокинетических явлений.

Скорость  $v$  движущихся частиц приближённо связана с напряжённостью электрического поля  $E$  уравнением Смолуховского:

$$v = \frac{DE\xi}{4\pi\eta},$$

где  $\eta$  – вязкость среды,  $D$  – диэлектрическая проницаемость,  $\xi$  – электрокинетический потенциал.

Электрокинетический потенциал ( $\xi$ -потенциал) – это часть общего скачка потенциала на границе двух фаз, определяющая относительное перемещение этих фаз при электрокинетических явлениях. Общий скачок потенциала при пересечении межфазной границы в дисперсных системах обусловлен существованием двойного электрического слоя. Электрокинетический потенциал — перепад потенциала по той части диффузного слоя, в пределах которой жидкость может быть вовлечена в тангенциальное движение относительно межфазной поверхности при внешнем воздействии на систему.

Электрокинетические явления обусловлены существованием на границе фаз избыточных зарядов, располагающихся в виде двух противоположно заряженных слоев, называемых двойным электрическим слоем. Внешнее электрическое поле, направленное вдоль границы фаз, вызывает смещение одного ионного слоя по отношению к другому, что приводит к относительному перемещению фаз, т. е. к электроосмосу или электрофорезу [3].

Строение двойного электрического слоя оказывает большое влияние на электрические свойства межфазных границ и на протекающие на них процессы – прежде всего, на механизм и кинетику электрохимических реакций, электрокинетические явления и на устойчивость коллоидных систем.

Процесс электрофореза основан на движении коллоидных частиц – мицелл (рис. 2.1).

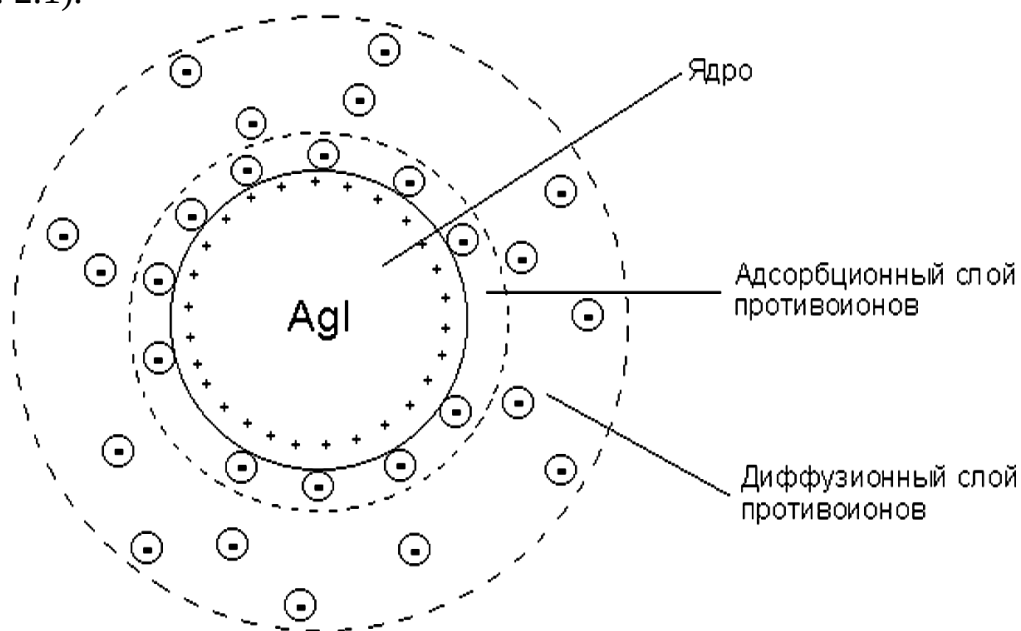


Рис. 2.1. Схема строения коллоидной мицеллы

Мицелла - отдельная частица дисперсной фазы высокодисперсной коллоидной системы с жидкой дисперсионной средой. Она состоит из ядра кристаллической или аморфной структуры и поверхностного слоя, включающего связанные молекулы окружающей жидкости. Ядро мицеллы окружено двумя слоями противоположно заряженных ионов (двойным электрическим слоем). С точки зрения теории, если мицелла неподвижна, то число положительных и отрицательных зарядов в ней одинаково, следовательно, в неподвижном состоянии мицелла электронейтральна.

Непосредственно у поверхности ядра расположены ионы адсорбционного слоя. В него входят все ионы одного знака и часть ионов другого знака. Остальные противоионы образуют диффузный слой; он окружает мицеллу в виде ионного "облака", плотность которого падает по мере удаления от ядра. Диффузный слой препятствует сближению и агрегированию частиц в процессе броуновского движения.

Диффузный слой ионов мицеллы непрочен, при перемещении мицеллы происходит его частичное разделение, при этом дисперсная фаза и дисперсионная среда приобретают противоположные заряды. В электрическом поле гранула перемещается к одному полюсу, а часть противоионов диффузного слоя отрывается от мицеллы и передвигается к противоположному полюсу (рис. 2.2).

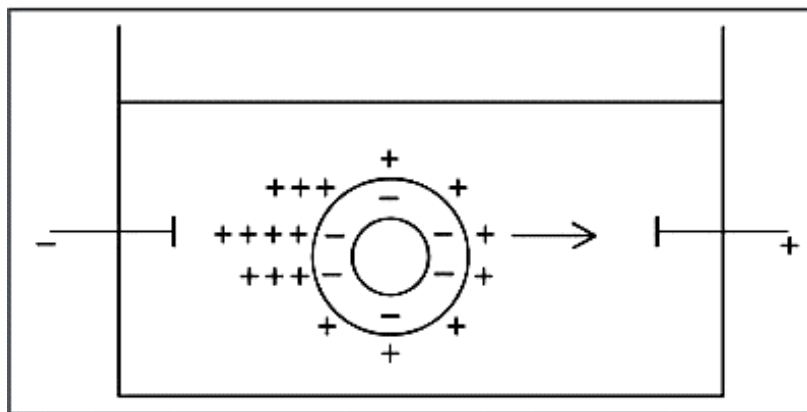


Рис. 2.2. Схема электрофореза

Однако, в результате Броуновского (теплового) движения теряется часть ионов диффузного слоя. Именно такие потери приводят к возникновению разности потенциалов между слоями.

Электрофорез является одним из наиболее важных методов для разделения и анализа компонентов веществ в химии, биохимии и молекулярной биологии [4].

## 2.2. Теоретические основы процессов отстаивания воды

Основная масса взвешенных в воде примесей и скоагулированных хлопьев удаляется отстаиванием. На скорость осаждения частиц в неподвижной жидкости под действием силы тяжести влияют: форма и размеры частиц, их плотность и коэффициент сопротивления жидкости движению частицы. Различают взвесь монодисперсную, состоящую из частиц примерно одинаковой гидравлической крупности, и полидисперсную, гидравлическая крупность частиц которой изменяется в значительных пределах.

Большинство взвесей, встречающихся в природной воде, а также образующихся в процессе очистки, неоднородны по форме, размерам и массе. Поэтому характер процесса осаждения таких полидисперсных взвесей устанавливается экспериментально на основании графика, где на оси абсцисс откладывается время осаждения ( $t$ ), а на оси ординат масса выпавшей взвеси ( $m$ ). Проводя касательные к отдельным точкам кривой и продлевая их до пересечения с осью ординат, получают массу полностью осевших к определенному времени фракций. Общую массу всей осевшей взвеси определяют высотой перпендикуляра АВ, опущенного на ось времени. Кривые осаждения взвеси характеризуют гранулометрический состав и поведение при отстаивании. Такие кривые могут быть получены при помощи специальных приборов – седиментометров.

Время осаждения взвеси  $t$  зависит от высоты слоя воды в емкости ( $h$ ), где проходит осаждение. Разделив эту высоту на время, соответствующее определенному проценту выпавшей взвеси, находят так называемые процентные скорости выпадения взвеси:

$$U_1 = \frac{h}{t_1}; \quad U_2 = \frac{h}{t_2} \quad \text{и т.д. ,} \quad \text{мм/с.}$$

Советским ученым Кастальским А.А. предложена методика, позволяющая быстро сравнивать способность различных вод к осветлению. По этой методике определяют процент выпавшей взвеси при скоростях осаждения 0,2 мм/с (А) и 1,2 мм/с (В), отношение А/В называется показателем осаждаемости взвеси.

Обычно в средней полосе Европейской части СССР показатели осаждаемости взвеси в реках во время паводка колеблются в пределах

$$\frac{A}{B} = \frac{10}{20} \div \frac{20}{60},$$

а в период малой мутности воды

$$\frac{A}{B} = \frac{5}{15} \div \frac{15}{40}.$$

По показателям осаждаемости взвесей А/В определяют расчетную скорость осаждения взвеси  $U_0$  в зависимости от заданного процента осветления воды

$$U_0 = \frac{1,2B - 0,2A - 1,1y}{B - A},$$

где  $y$  – заданный процент задержания отстойником взвеси, определяемой по формуле

$$y = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100\%,$$

где  $M_1$  – содержание взвешенных веществ в осветляемой воде, мг/л;

$M_2$  – допустимое содержание взвешенных веществ в отстоянной воде, мг/л. Для отстойников очистных станций хозяйственно-питьевых водопроводов значение  $M_2$  должно быть равно 8-12 мг/л.

Осаждение взвеси в отстойниках происходит медленнее, чем в неподвижной воде, так как движение воды в отстойниках имеет турбулентный характер и на осаждающиеся частицы влияет горизонтальная скорость движения воды и вертикальная составляющая скорости турбулентного потока

### **2.3. Теоретические основы процессов безреагентной напорной флотации**

Флотация – это процесс удаления из воды мелких твёрдых и плавающих частиц, основанный на различии их в смачиваемости водой. Принцип метода флотации заключается в том, что часть воды (около 15%) , в которой под давлением растворен воздух, распределяют в остальной части обрабатываемой воды. Попадая в зону меньшего давления, из насыщенной воздухом воды выделяются его мельчайшие пузырьки, необходимые для флотации легкой взвеси. Флотация - это процесс, основанный на всплывании коллоидных и дисперсных примесей вместе с пузырьками воздуха и образовании на поверхности флотатора пены.

Наиболее удобным является метод напорной флотации, при котором через очищаемую воду пропускают мелкие пузырьки воздуха. В этом случае частицы взвеси собираются на поверхности раздела двух фаз «воздух-жидкость», прилипают к пузырькам воздуха и выносятся с ними на поверхность.

Выделение загрязнений из воды происходит во флотационных камерах, которые могут быть разнообразных форм и конструкций. Камеры с горизонтальным движением воды используются наиболее широко, они имеют в плане квадратную или прямоугольную формы.

Для удаления пены с поверхности воды используют различные способы и механизмы. В практике наибольшее распространение получили скребки-транспортеры, которые применяются для удаления очень вязких пен при очистке вод от жиров, масел и волокон. Во флотационных камерах, имеющих в плане круглую форму, применяют вращающиеся скребки. На установках флотационного осветления используются также лопастные пеносъемники, которые устанавливаются у сливной кромки пеносбросного желоба.

В Вологодском государственном техническом университете разработано несколько конструкций водозаборно-очистных узлов, где применяется про-

цесс флотации. В водозаборно-очистной установке для флотации и фильтрования [5] этот процесс используется для первичной очистки воды и для обеспечения рыбозащиты, после чего вода отправляется на доочистку в фильтр с загрузкой из вспененного полистирола. Такие же функции выполняет флотация и в установке, оборудованной инжектором фильтрования [6]. Помимо этих двух конструкций в Вологодском государственном техническом университете разработана водозаборно-очистная установка, в которой в зависимости от изменений качества исходной воды автоматически выбираются процессы флотации или аэрации. Однако, ни одна из вышеперечисленных конструкций не способна очистить воду до питьевого качества.

#### **2.4. Теоретические основы процессов очистки воды в осветлителях со взвешенным осадком**

Советский ученый Азерьер С.Х. в 1931 году при исследовании вертикальных отстойников в г. Ростове на Дону заметил, что прозрачность осветленной воды значительно уменьшается в тех опытах, когда эта вода проходила через слой ранее выпавшего осадка. Это было объяснено тем, что контакт воды после введения в нее коагулянтов с ранее выпавшим осадком ускоряет процесс образования хлопьев. Эти исследования послужили основанием для разработки многочисленных конструкций сооружений, в которых процесс осветления воды улучшается в результате контакта осветляемой воды с ранее выпавшим осадком. Эти сооружения называются осветлителями (оцепензионными сепараторами).

В практике водоподготовки применяются два типа осветлителей.

В первом типе контакт воды с ранее выпавшим осадком достигается при ее движении снизу вверх через слой осадка со скоростью достаточно большой для того, чтобы привести осадок во взвешенное состояние (псевдоочищенный слой), но меньшей, чем скорость свободного осаждения хлопьев осадка в неподвижной воде.

Во втором типе осветлителей имеется специальная камера хлопьеобразования, оборудованная механическими мешалками, в которой вода перемешивается с ранее выпавшим осадком, а затем поступает в зону осветления, где происходит выделение из воды крупных хлопьев.

Эффективная работа осветлителей может быть обеспечена только тогда, когда содержащиеся в воде взвешенные и коллоидные частицы неустойчивы и способны к смешению, т.е. после химической обработки воды, когда взвесь имеет низкий дзета-потенциал.

При работе осветлителя величина взвешенных частиц и хлопьев постоянно меняется. Происходит их сгущение вследствие смешения и разрежение под влиянием гидродинамического воздействия потока. Поэтому при стабильном составе взвешенных потоком воды частиц высота их слоя с увеличе-

нием скорости потока растет, а с уменьшением скорости верхняя граница слоя понижается. При этом объемная концентрация твердой фазы во взвешенном слое изменяется обратно пропорционально его высоте.

Для того чтобы объем взвешенного слоя не увеличивался, в современных конструкциях осветлителей предусматривается непрерывное удаление избыточного осадка в осадкоуплотнитель, где он уплотняется перед выпуском в сток. Нормальная работа осветлителей достигается при сохранении постоянного расхода воды и температуры.

## **2.5. Теоретические основы процессов фильтрования воды**

Существуют понятия «фильтрация» и «фильтрование».

Фильтрация – это процессы движения жидкости и газов через пористые грунты в природных условиях.

Фильтрование – это процессы разделения суспензий и других неоднородных систем.

Таким образом, при изучении процессов осветления воды нас интересует прежде всего процесс фильтрования.

Фильтрование – это один из древнейших процессов, применяемых для осветления воды. Изучению механизма этого процесса были посвящены труды многих ученых в различных странах мира с начала 20 века до наших дней, таких как: Ива (Япония), Марциле (Чехославакия) Айвес и Бле (США), Деб (Великобритания).

Особую роль в изучении процессов фильтрования сыграл советский ученый профессор Д.М. Минц, разработавший наиболее стройную теорию этого процесса. Профессор Минц был организатором и первым директором института коммунального водоснабжения и очистки воды (Москва). Он умер в середине 70-х годов. Его теорией и методами исследований и расчетов пользуются многие специалисты зарубежных стран и, конечно, большинство советских специалистов.

В настоящее время изучением процессов фильтрования занимаются крупные научно-исследовательские институты, такие как КВиОВ, ВНИИВОД-ГЕО (Москва), институт коллоидной химии и химии воды (Киев) и др.

Процессам фильтрования посвящены многие книги, статьи, монографии. Наиболее полно опыт, накопленный при изучении и практическом применении процессов фильтрования, отражен в книге П.А. Жушикова Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия, 1980. –400 с., а также в книгах и статьях таких советских ученых, как Шуберт С.А. (Москва), Бабенков Е.Д. (Москва), Журба М.Г. (Кишинев), Фомин (Новосибирск) и др. И тем не менее процесс фильтрования до настоящего времени изучен не полностью, это не дает возможности с надлежащей степенью точности и экономичности управлять работой фильтров водоочистных сооружений.

Процессы, протекающие при движении воды через фильтрующие материалы, очень сложны и по современным понятиям включают:

1. Процеживание воды;
2. Осаждение частиц взвеси;
3. Электростатическое взаимодействие частиц взвеси и зерен загрузки;
4. Межмолекулярное взаимодействие.

Процеживание заключается в протекании воды через поры, образуемые зернами фильтрующей загрузки.

Осаждение – это гравитационное задерживание частиц взвеси на поверхности и в порах загрузки.

Электростатическое взаимодействие вызвано наличием электротехнического потенциала (дзета–потенциала) на поверхности зерен фильтрующей загрузки и на поверхности частиц взвеси. Если зерна загрузки и взвесь обладают дзета-потенциалом одного знака, то происходит электростатическое отталкивание. Если же знаки – разные, это способствует притяжению частиц взвеси и зерен загрузки.

Межмолекулярное взаимодействие основано на влиянии сил молекулярного притяжения Ван-дер-Ваальса (мы об этих силах уже говорили, когда изучали механизмы процессов коагуляции и отстаивания).

Каждый из этих четырех факторов оказывает свое определенное влияние на процесс фильтрования. Следовательно, наиболее эффективно процесс фильтрования будет протекать в тех случаях, когда будет максимально использоваться влияние всех четырех факторов на этот процесс. Если просуммировать влияние всех сил и факторов на процесс фильтрования, можно прийти к выводу: процесс осветления воды на фильтрах – это суммарный результат прилегания задерживаемых в фильтрующем слое частиц взвеси (кольматация) и отрыва этих частиц гидродинамическими силами потока (суффозия).

В каждом слое фильтрующей загрузки осветление воды будет происходить до тех пор, пока кольматация будет превышать суффозию.

Мы уже говорили о том, что существуют два вида фильтрования (плёночное и объемное). Вид фильтрования в основном зависит от вида и характеристик фильтрующего материала. Поэтому прежде, чем мы начнем изучать конструкции фильтров, мы вкратце рассмотрим виды фильтрующих материалов, применяемых для фильтрования воды.

Рассмотрим, например, процесс фильтрования воды сверху – вниз через зернистую загрузку:

В этом случае сначала будут загрязняться верхние слои загрузки, а затем нижние. Время, в течение которого данная фильтрующая загрузка способна осветлить воду, называется временем защитного действия загрузки ( $T_3$ ).

Следовательно, время фильтрования без промывки  $T_\phi$  должно быть:

$$T_\phi \leq T_3.$$

Учитывая сложность процесса фильтрования, до настоящего времени нет каких-либо подходящих рекомендаций по расчету  $T_3$ .

Величину  $T_3$  для каждого конкретного случая определяют на основании экспериментальных исследований.

В результате этих исследований обычно определяют параметры универсального уравнения фильтрования.

Рассмотрим какой-либо элементарный слой загрузки в фильтре: выделим его двумя сечениями I-I и II-II. Предположим, что сечение I-I находится на расстоянии  $x$  от поверхности загрузки, а толщина элементарного слоя –  $\Delta x$ . К сечению I-I подходит вода с концентрацией  $C_1$ , а к сечению II-II – с концентрацией  $C_2$ . Уменьшение концентрации в элементарном слое составит:

$$\Delta C = C_1 - C_2 = -(C_2 - C_1) = -\frac{\partial C}{\partial X} \Delta X.$$

Производная  $\frac{\partial C}{\partial X}$  – это градиент концентрации, т.е. изменение концентрации взвеси, приходящееся на единицу толщины фильтрующего слоя. (Знак - в уравнении показывает, что концентрация уменьшается с увеличением расстояния  $X$ ).

Эффект осветления воды при фильтровании – это суммарный результат двух процессов: прилипания частиц к зернам загрузки и их отрыва, поэтому можно записать равенство:

$$\Delta C = \Delta C_1 - \Delta C_2,$$

где  $\Delta C_1$  – уменьшение концентрации частиц за счет их прилипания;

$\Delta C_2$  – увеличение концентрации частиц за счет их отрыва.

При этом:

$$\Delta C_1 = BC\Delta X,$$

где  $C$  – концентрация взвешенных частиц в фильтруемой воде;

$B$  – параметр фильтрования, определяющий интенсивность прилипания частиц (он зависит от условий фильтрования).

$$\Delta C_2 = \alpha\rho\Delta X,$$

где  $\alpha$  – параметр фильтрования, определяющий интенсивность отрыва частиц (он также зависит от условий фильтрования);

$\rho$  – количество взвешенных частиц, накопившихся к данному моменту в единице объема элементарного слоя загрузки.

Подставляя значения  $\Delta C$ ,  $\Delta C_1$  и  $\Delta C_2$  в равенство 2, получим:

$$-\frac{\partial C}{\partial X} = BC - \alpha\rho.$$

Это уравнение фильтрования. В нем есть безразмерные параметры  $B$  и  $\alpha$ , которые получают при экспериментальных исследованиях.

### 3. Требования, предъявляемые к качеству питьевой и технической воды

Качество воды – это характеристика ее состава и свойств, определяющая пригодность этой воды для конкретных видов водопользования

Критерий качества воды - признак, по которому производится оценка качества воды в зависимости от вида водопользования.

Качество воды хозяйственно-питьевого водоснабжения должно соответствовать гигиеническим нормативам, изложенным в [7, 8], основные из которых приведены в таблице 3.1. Критерий качества воды в водоисточниках при выборе их для хозяйственно-питьевого использования регламентируется [9]. Требования к качеству воды являются основными исходными данными для проектирования водоочистных сооружений.

Таблица 3.1

**Основные требования к качеству питьевой воды**

| Наименование показателей              | Ед. измер.      | Нормативы (ПДК), не более | В исключительных случаях, по согласованию с ГСЭН допускается | Класс опасности |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------|
| Мутность                              | мг/л            | 1,5                       | 2                                                            |                 |
| Цветность                             | град.ПКШ        | 20                        | 35                                                           |                 |
| Запах, привкус                        | баллы при 20° С | 2                         | -                                                            |                 |
| Водородный показатель                 | рН              | 6 - 9                     | -                                                            |                 |
| Общая жесткость                       | мг -экв\л       | 7                         | 10                                                           |                 |
| Хлориды                               | мг\л            | 350                       | -                                                            | 4               |
| Сульфаты                              | мг\л            | 500                       | -                                                            | 4               |
| Железо (суммарное)                    | мг\л            | 0,3                       | 1,0                                                          | 3               |
| Алюминий                              | мг\л            | 0,5                       | -                                                            | 2               |
| Фтор <sup>1</sup>                     | мг\л            | 0,7 - 1,5                 | -                                                            | 2               |
| Остаточный хлор <sup>2</sup>          | мг\л            | 0,3 - 0,5                 | -                                                            | 3               |
| Остаточный озон <sup>3</sup>          | мг\л            | 0,3                       | -                                                            |                 |
| Остаточный полиакриламид <sup>4</sup> | мг\л            | 2                         | -                                                            | 2               |
| Остаточная активнокремниевая кислота  | мг\л            | 10                        | -                                                            | 2               |
| Общая минерализация (сухой остаток)   | мг\л            | 1000                      | 1500                                                         |                 |
| Коли-индекс                           | кл\л            | 3                         | -                                                            |                 |

*Примечания:*

1. Содержание фтора регламентируется по климатическим районам (1 и 2 климатические районы до 1,5 мг\л, 3 климатический район – 1,2 мг\л).
2. При обеззараживании воды хлором в водопроводной воде населенного пункта (в ближайшей точке водопроводной сети к насосной станции).
3. При обеззараживании воды озоном.
4. При флокуляции воды полиакриламидом.

Класс опасности веществ учитывают при выборе соединений, подлежащих первоочередному контролю в питьевой воде, при обосновании рекомендаций о замене в технологических процессах высокоопасных веществ на менее опасные, при установлении последовательности водоохраных мероприятий, требующих дополнительных капиталовложений. К 1 классу относятся чрезвычайно опасные вещества, ко 2 классу – высокоопасные, к 3 классу – опасные, к 4 классу – умеренно опасные.

Требования к качеству воды, используемой в технологических производствах в различных отраслях промышленности, приведены в [10], наиболее характерных производств – в таблице 3.2, 3.3.

Таблица 3.2

**Требования к качеству  
технической воды**

| Показатели                               | Производства |             |           |                                    |                         |                  |            |
|------------------------------------------|--------------|-------------|-----------|------------------------------------|-------------------------|------------------|------------|
|                                          | Бумажное     | Целлюлозное | Вискозное | Текстильное<br>(прядельно-ткацкое) | Отбельно-<br>красильное | Дубление<br>кожи | Кожевенное |
| Мутность, мг/л                           | 2-5          | 0           | 5         | 5                                  | 5                       | 20               | 10         |
| Цветность, град.                         | 30           | 15          | 0         | 10-12                              | 5-10                    | 10-100           | -          |
| Прозрачность (по шрифту<br>Снеллена), см | -            | -           | 30        | 30                                 | 30                      | -                | -          |
| Общая жесткость,<br>мг-экв/л             | 4,3-5,7      | 0,7         | 0,2       | 1,4-2,1                            | 0,2-0,35                | 1-2,65           | 0,5        |
| Окисляемость, мг/л O <sub>2</sub>        | 10           | 6           | 2         | -                                  | 8-10                    | -                | -          |
| Содержание, мг/л:                        |              |             |           |                                    |                         |                  |            |
| - железа                                 | 1            | 0,2         | 0,03      | 0,2                                | 0,1                     | 0,2              | -          |
| - марганца                               | -            | -           | 0,03      | 0,2                                | 0,1                     | 0,2              | -          |
| - кремниевой кислоты                     | -            | -           | 25        | -                                  | -                       | -                | -          |
| - сероводорода                           | -            | -           | -         | -                                  | -                       | -                | 1          |
| - плотного осадка                        | 300          | -           | 100       | -                                  | -                       | -                | -          |
| pH                                       | 7-7,5        | 7-7,5       | -         | 7-8,5                              | 7-8,5                   | -                | -          |

Таблица 3.3

**Требования к качеству котловой и питательной воды для котлов  
различных типов**

| . Показатели                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Котлы                  |                         |                                              |                                   |                          |                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Жаротрубные (5-15 атм) | Водотрубные (15-25 атм) | Большой производи-<br>тельности (25-100 атм) | Высокого давления<br>(50-100 атм) | Барабанные (100-185 атм) | Прямоточные (100-150 атм) и<br>прямоточные на около и<br>сверх критическом давлении<br>(215-300 атм) |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                      | 3                       | 4                                            | 5                                 | 6                        | 7                                                                                                    |
| Общая жесткость в мг-<br>экв/л                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0,35                   | 0,15                    | 0,05                                         | 0,035*                            | 0,005                    |                                                                                                      |
| Содержание в мг/л:<br>- кремниевой кислоты в<br>пересчете на SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup><br>- кислорода O <sub>2</sub> ,мг/л<br>- свободной углекислоты<br>- смазочных масел,мг/л<br>- натриевых соединений в<br>пересчете на Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,мг/л<br>- соединений железа в<br>пересчете на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,мг/л<br>- соединений меди в пе-<br>ресчете на CuO,мг/л<br>- нитритов и нитратов в<br>пересчете на NO <sub>2</sub> и<br>NO <sub>3</sub> ,мг/л |                        | Не нормируется          |                                              |                                   |                          | 0,02                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1                      | 0,5                     | 0,01                                         | 0,01                              | 0,01                     | 0,01                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 10                     | 5                       | 2                                            | 1                                 | 0,5                      | Следы                                                                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Не нормируется         |                         |                                              |                                   |                          | Следы                                                                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | -                      | -                       | -                                            | -                                 | -                        | 0,02                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | -                      | -                       | -                                            | -                                 | -                        | 0,01                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | -                      | -                       | -                                            | -                                 | -                        | 0,05                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | -                      | -                       | -                                            | -                                 | -                        | 0,02                                                                                                 |
| pH                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | -                      | -                       | Не ниже 7                                    |                                   |                          | 7 – 8,5                                                                                              |
| * - При давлении более 80 атм общая жесткость воды составляет не более 0,015 мг-экв/л.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                        |                         |                                              |                                   |                          |                                                                                                      |

## **4. Проектирование водоочистных сооружений для осветления, обесцвечивания и обеззараживания воды**

### **4.1. Стадии проектирования**

Проектирование водоочистных сооружений может осуществляться только организациями, имеющими право (лицензию) на выполнение этих работ. Проектные работы могут осуществляться в несколько стадий. Стадийность проектирования и требования по содержанию проектных материалов на каждой стадии изложены в [11, 12].

При одностадийном проектировании составляется рабочий проект со сводным сметным расчетом стоимости. В этом проекте обычно используются типовые или повторно применяемые проекты. Кроме того, одностадийное проектирование обычно применяют при составлении технически несложных проектов.

В две стадии составляется обычно проект для устройства крупных водоочистных станций и комплексов. В этом случае проект кроме сводного сметного расчета должен содержать рабочую документацию для каждого элемента или узла.

### **4.2. Требования к материалам, используемым для проектирования**

Перед началом проектирования сооружений для улучшения качества природных вод осуществляется сбор и изучение имеющихся фондовых, архивных и литературных материалов. Это делается для того, чтобы получить достоверные сведения по следующему перечню вопросов:

- а) физико-географические условия (рельеф, климат);
- б) геологическое строение площадки, на которой будут располагаться водоочистные сооружения;
- в) условия залегания подземных вод, их санитарное состояние и защищенность от возможного загрязнения;
- г) основные характеристики поверхностных водных источников, (режимы движения воды, обеспеченность стока, колебания уровней, качественный состав воды).

### **4.3. Требования к содержанию курсового проекта**

Содержание расчетно-пояснительной записки: введение, выбор методов и разработка технологии очистки воды, конструирование сооружений, компоновка здания водоочистной станции, расчет трубопроводов обвязки, технико-экономические расчеты.

Графическая часть проекта выполняется на одном листе формата А–1 и должна содержать высотную технологическую схему сооружений, общую схему компоновки, план и разрезы отдельных сооружений, генплан очистной станции.

#### 4.4. Выбор исходных данных для курсового проектирования

По первой цифре варианта принимается величина производительности объекта водоснабжения из таблицы 4.1. По второй цифре варианта принимаются сведения о качестве исходной воды из таблицы 4.2.

Таблица 4.1

**Производительности объекта водоснабжения**

| Варианты              | 0     | 1     | 2     | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
|-----------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| м <sup>3</sup> /сутки | 25400 | 52600 | 37600 | 4500 | 3800 | 10200 | 14100 | 45400 | 65300 | 17700 |

Таблица 4.2

**Сведения о качестве исходной воды**

| Варианты             | 0   | 1   | 2    | 3    | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|----------------------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Показатели           |     |     |      |      |     |     |     |     |     |     |
| Мутность, мг/л       | 25  | 950 | 1400 | 1200 | 270 | 10  | 15  | 18  | 850 | 800 |
| Цветность, град.     | 35  | 80  | 25   | 40   | 65  | 22  | 30  | 28  | 90  | 70  |
| Щелочность, мг-экв/л | 0,3 | 0,6 | 1,0  | 0,7  | 1,1 | 0,8 | 0,4 | 0,9 | 0,5 | 0,2 |
| Запах, балл          | 1   | 3   | 5    | 4    | 2   | 5   | 2   | 3   | 1   | 4   |
| Привкус, балл        | 3   | 2   | 1    | 2    | 4   | 3   | 5   | 5   | 4   | 1   |
| pH                   | 6,9 | 7,5 | 7,9  | 8,3  | 7,1 | 6,5 | 7,7 | 8,1 | 6,7 | 7,3 |
| Коли - индекс        | 4   | 5   | 8    | 6    | 7   | 9   | 6   | 7   | 4   | 5   |
| Фтор                 | 0,1 | 0,5 | 0,2  | 0,2  | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 0,4 |

#### 4.5. Определение общей производительности водоочистной станции

Полный расход воды, поступающей на водоочистную станцию, определяется по формуле:

$$Q = \frac{\alpha \times Q_1}{T}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4.1)$$

где  $Q_1$  - заданная полезная производительность водоочистной станции, м<sup>3</sup>/сут (принимается из табл. 4.3.);

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды станции (табл. 4.3);

$T$  - время работы станции в течение суток, час.

Таблица 4.3

**Коэффициенты, учитывающие расходы воды на собственные нужды станции**

| Основное назначение водоочистной станции          | $\alpha$                                   |                                          |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|
|                                                   | Без повторного использования промывных вод | С повторным использованием промывных вод |
| Осветление, обесцвечивание, обеззараживание и др. | 1,1 – 1,14                                 | 1,03 – 1,04                              |
| Умягчение                                         | 1,25 – 1,3                                 | 1,2 – 1,25                               |

Для станций, имеющих полезную производительность до 5000 м<sup>3</sup>/сут, допускается предусматривать их работу в течение части суток ( $T=12-16$  ча-

сов), работа станций, имеющих производительность более 5000 м<sup>3</sup>/сут, предусматривается круглосуточной (Т = 24 часа).

#### 4.6. Выбор методов обработки природных вод и состава сооружений

Для выбора методов очистки воды производится сравнение исходных показателей ее качества с нормативными требованиями.

**Пример:** По исходным показателям: мутность – 1200 мг/л; цветность – 60 град ПКШ; запах – 3 балла; привкус – 2 балла; рН = 7; коли – индекс – 4 мт/л; фтор – 0,3 мг/л., предполагается добывание воды из поверхностного источника. Следовательно, технология очистки воды должна включать процессы обесцвечивания, дезодорации, обеззараживания, фторирования.

Состав сооружений зависит от принятых методов очистки воды.

Учитывая возможность появления в воде из поверхностного источника крупных плавающих и взвешенных примесей, необходимо предусмотреть на входе в водоочистные сооружения сетчатые барабанные фильтры. Если же кроме крупных и плавающих веществ возможно появление планктона, вместо сетчатых барабанных фильтров предусматривают микрофильтры. Состав сооружений для осветления и обесцвечивания воды зависит от требуемой производительности водоочистной станции, а также от мутности и цветности исходной воды. Рекомендации для предварительного выбора технологической схемы сооружений осветления и обесцвечивания технической воды представлены в таблице 4.4, для питьевой воды – в таблице 4.5.

На основании принятого состава сооружений составляется обобщенная технологическая схема водоочистной станции. Технологические схемы для подготовки питьевой воды приведены на рис.4.1.

Таблица 4.4

#### Примерный состав сооружений для осветления и обесцвечивания технической воды

| Характер обработки воды                  | Условия применения |                  |                     |            | Производительность водоочистной станции, м <sup>3</sup> /сут | Основной состав сооружений                               |
|------------------------------------------|--------------------|------------------|---------------------|------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                          | Мутность, мг/л     |                  | Цветность, град ПКШ |            |                                                              |                                                          |
|                                          | исх. вода          | очищ. вода       | исх. вода           | очищ. вода |                                                              |                                                          |
| Применение реагентов для коагуляции воды | ≤ 1500             | 8-15             | ≤ 120               | ≤ 40       | Любая                                                        | Горизонтальные отстойники, осветлители со взвеш. осадком |
|                                          | Более 1500         | До 250           | ≤ 120               | ≤ 20       | Любая                                                        | Радиальные отстойники                                    |
| Безреагентная обработка воды             | ≤ 150              | 30- 50% исходной | ≤ 120               | ≤ 120      | Любая                                                        | Крупнозернистые фильтры                                  |
|                                          | Более 1500         | 30-50% исходной  | ≤ 120               | ≤ 120      | Любая                                                        | Радиальные отстойники                                    |

Таблица 4.5

**Примерный состав сооружений для осветления и обесцвечивания  
питьевой воды**

| Характер обработки воды                                                    | Условия применения     |                     |                                                              | Основной состав сооружений                                             | № технологической схемы |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|                                                                            | Качество исходной воды |                     | Производительность водоочистной станции м <sup>3</sup> /сут. |                                                                        |                         |
|                                                                            | мутность, мг/л         | цветность, град ПКШ |                                                              |                                                                        |                         |
| 1                                                                          | 2                      | 3                   | 4                                                            | 5                                                                      | 6                       |
| Применение реагентов для коагуляции воды на предварительной стадии очистки | ≤ 120                  | ≤ 120               | Любая                                                        | Контактные осветлители                                                 | 1                       |
|                                                                            | ≤ 220                  | ≤ 150               | Любая                                                        | Предварительная напорная флотация контактные осветлители               | 2                       |
|                                                                            | ≤ 300                  | ≤ 120               | Любая                                                        | Контактные пре-фильтры - скорые открытые фильтры                       | 3                       |
|                                                                            | ≤ 1000                 | ≤ 120               | ≤ 800                                                        | Трубчатый отстойник - скорый напорный фильтр (установка «Струя»)       | 4                       |
|                                                                            | ≤ 1500                 | ≤ 120               | ≤ 5000                                                       | Вертикальные отстойники – скорые открытые фильтры                      | 5                       |
|                                                                            | ≤ 1500                 | ≤ 120               | Более 30000                                                  | Горизонтальные отстойники - скорые открытые фильтры                    | 6                       |
|                                                                            | 50-1500                | ≤ 120               | Более 5000                                                   | Осветлители со взвешенным осадком скорые открытые фильтры              | 7                       |
|                                                                            | Более 1500             | ≤ 120               | Любая                                                        | Две ступени отстойников - скорые открытые фильтры                      | 8                       |
| Безреагентная обработка воды                                               | ≤ 20                   | ≤ 35                | ≤ 5000                                                       | Скорые напорные фильтры                                                | 9                       |
|                                                                            | ≤ 30                   | ≤ 35                | ≤ 50000                                                      | Скорые открытые фильтры                                                | 10                      |
|                                                                            | ≤ 1500                 | ≤ 35                | Любая                                                        | Медленные фильтры с механической или гидравлической регенерацией песка | 11                      |

Схема 1

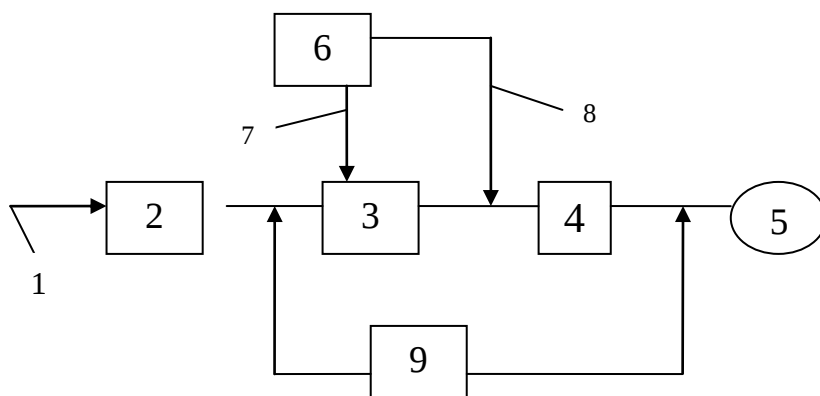


Схема 2

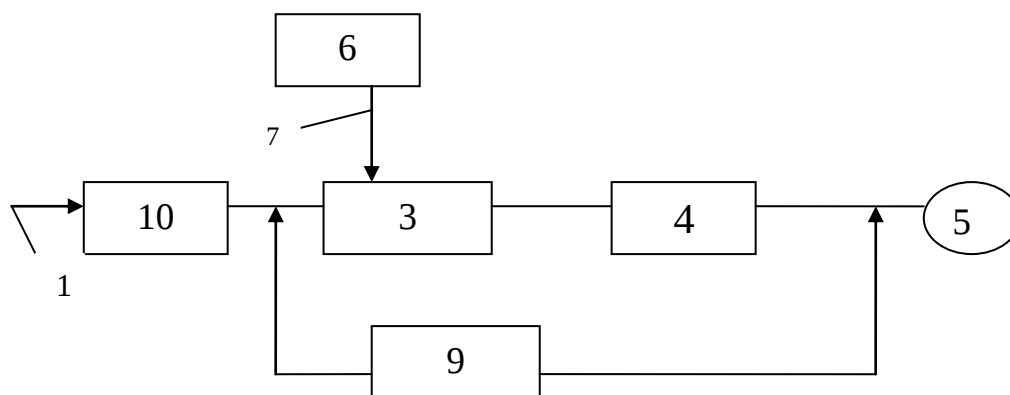


Схема 3

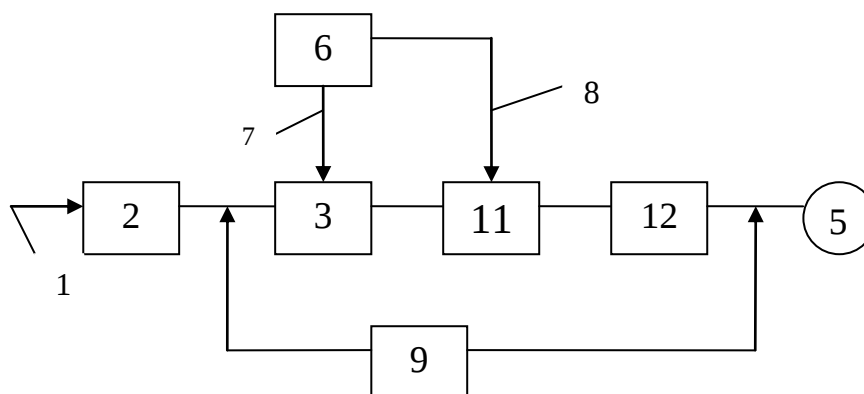


Схема 4

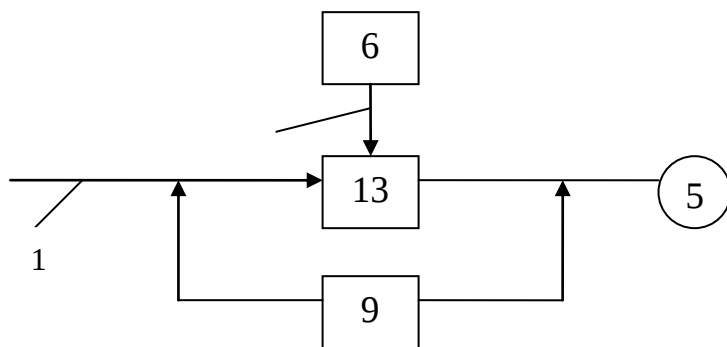


Схема 5

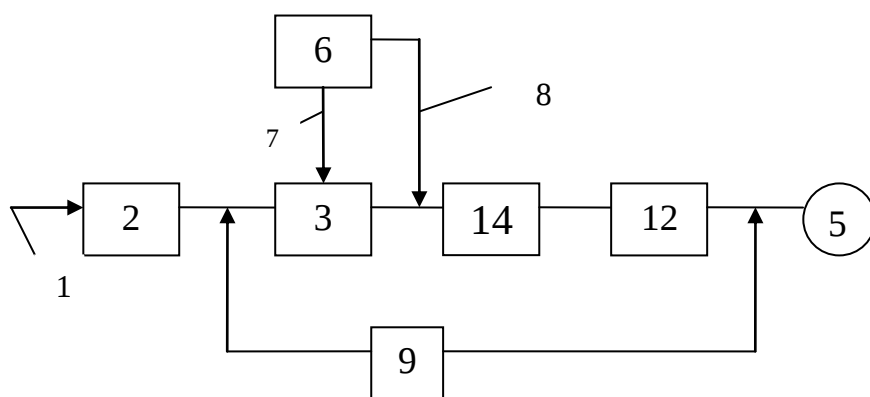


Схема 6

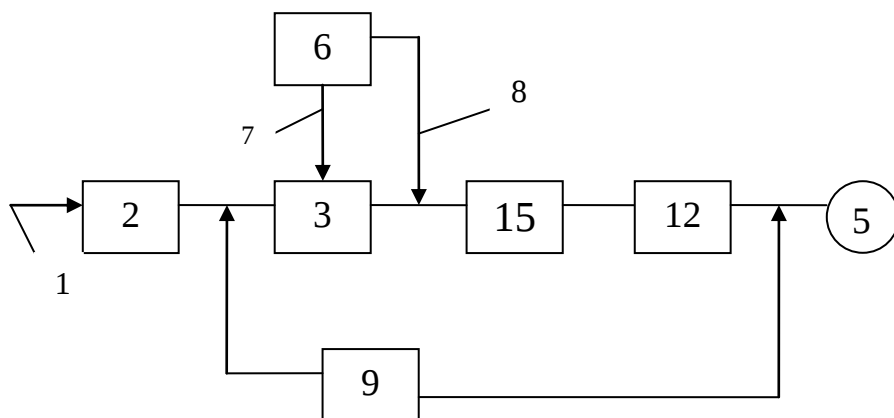


Схема 7

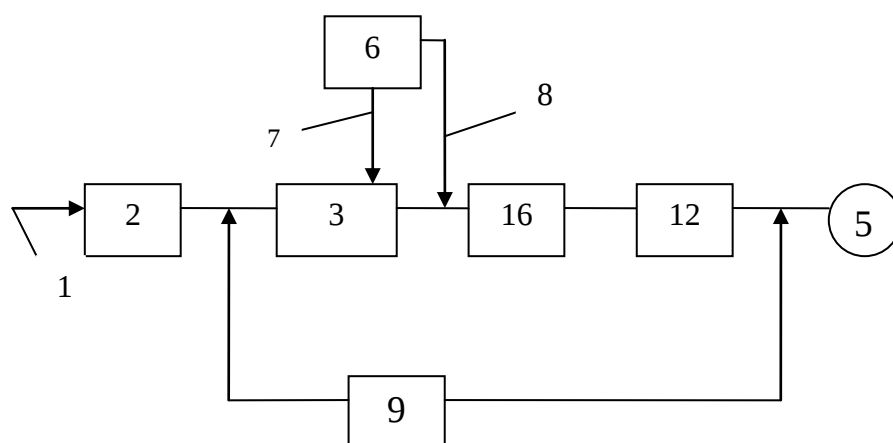


Схема 8

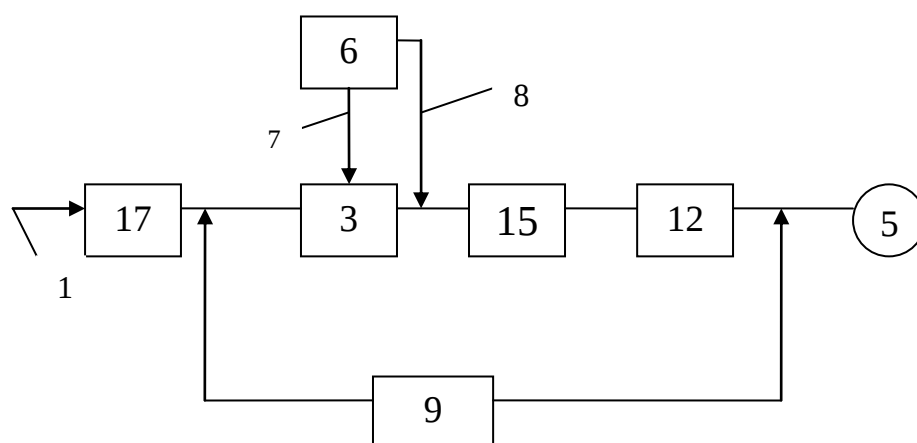


Схема 9

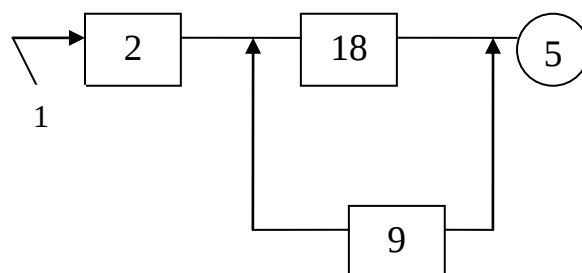


Схема 10

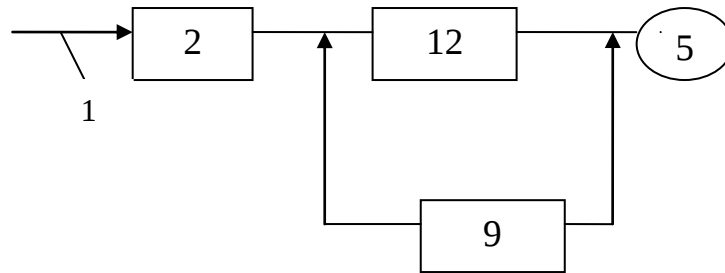


Схема 11

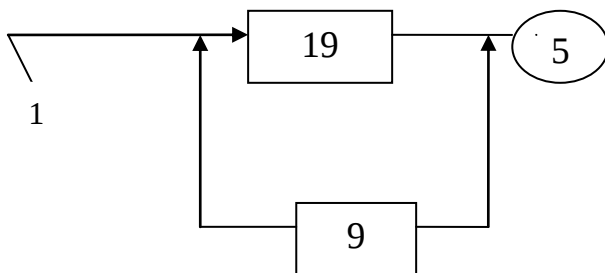


Рис. 4.1. Технологические схемы для подготовки питьевой воды:

1 – подача исходной воды; 2 – барабанные сетки или микрофильтры; 3 – смесители;  
 4 – контактные осветлители; 5 – резервуары чистой воды; 6 – реагентное хозяйство;  
 7 – подача коагулянта; 8 – подача вспомогательных реагентов; 9 – хлораторная;  
 10 – камера флотации; 11 – контактные префильтры; 12 – скорые открытые фильтры;  
 13 – установка «Струя»; 14 – вертикальные отстойники с камерами хлопьеобразования;  
 15 – горизонтальные отстойники с камерами хлопьеобразования; 16 – осветлители  
 со взвешенным осадком; 17 – радиальные отстойники; 18 – скорые напорные фильтры;  
 19 – медленные фильтры (номера схем соответствуют данным таблицы 4.5).

## 5. СООРУЖЕНИЯ РЕАГЕНТНОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ И ОБЕСЦВЕЧИВАНИЯ ВОДЫ

### 5.1. Выбор реагентов, определение их доз

В сооружениях реагентного хозяйства предусматривается приготовление и дозирование всех растворов реагентов, используемых для подготовки воды, кроме обеззараживающих.

#### Коагулянты

Коагулянты, используемые в настоящее время для осветления и обесцвечивания природных вод представляют собой соли слабых оснований многовалентных металлов и сильных кислот. Вид применяемых реагентов для коагуляции принимается на основании результатов технологических испытаний и технико-экономического анализа. При этом следует учитывать требования, предъявляемые к качеству очищенной воды. Чем меньше в коагулянте нерастворимых в воде примесей и чем больше в нем активного вещества, тем эффективней будет протекать процесс коагуляции. Классификация современных коагулянтов приведена на рис.5.1. Сведения о коагулянтах, рекомендуемых для выбора при выполнении курсовых и дипломных проектов, приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

#### Коагулянты, применяемые в водоподготовке

| Наименование                                          | Хим.формула                  | ГОСТ     | Содержание<br>активного<br>вещества, %              | Эквива-<br>лентная<br>масса,<br>мг/мг-экв | Вид<br>поставки      |
|-------------------------------------------------------|------------------------------|----------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|
| Алюминий<br>сернокислый<br>технический<br>(очищенный) | $Al_2(SO_4)_3 \cdot 10 H_2O$ | 12966-85 | высший сорт –<br>16,3<br>1 сорт – 15<br>2 сорт – 14 | 57                                        | навалом              |
| Глинозем<br>сернокислый<br>неочищенный                | $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ |          | сорт А – 9,5<br>сорт Б -9,5                         | 57                                        | навалом              |
| Оксихлорид<br>алюминия                                | $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6 H_2O$  |          | 40-44                                               | 57                                        | 35% рас-<br>твор     |
| Алюминат<br>натрия                                    | $NaAlO_2$                    |          | 55                                                  | 57                                        | мешки<br>40-50 кг    |
| Хлорное<br>железо                                     | $FeCl_3$                     | 11159-76 | 1 сорт -97<br>2 сорт -95                            | 54                                        | стальные<br>барабаны |
| Железный<br>купорос                                   | $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$        | 6881-75  | 1 сорт -53<br>2 сорт – 47                           | 76                                        | мешки                |

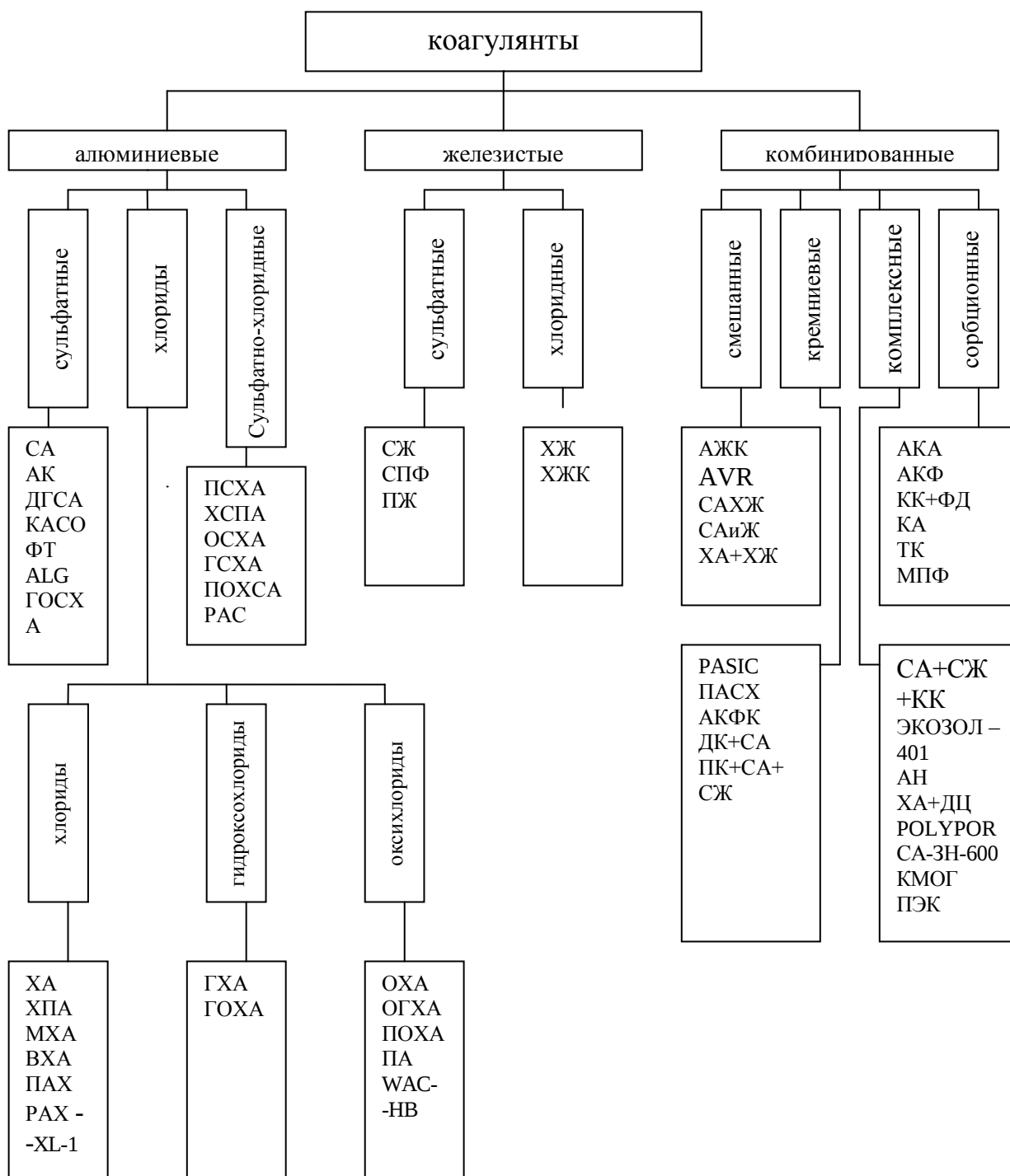


Рис. 5.1. Классификация коагулянтов

СА-сульфат алюминия, АК- алюминиевые квасцы, ДГСА – дигидросульфат алюминия, КАСОФТ- очищенный СА (сухой), ALG - коагулянт на основе СА, ГОСХА - гидросульфат алюминия, ХА - хлорид алюминия, ХПА – хлорид полиалюминия, НХА - низкоосновной хлорид алюминия, ВХА - высокоосновной хлорид алюминия, ПАХ - полиалюминий-хлорид, РАХ- - полиалюминий-хлорид, ГХА - гидроксохлорид алюминия, ГОХА - гидрооксихлорид алюминия, ОХА - оксихлорид алюминия, ОГХА - оксигидратхлорид алюминия, ПОХА - полиоксихлорид алюминия, ПА - полиоксид алюминия, ПХСА – полихлорсульфат, ХСПА - хлорсульфат полиалюминия, ПОХСА (РАС) - полиоксихлорсульфат алюминия, ОСХА - окси-сульфатхлорид алюминия, ГХСА - гидроксохлорид-сульфат алюминия, СЖ - сульфат железа,

СПФ – сульфат полиферрита, ПЖ - полисульфат железа, ХЖ - хлорид железа, ХЖК - хлорированный железный купорос, АЖК - алюмо-железный коагулянт, AVR - алюмо-железный коагулянт, САХЖ - сульфат алюминия +хлорид железа, САиЖ - сульфат алюминия +сульфат железа, ХА+ХЖ - хлорид алюминия+ +хлорид железа, PASIC - полиалюминий-силикат хлорида, ПАСХ - полиалюминий-силикат хлорида, АКФК - алюмо-кремниевый коагулянт, ДК+ОА - диоксид кремния+ оксид алюминия, ПК+СА+СЖ - полисиликатный смешанный реагент, СА+СЖ+КК - сульфат алюминия и железа+кремнекислота, экозоль - 401 - трехфазный реагент, СА-ЗН-600 - композиционный коагулянт-флокулянт, АН - алюминат натрия, ХА+ДЦ - хлорид алюминия+ +диоксид циркония, POLYPOR - соединения фосфора, КМДГ - композиция молекулярно-диахлорных гидроксидов, пжк - полиэфирные коагулянты, АКА - активированный кальций-алюминий, АКФК - алюмо-кремниевый коагулянт-флокулянт, КК+ФКДА - Композиционный коагулянт с флокулянтом в виде коллоидно-дисперсных алюмосиликатов, ТК - титановый коагулянт, МПФ - мономерно-полимерный флокулянт

Согласно требованиям п.6.16 [11] дозу коагулянта для обесцвечивания воды определяют по формуле:

$$D_k = 4\sqrt{Ц}, \text{ мг/л}, \quad (5.1)$$

где Ц - цветность воды, град. ПКШ.

Для осветления воды дозу коагулянта в зависимости от мутности исходной воды принимают из таблицы 5.2.

Таблица 5.2

**Дозы коагулянта для вод разной мутности**

| Мутность воды, мг/л | Д <sub>к</sub> , мг/л, по безводному веществу | Мутность воды, мг/л | Д <sub>к</sub> , мг/л, по безводному веществу |
|---------------------|-----------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|
| До 100              | 25...35                                       | 600...800           | 50...60                                       |
| 100...200           | 30...40                                       | 800...1000          | 60...70                                       |
| 200...400           | 35...40                                       | 1000...1500         | 70...80                                       |
| 400...600           | 45...50                                       |                     |                                               |

Меньшие значения доз относятся к воде, содержащей грубодисперсные примеси. Если требуется осветление и обесцвечивание воды, для дальнейших расчетов принимается большая из доз коагулянта.

### Флокулянты

Флокулянты (табл. 5.3) используют для повышения эффективности коагуляции воды. Их нужно добавлять в воду через 2-3 минуты после ввода коагулянта.

Для маломутных цветных вод наиболее эффективна активная кремниевая кислота (АК). Дозу АК (по активному веществу) определяют в зависимости от места ввода по таблице 5.4. Для очистки вод большой и средней мутности рекомендуется использовать полиакриламид (ПАА). Его дозу рекомендуется принимать по таблице 5.5.

Таблица 5.3

**Флокулянты, применяемые в водоподготовке**

| Наименование                | Хим.формула           | ГОСТ           | Содержание активного вещества, % | Вид поставки        |
|-----------------------------|-----------------------|----------------|----------------------------------|---------------------|
| Полиакриламид               | Синтетический полимер | ТУ6-01-1049-80 | 7-10                             | мешки, ящики, бочки |
| Активная кремниевая кислота | $H_2SiO_3$            | 13078-81       | 30-40                            | бочки               |

Таблица 5.4

**Дозы активной кремниевой кислоты**

| Схема использования АК                                                                                  | Доза АК по активному веществу $SiO_2$ , мг/л |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| При вводе перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком для воды с температурой $5...7^0C$ | 2...3                                        |
| То же, с температурой менее $5...7^0C$                                                                  | 3...5                                        |
| При вводе перед фильтрами при двухступенчатой очистке                                                   | 0,2...0,5                                    |
| При вводе перед контактными осветлителями или фильтрами при одноступенчатой очистке, перед префильтрами | 1...3                                        |

Таблица 5.5

**Доза полиакриламида при разных схемах использования реагента**

| Схема использования ПАА и свойства исходной воды                                                                 |                | Доза ПАА по безводному (активному) веществу, мг/л |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------|
| При вводе перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком в зависимости от мутности и цветности воды: |                |                                                   |
| Мутность                                                                                                         | Цветность      |                                                   |
| До 10 мг/л                                                                                                       | более 50 град. | 1...1,5                                           |
| 10...100                                                                                                         | 30...100       | 0,3...0,6                                         |
| 100...500                                                                                                        | 20...60        | 0,2...0,5                                         |
| 500...1500                                                                                                       | -              | 0,3...1                                           |
| При вводе перед фильтрами при двухступенчатой очистке                                                            |                | 0,05...0,1                                        |
| При вводе перед контактными осветлителями или фильтрами при одноступенчатой очистке, перед префильтрами          |                | 0,2...0,6                                         |

### Подщелачивающие реагенты

При низкой щелочности природной воды, с целью успешного протекания гидролиза коагулянта, воду подщелачивают различными реагентами (табл. 5.6).

Таблица 5.6

#### Подщелачивающие реагенты, применяемые в водоподготовке

| Наименование          | Хим.формула              | ГОСТ    | Содержание активного вещества, % | Эквивалентная масса, мг/мг-экв | Вид поставки   |
|-----------------------|--------------------------|---------|----------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Гашенная известь      | $\text{Ca(OH)}_2$        | 9179-77 | 1 сорт - 85<br>2 сорт – 70       | 28                             | навалом        |
| Сода кальцинированная | $\text{Na}_2\text{CO}_3$ | 5100-85 | 91-93                            | 53                             | мешки, навалом |
| Каустическая сода     | $\text{NaOH}$            | 2263-79 | 96                               | 40                             | мешки, навалом |

Необходимая доза подщелачивающего реагента определяется по формуле:

$$D_{щ} = \frac{100 \mathcal{E}_1 \left( \frac{D_k}{\mathcal{E}_2} - Щ + 1 \right)}{C}, \text{ мг/л}, \quad (5.2)$$

где  $\mathcal{E}_1$  – эквивалентная масса активной части подщелачивающего реагента (табл. 5.6);

$D_k$  – доза коагулянта, мг/л;

$\mathcal{E}_2$  – эквивалентная масса активной части коагулянта (табл. 5.1);

$C$  – содержание активного вещества, %, (табл. 5.6).;

Щ – щелочность исходной воды, мг-экв/л.

## 5.2. Устройства для приготовления реагентов

### Раствор коагулянта

Общая схема сооружений для приготовления раствора коагулянта приведена на рис. 5.2. Растворные и расходные баки выполняются одинаковой конструкции. Расчетная схема растворного бака приведена на рис. 5.3.

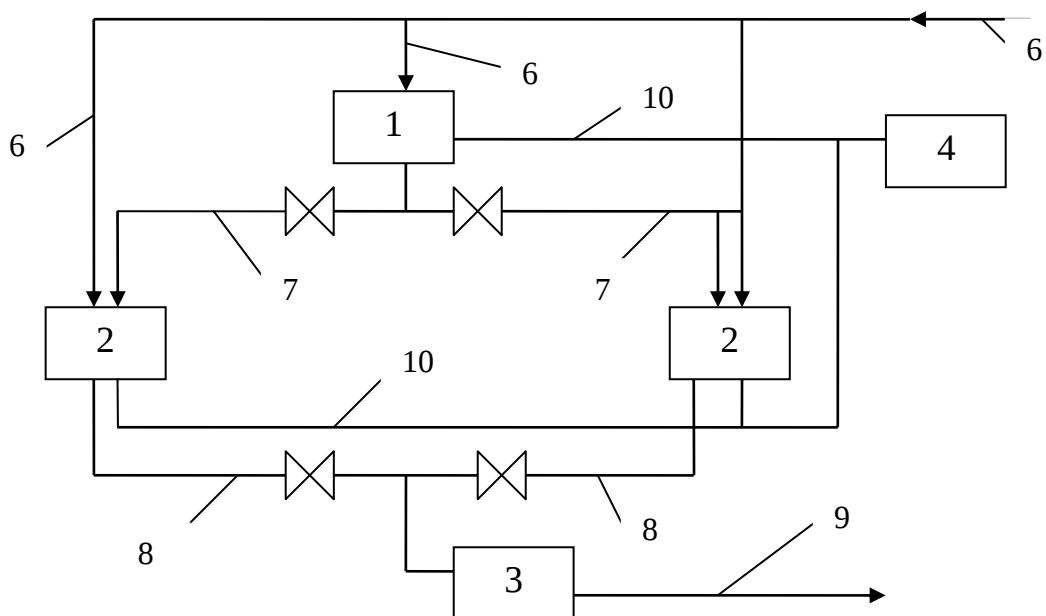


Рис. 5.2. Общая схема сооружений для приготовления раствора коагулянта:  
 1 – растворный бак; 2 – расходные баки; 3 – дозатор; 4 – воздуходувка;  
 5 – ввод сухого коагулянта; 6 – подача воды для растворения;  
 7 – подача раствора в растворные баки; 8 – подача раствора в дозатор;  
 9 – подача раствора в смеситель; 10 – подача воздуха для перемешивания раствора

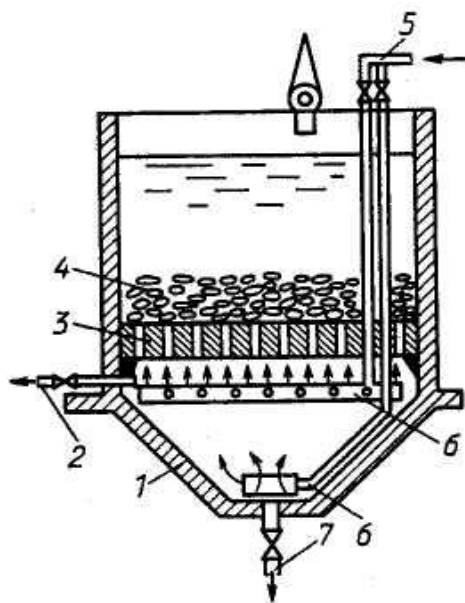


Рис. 5.3. Схема растворного бака:  
 1 – железобетонный резервуар; 2 – отвод раствора коагулянта;  
 3 – колосниковая решетка; 4 – коагулянт; 5 – подача воздуха;  
 6 – воздухораспределительная система; 7 – сброс нерастворимых примесей

Общий объем растворных баков определяется по формуле:

$$W_1 = \frac{Q \times t \times D_{\kappa}}{C_1 \times \gamma \times 10000}, \text{ м}^3, \quad (5.3)$$

где  $Q$  – полная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$t$  – число часов, необходимое для приготовления раствора коагулянта, час, принимается 10-12 час;

$D_k$  – доза коагулянта,  $\text{мг/л}$ ;

$C_1$  – концентрация раствора коагулянта в растворном баке. Принимается, считая по чистому безводному продукту: для неочищенного коагулянта – до 17%; для очищенного кускового – до 20%; для очищенного гранулированного – 24%;

$\gamma$  – плотность раствора коагулянта. Рекомендуется принять  $1 \text{ т/м}^3$ .

Если объем растворного бака менее  $6 \text{ м}^3$ , рекомендуется принять 1 бак. При большем объеме количество баков  $n_1$  должно быть таким, чтобы объем каждого бака не превышал  $6 \text{ м}^3$ .

Таким образом, объем одного растворного бака равен:

$$W_{1.1} = \frac{W_1}{n_1}, \text{ м}^3. \quad (5.4)$$

Рекомендуется принять квадратный в плане бак. Высота рабочей (вертикальной) части бака ( $h_2$ ) принимается в пределах  $0,6 \dots 2,5 \text{ м}$ . Тогда площадь сечения бака:

$$F_1 = \frac{W_{1.1}}{n_1}, \text{ м}^2. \quad (5.5)$$

Длина стороны бака:

$$e_1 = \sqrt{F_1}, \text{ м}. \quad (5.6)$$

Тогда высота нижней части растворного бака:

$$h_2 = 0.5e_1 \cdot \text{tg} \alpha, \text{ м}, \quad (5.7)$$

где  $\alpha$  – угол наклона стенок нижней части бака к горизонтали, принимается равным  $45^\circ$ .

Полная высота бака:

$$H = h_1 + h_2, \text{ м}. \quad (5.8)$$

Расходные баки конструктивно имеют такую же форму, как и растворные (см.рис. 5.3). В них не устраивается колосниковая решетка и ввод сухого коагулянта.

Общий объем расходных баков определяется по формуле:

$$W_2 = \frac{W_1 \times C_1}{C_2}, \text{ м}^3, \quad (5.9)$$

где  $C_2$  – концентрация раствора коагулянта в расходном баке, принимается 15%.

Количество расходных баков  $n_2$  должно быть больше количества растворных баков не менее, чем на 1 бак.

Объем одного расходного бака:

$$W_{21} = \frac{W_2}{n_2}, \text{ м}^3. \quad (5.10)$$

Размеры расходного бака определяются так же, как и растворного бака.

Количество сжатого воздуха, подаваемого в растворные баки, определяется по формуле:

$$Q_{e1} = \omega_1 \times F_1 \times n_1, \text{ л/с}, \quad (5.11)$$

а в расходные баки:

$$Q_{e2} = \omega_2 \times F_2 \times n_2, \text{ л/с}, \quad (5.12)$$

где  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – интенсивность подачи воздуха в растворные и расходные баки, л/с, принимается:  $\omega_1 = 8 - 10$  л/с на  $1 \text{ м}^3$ ,  $\omega_2 = 3 - 5$  л/с на  $1 \text{ м}^3$ ;

$F_1$  и  $F_2$  – площади поперечного сечения соответственно одного растворного и одного расходного баков,  $\text{м}^2$ ;

$n_1$  и  $n_2$  – количество соответственно растворных и расходных баков, штук.

Общий расход сжатого воздуха, требуемый для обеспечения работы растворных и расходных баков:

$$Q_e = Q_{e1} + Q_{e2}, \text{ л/с}. \quad (5.13)$$

По найденному расходу воздуха и данным табл. 5.7 определяют марку воздуходувки. Их количество должно быть не менее двух.

Таблица 5.7

**Марки воздуходувок**

| Подача, $\text{м}^3/\text{час}$ | Марка         | Подача, $\text{м}^3/\text{час}$ | Марка          |
|---------------------------------|---------------|---------------------------------|----------------|
| 7,8...94,8                      | ВК – 1,5      | до 3600                         | ТВ – 50 – 1,9  |
| 13,2...208,8                    | ВК – 3        | до 6000                         | ТВ – 80 – 1,4  |
| 114...378                       | ВК – 6        | до 10000                        | ТВ – 175 – 1,6 |
| 468...630                       | ВК – 12       | до 12000                        | ТВ – 200 – 1,4 |
| до 2500                         | ТВ – 42 – 1,4 | до 18000                        | ТВ – 300 – 1,6 |
| до 3000                         | ТВ – 50 – 1,6 |                                 |                |

Требуемая производительность насоса-дозатора коагулянта определяется по формуле:

$$q_k = \frac{Q \times D_k}{10 \times C_2 \times \gamma}, \text{ л/ч}, \quad (5.14)$$

где  $Q$  – полная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$D_k$  – доза коагулянта, мг/л;

$C_2$  – концентрация раствора коагулянта в расходном баке;

$\gamma$  – плотность раствора коагулянта. Рекомендуется принять  $1 \text{ т/м}^3$ .

Основные характеристики современных насосов - дозаторов приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8

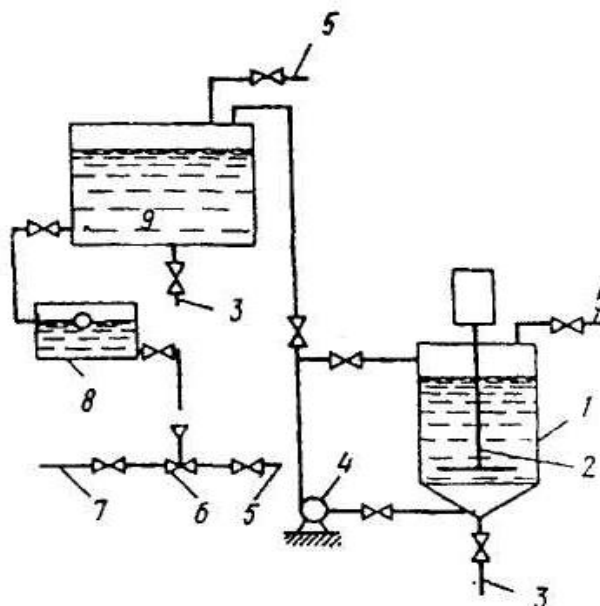
### Характеристики насосов – дозаторов

| Подача, л/час | Напор, м | Марка насоса | Марка электродвигателя | Диаметр выходного патрубка, мм |
|---------------|----------|--------------|------------------------|--------------------------------|
| 16            | 63       | НД 16/63     | АОЛ – 21 - 4           | 10                             |
| 25            | 250      | НД 25/250    | АО 2 – 21 - 4          | 10                             |
| 26            | 40       | НД 26/40     | АОЛ – 21 - 24          | 10                             |
| 40            | 25       | НД 40/25     | АОЛ – 21 - 24          | 10                             |
| 40            | 100      | НД 40/100    | АО 2 – 21 - 4          | 10                             |
| 63            | 16       | НД 63/16     | АОЛ – 21 - 4           | 10                             |
| 63            | 100      | НД 63/100    | АО 2 – 21 - 4          | 10                             |
| 100           | 10       | НД 100/10    | АОЛ – 21 - 4           | 10                             |
| 100           | 25       | НД 100/25    | АО 2 – 11 - 4          | 15                             |
| 100           | 250      | НД 100/250   | АО 2 – 21 - 4          | 10                             |
| 160           | 400      | НД 160/400   | АО 2 – 21 - 4          | 10                             |
| 400           | 16       | НД 400/16    | АО 2 – 21 - 4          | 25                             |
| 630           | 10       | НД 630/10    | АО 2 – 21 - 4          | 25                             |
| 1000          | 10       | НД 1000/10   | АО 2 – 31 - 4          | 32                             |
| 1600          | 10       | НД 1600/10   | АО 2 – 32 - 54         | 32                             |
| 2500          | 10       | НД 2500/10   | АО 2 – 32 - 54         | 40                             |

### Раствор флокулянта

Для приготовления раствора ПАА разработана стандартная установка УРП-2М со следующими характеристиками: производительность – до 0,6 м<sup>3</sup>/час; объем растворного бака – 2 м<sup>3</sup>; циркуляционный насос 2К-20/30а; продолжительность растворения – 25-40 мин. Схема установки для приготовления раствора полиакриламида приведена на рис. 5.4.

Рис. 5.4. Схема установки для приготовления раствора полиакриламида:  
 1- растворный бак с загруженным товарным продуктом ПАА, 2 – мешалка с гидроприводом, 3- опорожнение,  
 4 – циркуляционный насос, 5 – подача воды, 6 – эжектор, 7 – раствор ПАА в обрабатываемую воду, 8 – дозировочный бак, 9 – расходный бак



Расход раствора полиакриламида, эжектируемого в трубопровод, транспортирующий воду из смесителя, определяется по формуле:

$$q_{пл} = \frac{Q \times D_{пл}}{10000 \times C_{пл} \times \gamma}, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (5.15)$$

где  $Q$  - полная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$D_{пл}$  - доза флокулянта,  $\text{мг/л}$ ;

$C_{пл}$  - концентрация раствора полиакриламида, %. Принимается не более 1%;

$\gamma$  - плотность раствора,  $\text{т/м}^3$ . Принимается 1,1  $\text{т/м}^3$ .

Определяется требуемое количество установок УРП-2м:

$$n = \frac{q_{фл}}{0,6}, \text{ шт.} \quad (5.16)$$

Схема установки для приготовления активной кремниевой кислоты приведена на рис. 5.5.

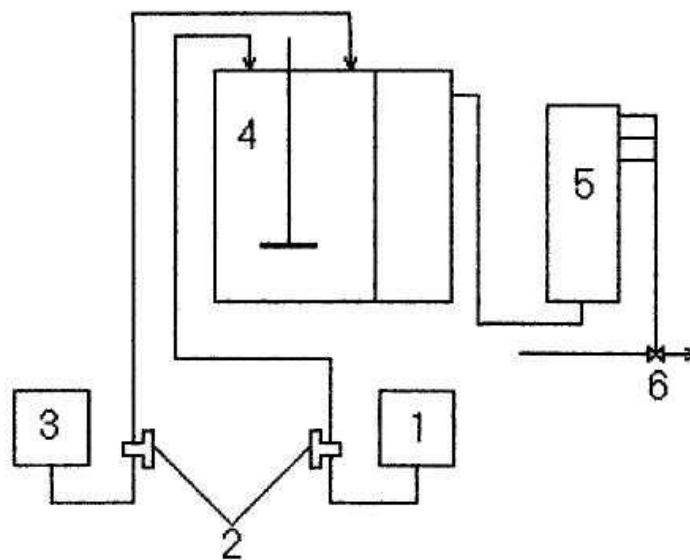


Рис. 5.5. Схема установки для приготовления раствора активной кремниевой кислоты: 1 – бак раствора сульфата алюминия; 2 – насос – дозатор; 3 – бак раствора жидкого стекла; 4 – активатор; 5 – полимеризатор; 6 – эжектор.

Расход активной кремниевой кислоты, эжектируемой в транспортирующий трубопровод, определяется по формуле:

$$q_{а.к} = \frac{Q \cdot D_{ак}}{C_{жс} \cdot 10}, \text{ кг/ч}, \quad (5.17)$$

где  $Q$  - полная производительность водоочистной станции  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$D_{ак}$  – доза активной кремниевой кислоты,  $\text{мг/л}$ ;

$C_{\text{жс}}$  - содержание жидкого стекла ( $\text{SiO}_2$ ) в рабочем растворе, %. Рекомендуется принимать 1,5-2,5%.

По величине  $q_{\text{ак}}$  подбирается марка серийной установки для приготовления активной кремниевой кислоты по табл. 5.9 и определяется требуемое количество установок (должно быть не менее 2).

Таблица 5.9

**Характеристики серийных установок непрерывного изготовления активной кремниевой кислоты**

| Параметры установок                                         | Производительность установок, кг/ч, по $\text{SiO}_2$ |             |             |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                                                             | 3                                                     | 7,5         | 12          |
| Марка насоса - дозатора                                     | НД 160/25                                             | НД 400/16   | НД 630/10   |
| Объем активатора, л                                         | 10                                                    |             |             |
| Размеры активатора, мм                                      | 590×220×440                                           | 670×290×565 | 740×330×680 |
| Электропривод                                               | АОЛ 2 – 11 - 4                                        |             |             |
|                                                             | $N = 0,6 \text{ к Вт, } n = 1500 \text{ мин}^{-1}$    |             |             |
| Объем полимеризатора, л                                     | 300                                                   | 750         | 1200        |
| Размеры полимеризатора, мм                                  | 500×500×1000                                          | d = 945     | d = 1300    |
|                                                             |                                                       | H = 1100    | H = 1200    |
| Объем бака раствора жидкого стекла (2 шт.), $\text{м}^3$    | 5                                                     | 12          | 20          |
| Объем бака раствора сульфата алюминия (2 шт.), $\text{м}^3$ | 5                                                     | 12          | 20          |

**Раствор подщелачивающего реагента**

Приготовление растворов подщелачивающих реагентов на водоочистных станциях большой и средней производительности (более 5000  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ) производится в растворных и расходных баках с перемешиванием воздухом, аналогично приготовлению растворов коагулянтов (см. п. 5.2 рис. 5.2, 5.3). Известь необходимо направлять в растворные баки в виде известкового молока (концентрация до 17%). Расход подщелачивающего реагента определяется по формуле:

$$q_{\text{щ}} = \frac{Q \times D_{\text{щ}}}{10000 \times v_{\text{щ}} \times \gamma_{\text{щ}}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.18)$$

где  $Q$  - полная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$D_{\text{щ}}$  - доза щелочи, мг/л;

$v_{\text{щ}}$  - концентрация реагента в расходном баке, % (не более 5% для извести и 8% для соды);

$\gamma_{\text{щ}}$  - объемная масса подщелачивающего реагента,  $\text{т}/\text{м}^3$  ( $\gamma_{\text{щ}} = 1 \text{ т}/\text{м}^3$ ).

Для дозирования подщелачивающего реагента рекомендуется использовать дозаторы марки ДИМБА (см. табл. 5.10).

Таблица 5.10

**Техническая характеристика дозаторов марки ДИМБА**

| Тип дозатора | Полезная производительность, м <sup>3</sup> /час | Расход суспензии, подаваемой к дозатору | Мощность электродвигателя исполнительного механизма, Вт |
|--------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| ДИМБА – 1    | 1                                                | 2                                       | 60                                                      |
| ДИМБА – 3    | 3                                                | 6                                       | 60                                                      |
| ДИМБА – 10   | 10                                               | 15                                      | 180                                                     |
| ДИМБА – 20   | 20                                               | 30                                      | 180                                                     |
| ДИМБА – 40   | 40                                               | 60                                      | 180                                                     |

Для водоочистных станций, имеющих производительность не более 5000 м<sup>3</sup>/сут для приготовления подщелачивающих реагентов применяют сатураторы двойного насыщения (рис. 5.6).

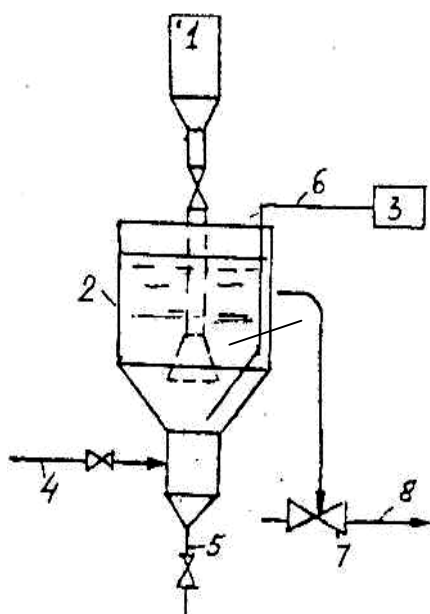


Рис. 5.6. Схема устройства для приготовления подщелачивающего реагента:

- 1 – вакуум-бункер для реагента;  
 2 – сатуратор; 3 – воздуходувка;  
 4 – подача воды для растворения реагента;  
 5 – отвод осадка в сток; 6 – воздуховод;  
 7 – эжектор; 8 – трубопровод основного потока воды

Общий объем сатураторов, необходимый для получения требуемого количества подщелачивающего раствора, определяется по формуле:

$$W_c = Q \times K_1 \times K_2, \text{ м}^3, \quad (5.19)$$

где  $Q$  - полная производительность водоочистной станции, м<sup>3</sup>/час;

$K_1$  - коэффициент, зависящий от температуры воды (см. табл.5.11.);

$K_2$  - коэффициент, зависящий от отношения кальциевой ( $J_{Ca}$ ) и общей ( $J_{общ.}$ ) жесткости воды при  $J_{Ca}/J_{общ} \leq 0,7$   $K_2=1$ ; при  $J_{Ca}/J_{общ} > 0,7$   $K_2=1,3$ .

Таблица 5.11

**Данные для проектирования сатураторов**

| Температура воды, °С | 0 | 10 | 20 | 30 |
|----------------------|---|----|----|----|
| $K_1$                | 7 | 6  | 5  | 4  |

В таблице 5.12 приведены технические характеристики стандартных сатураторов.

Таблица 5.12

**Технические характеристики стандартных сатураторов**

| Объем, м <sup>3</sup> | Габаритные размеры |            | Масса, т.  |          |
|-----------------------|--------------------|------------|------------|----------|
|                       | диаметр, мм        | высота, мм | сатуратора | загрузки |
| 3,4                   | 1010               | 5200       | 0,9        | 5        |
| 7,3                   | 1338               | 6480       | 1,6        | 10       |
| 11,7                  | 1678               | 6785       | 2,1        | 15       |
| 17,0                  | 2008               | 7085       | 2,6        | 21       |
| 26,5                  | 2350               | 8110       | 3,7        | 33       |
| 35,0                  | 2678               | 8394       | 4,8        | 48       |
| 50,7                  | 3010               | 9340       | 5,9        | 62       |
| 61,0                  | 3310               | 9992       | 6,2        | 73       |
| 102                   | 4022               | 10885      | 9,3        | 122      |
| 138                   | 4604               | 11350      | 12,3       | 160      |
| 310                   | 6690               | 13200      | 22,1       | 360      |

### 5.3. Склады реагентов

Склады реагентов проектируют на хранение 30-суточных запасов из расчета на максимальный суточный расход. При обосновании допускается объём складов принимать на другой срок хранения, но не менее 15 суток. При наличии базисных складов объём склада на водоочистной станции рассчитывают на срок хранения не менее 7 суток. При этом объём склада должен быть кратным максимальной разовой поставке. Например, коагулянт поставляют в железнодорожных вагонах массой 60 тонн. Данные по хранению отдельных реагентов приведены в таблице 5.13. Склады должны устраиваться на первом этаже водоочистной станции в закрытых помещениях

Таблица 5.13

**Данные по хранению реагентов**

| Реагент               | Способ хранения                                   | Высота слоя реагента, м. |
|-----------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|
| Сернокислый алюминий  | Навалом                                           | 2 - 3,5                  |
| Железный купорос      | В бумажных мешках весом 50 кг                     | 2 - 3,5                  |
| Хлорное железо        | В металлических барабанах                         | до 2,5                   |
| Известь гашеная       | Навалом                                           | 1,5 - 2,5                |
| Полиакриламид         | В полиэтиленовых мешках, уложенных в тарные ящики | до 2,5                   |
| Жидкое стекло         | В железных бочках объём 250 л                     | до 2,5                   |
| Кальцинированная сода | В бумажных мешках                                 | 2 - 3,5                  |

Примечание: Высота укладки более 2,0 м допускается при наличии механизации погрузочно-разгрузочных работ.

Площадь склада определяется для каждого реагента по формуле:

$$F_{ск} = \frac{Q_{сут.} \times D \times T \times \alpha}{10000 P_c \times G \times h_k}, \text{ м}^2, \quad (5.20)$$

где  $Q_{сут.}$  – полная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ;

$D$  - доза реагента,  $\text{мг/л}$ ;

$T$  - период хранения реагента,  $\text{сут.}$ ;

$\alpha = 1,15$  – коэффициент, учитывающий дополнительную площадь на проходы;

$P_c$  - содержание активного вещества в реагенте, %;

$G$  - объемная масса реагента,  $\text{т/м}^3$ ;

$h_k$  - высота слоя реагента,  $\text{м}$ .

## **6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ**

### **6.1. Расчет барабанных сеток и микрофильтров**

Барабанные сетки представляют собой механизмы с вращающимися барабанами, которые покрыты сетками с размерами отверстий от 0,3 до 0,5 мм. Эти устройства предназначены для удаления из воды водорослей, мусора, растительных и древесных остатков, травы. Чаще всего используют сетки из нержавеющей стали или капрона. Их устанавливают в рамы между двумя поддерживающими сетками с большим размером отверстий. Для задержания планктона используют микросетки с размерами отверстий от 20 до 60 мк. (микрофильтры). Барабаны с сетками или микрофильтрами располагают во входных камерах. Схема микрофильтра приведена рис. 6.1.

Марки микрофильтров (барабанных сеток) принимаются из рекомендаций, приведенных в таблице 6.1.

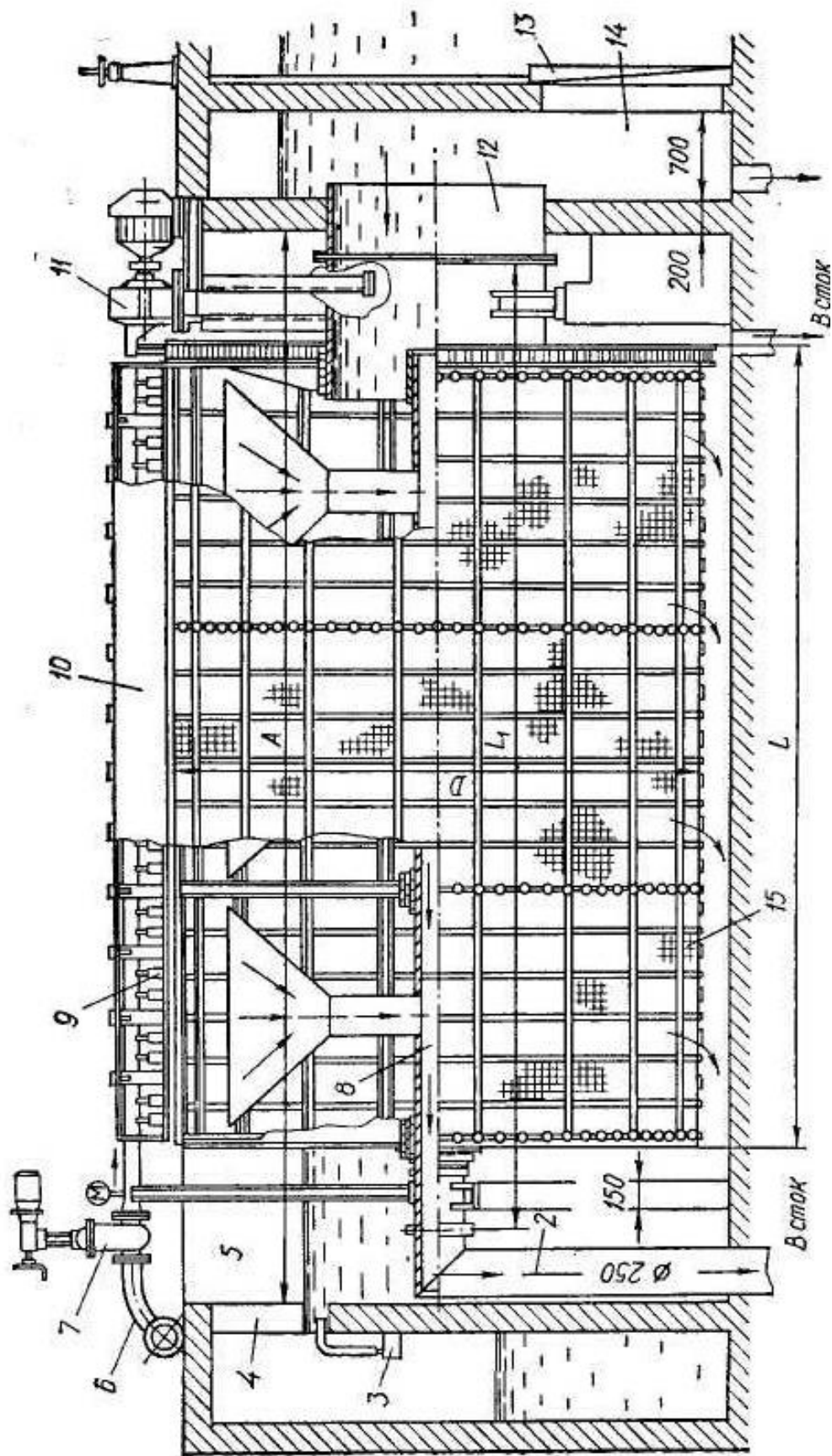


Рис. 6.1. Схема микрофильтра (барабанной сетки) с контактной камерой: 1 – сборный канал; 2 – трубный канал; 3 – датчик для подачи сигнала на открытие задвижки промывного трубопровода; 4 – водостивные окна; 5 – камеры; 6 – труба с воронками для промывной воды; 7 – задвижка с электроприводом на трубопроводе промывной воды; 8 – ось барабана с воронками для сбора промывной воды; 9 – промывное устройство; 10 – ограждение; 11 – электропривод; 12 – подводящая труба; 13 – шиббер; 14 – канал исходной воды; 15 – барабан с фильтрующими элементами.

Таблица 6.1

**Характеристики микрофильтров и барабанных сеток**

| Марка    | Пропускная способность, тыс. м <sup>3</sup> /сут | Размер барабана, м |       | Мощность электродвигателя, кВт | Масса, кг |
|----------|--------------------------------------------------|--------------------|-------|--------------------------------|-----------|
|          |                                                  | диаметр            | длина |                                |           |
| МФ 1,5×1 | 4                                                | 1,55               | 1,23  | 2,5                            | 1240      |
| МФ 1,5×2 | 8                                                | 1,55               | 2,31  | 2,5                            | 1700      |
| МФ 1,5×3 | 12                                               | 1,55               | 3,37  | 2,5                            | 2050      |
| МФ 3×1,5 | 15                                               | 3,05               | 1,71  | 4                              | 2160      |
| МФ 3×3   | 30                                               | 3,05               | 3,37  | 4                              | 2570      |
| МФ 3×4,5 | 45                                               | 3,05               | 5,64  | 4                              | 3937      |
| БС 1,5×1 | 10                                               | 1,55               | 1,23  | 1,7                            | 1240      |
| БС 1,5×2 | 20                                               | 1,55               | 2,3   | 1,7                            | 1700      |
| БС 1,5×3 | 30                                               | 1,55               | 3,37  | 1,7                            | 2050      |
| БС 3×1,5 | 35                                               | 3,05               | 1,72  | 2,8                            | 2160      |
| БС 3×3   | 70                                               | 3,05               | 3,37  | 2,8                            | 2570      |
| БС 3×4,5 | 105                                              | 3,05               | 4,74  | 2,8                            | 3970      |

Количество рабочих микрофильтров определяется в зависимости от полной производительности водоочистной станции и производительности выбранного микрофильтра. Количество резервных микрофильтров (барабанных сеток) следует принимать: 1 - при количестве рабочих агрегатов от 1 до 5; 2 - при количестве рабочих агрегатов от 6 до 10; 3 - при количестве рабочих агрегатов более 10.

Объем и размеры входной камеры, где располагаются микрофильтры, подбирается из условия расположения в ней одного или двух агрегатов с учетом их габаритных размеров. При этом следует учитывать, что вода во входной камере должна находиться не менее 3 минут. Количество секций входной камеры определяется в соответствии с общим количеством рабочих и резервных агрегатов.

Промывка барабанных сеток и микрофильтров должна осуществляться водой, прошедшей через них. Промывной расход воды необходимо принимать: для барабанных сеток - 0,5%, для микрофильтров – 1,5% от полного расхода воды, поступающей на водоочистную станцию.

## **6.2. Расчет смесительных устройств**

### **Выбор конструкции смесителя**

Смесители предназначены для быстрого и равномерного перемешивания реагента с водой. Время пребывания воды в смесителе не должно превышать 2 минуты.

Рекомендации для выбора конструкции смесителя приведены в таблице 6.2. Выбор производится с учетом полной производительности водоочистной станции, наличия условий для движения воды самотеком с необходимой

скоростью, количества подводящих напорных трубопроводов и других. Количество смесителей принимается не менее двух. Резервные смесители не предусматриваются.

Таблица 6.2

### Основные характеристики смесителей

| Конструкция    | Производительность водоочистной станции, тыс.м <sup>3</sup> /сут | Максимальная нагрузка на один смеситель, тыс. м <sup>3</sup> /сут | Условия применения                                    |
|----------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Перегородчатый | до 14                                                            | до 14                                                             | Движение воды самотеком                               |
|                | более 300                                                        | любой                                                             |                                                       |
| Дырчатый       | до 24                                                            | до 24                                                             |                                                       |
| Вихревой       | до 100                                                           | до 36                                                             |                                                       |
| Шайбовый       | любая                                                            | любая                                                             | Длина трубопровода после смесителя не менее 50 метров |
| Механический   | от 14 до 28                                                      | до 28                                                             | Отсутствие условий для движения воды самотеком        |

### Расчет перегородчатого смесителя

Смеситель состоит из железобетонного лотка с тремя поперечными вертикальными перегородками, имеющими отверстия для прохода воды. В первой и третьей перегородках проходы располагаются в центре, в средней – два боковых прохода у стенок лотка (рис. 6.2).

Площадь сечения лотка определяется по формуле:

$$f_{\text{л}} = \frac{Q}{V_{\text{л}}}, \text{ м}^2, \quad (6.1)$$

где  $Q$  - полная производительность водоочистной станции, м<sup>3</sup>/сек;

$V_{\text{л}}$  - скорость движения воды в лотке принимается 0,6 м/с.

Высота слоя воды ( $H$ ) в конце смесителя (после 3-й перегородки) должна быть не менее 0,5 м. Тогда ширина лотка определяется по формуле:

$$B = f_{\text{л}} / H, \text{ м}. \quad (6.2)$$

Потери напора в каждом сужении смесителя при скорости движения воды  $V_{\text{с}} = 1 \text{ м/с}$  определяются по формуле:

$$\Delta h = \frac{V_{\text{с}}^2}{\mu \times 2q}, \text{ м}, \quad (6.3)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода. Он зависит от отношения ширины прохода к толщине перегородки; принимается в пределах 0,65 – 0,75;

$q$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

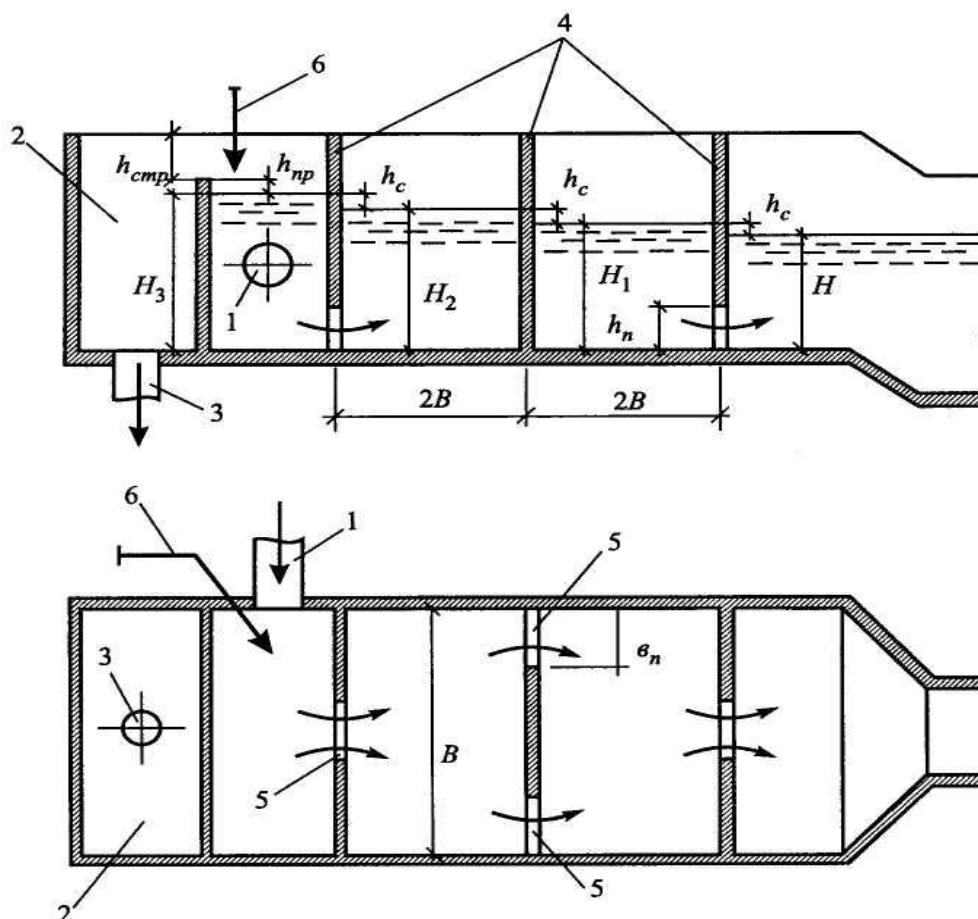


Рис. 6.2. Перегородчатый смеситель:

1 – трубопровод подачи воды на смеситель; 2 – переливная камера;  
3 – переливной трубопровод; 4 – перегородки; 5 – проходы для воды в перегородках;  
6 – трубопровод ввода реагента

Площадь каждого из проходов в центральной перегородке определяется по формуле:

$$f_{\text{ц}} = \frac{Q}{2V_c}, \text{ м}^2. \quad (6.4)$$

Высота слоя воды перед каждой перегородкой определяется из выражений:

- перед первой перегородкой (в конце смесителя)  $H = 0,5 \text{ м}$ ;
- перед центральной перегородкой:

$$h_3 = H + \Delta h - 0,1, \text{ м}; \quad (6.5)$$

- перед третьей перегородкой:

$$h_{\text{ц}} = H + 2\Delta h - 0,1, \text{ м}; \quad (6.6)$$

- перед передней стенкой смесителя:

$$h_1 = H + 3\Delta h - 0,1, \text{ м}. \quad (6.7)$$

Ширина прохода в центральной перегородке:

$$B_{\text{ц}} = \frac{f_{\text{ц}}}{h_{\text{ц}}}, \text{ м.} \quad (6.8)$$

Ширина проходов в первой и третьей перегородках равна  $B_{1,3} = 2B_{\text{ц}}$ , м.

Расстояние между перегородками:  $L = 2B$  м.

### Расчет дырчатого смесителя

Смеситель представляет собой лоток с тремя вертикальными перегородками, установленными перпендикулярно движению воды и снабженными отверстиями, которые расположены в несколько рядов (рис. 6.3). Верхний ряд отверстий должен быть затоплен водой на глубину 0,1 - 0,15 м. Скорость движения воды в лотке ( $V_{\text{л}}$ ) принимают равной 0,6 м/с, в отверстиях –  $V_{\text{о}} = 1$  м/с, на выходе из смесителя –  $V_{\text{в}} = 0,4 - 0,5$  м/с.

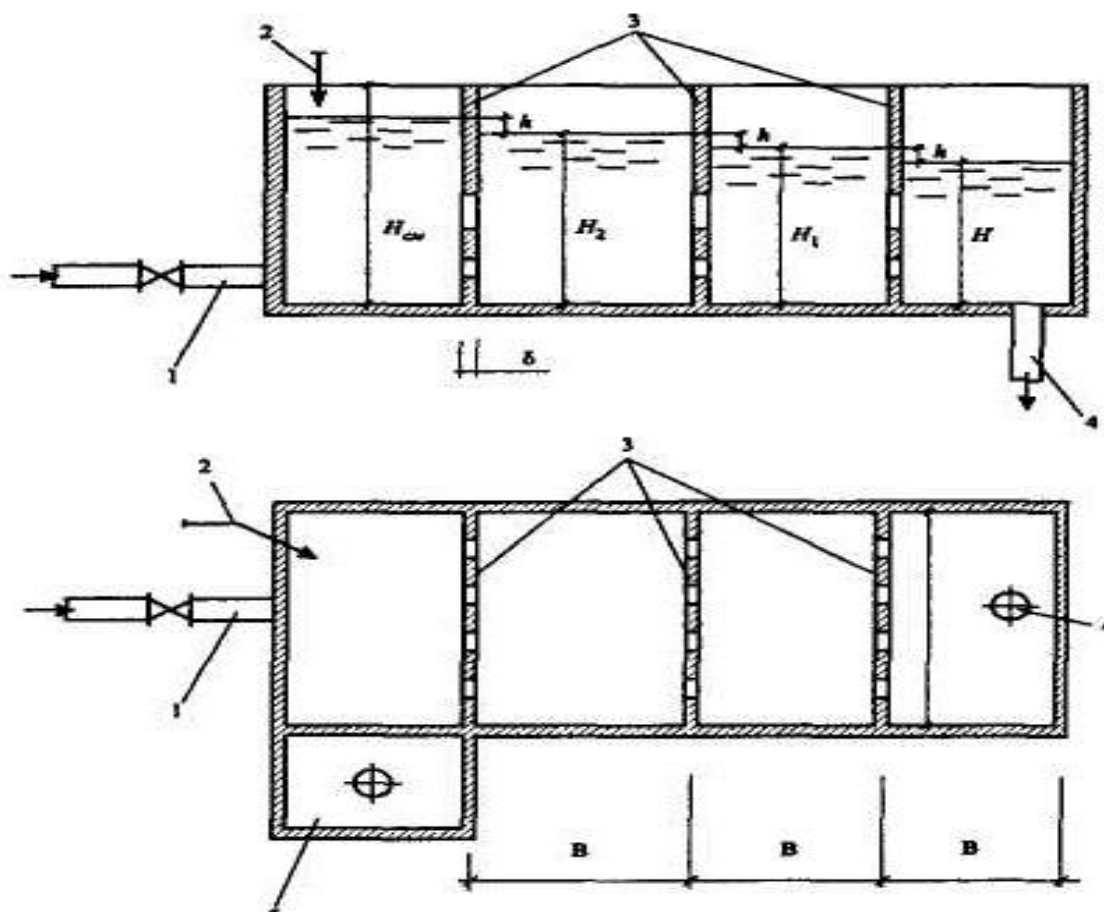


Рис. 6.3. Схема дырчатого смесителя:

1 - трубопровод подачи воды на смеситель; 2 - трубопровод ввода реагентов;  
3 - дырчатые перегородки; 4 - трубопровод отвода воды; 5 - переливной карман

Площадь сечения лотка определяется по формуле 6.1. Ширина лотка определяется по формуле 6.2. Высота слоя воды в конце смесителя ( $H$ ) равна

0,65 м. Диаметры отверстий в перегородках (d) принимаются 0,02 – 0,1 м. Количество отверстий в одной перегородке:

$$n = \frac{4Q}{V_0 \times \pi d^2}, \text{ шт.}, \quad (6.9)$$

где  $Q$  - полная производительность водоочистной станции, м<sup>3</sup>/сек;  
 $V_0$  - скорость движения воды в отверстиях, принимается 1 м/с.

Потери напора в каждой перегородке:

$$\Delta h = \frac{V_0^2}{\mu^2 \times 2q}, \text{ м}, \quad (6.10)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода. Он зависит от отношения ширины прохода к толщине перегородки; принимается в пределах 0,65 – 0,75;

$q$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Расстояние между перегородками принимается равным ширине лотка  $B = L$ .

### Расчет вихревого смесителя

Схема вихревого смесителя представлена на рис. 6.4.

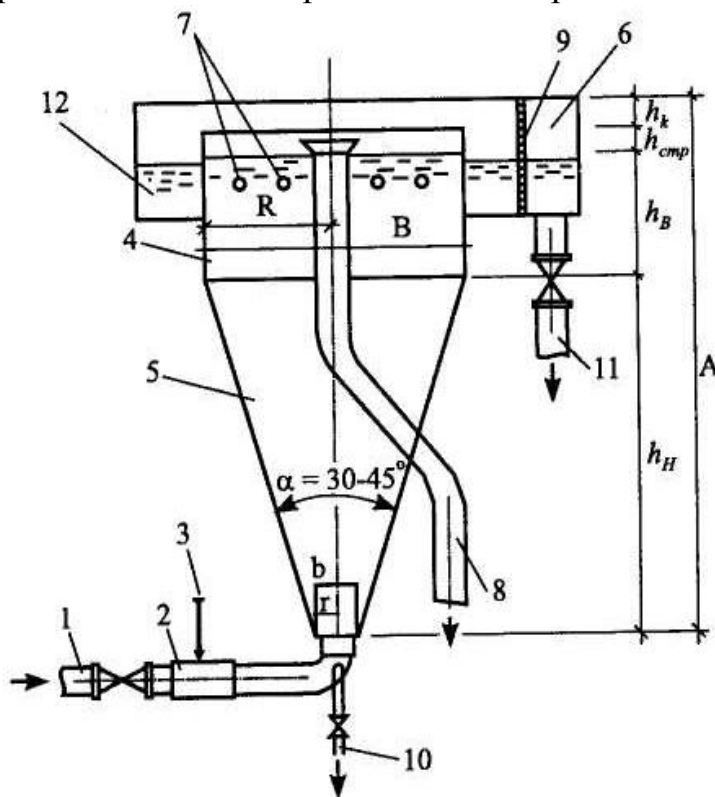


Рис. 6.4. Вертикальный (вихревой) смеситель:

- 1 - трубопровод подачи воды на смеситель; 2 - устройство ввода реагента; 3 - трубопровод ввода реагента; 4 - цилиндрическая или квадратная часть смесителя; 5 - конусная или пирамидальная часть смесителя; 6 - сборный карман; 7 - затопленные отверстия; 8 - переливной трубопровод; 9 - сетка; 10 - трубопровод опорожнения; 11 - трубопровод отвода воды; 12 - сборный лоток

Время пребывания воды в смесителе ( $t$ ) должно быть в пределах 1 – 2 мин. Поэтому полный объем смесителей определяется по формуле:

$$W = \frac{Q \times t}{60}, \text{ м}^3, \quad (6.11)$$

где  $Q$  – полная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{час}$ .

Смеситель может быть квадратного или круглого в плане сечения. Площадь этого сечения в верхней части смесителя определяется по формуле:

$$f = \frac{Q}{V}, \text{ м}^2, \quad (6.12)$$

где  $Q$  – полная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V$  - скорость восходящего потока воды под водосборным устройством равна 0,03–0,04 м/с.

Диаметр верхней (цилиндрической) части смесителя равен:

$$D = \sqrt{\frac{4f}{\pi}}, \text{ м}. \quad (6.13)$$

Скорость входа воды ( $V_{\text{вх}}$ ) в нижнюю (коническую) часть смесителя должна быть в пределах 1,2 – 1,5 м/с. Диаметр трубы, подводящей воду в коническую часть, определяется по формуле 6.14, а затем принимается стандартный:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \times V_{\text{вх}}}}, \text{ м}. \quad (6.14)$$

Высота нижней конической части

$$h_n = \frac{D-d}{2tq \frac{\alpha}{2}}, \text{ м}, \quad (6.15)$$

где  $\alpha$  - угол между наклонными стенками конической части смесителя.

Объем нижней конической части:

$$W_\kappa = \frac{\pi h_1 \left[ \left( \frac{D}{2} \right)^2 + \left( \frac{d}{2} \right)^2 + \frac{D \times d}{4} \right]}{3}, \text{ м}^3. \quad (6.16)$$

Объем верхней (цилиндрической части):

$$W_\epsilon = W - W_\kappa, \text{ м}. \quad (6.17)$$

Высота верхней части:

$$h_\epsilon = \frac{W_\epsilon}{f}, \text{ м}. \quad (6.18)$$

Полная высота смесителя:

$$H = h_n + h_e + h_{стр}, \text{ м}, \quad (6.19)$$

где  $h_{стр}$  - высота строительного борта, принимается равной 0,3-0,5 м.

### Расчет шайбового смесителя

Шайбовый смеситель устанавливается непосредственно на трубопроводе. Он представляет собой сужение в трубопроводе в виде трубы Вентури или шайбы (диафрагмы). В это сужение подается раствор коагулянта. Схема шайбового смесителя приведена на рис. 6.5.

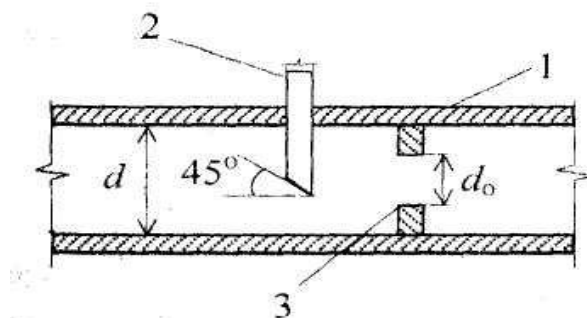


Рис. 6.5. Шайбовый смеситель:

1 – трубопровод; 2 – трубка для ввода реагента; 3 – шайба

При использовании шайбового смесителя необходимо соблюдать следующие условия:

- а) между смесителем и концом трубопровода не должно быть задвижек и другой арматуры;
- б) длина трубопровода после смесителя должна быть не менее 50 диаметров этого трубопровода;
- в) подводящих трубопроводов должно быть не менее двух (на каждом из них устанавливается смеситель).

Потери напора ( $h_{ш}$ ) в шайбовом смесителе должны быть в пределах 0,3 – 0,4 м.

Скорость движения воды в напорном водоводе перед смесителем должна равняться:  $V_1 = 1,0 - 1,5$  м/с.

Скорость движения воды в отверстии шайбы:

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 + 2q \times h_{ш}}, \text{ м/с}. \quad (6.20)$$

Диаметр отверстия в шайбе:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4q_1}{\pi \times V_2}}, \text{ м}. \quad (6.21)$$

где  $q_1$  - расход воды в одном водоводе, м<sup>3</sup>/сут.

## Расчет механического смесителя

Механические смесители применяют в тех случаях, когда по условиям высотного расположения сооружений невозможно обеспечить перепад уровней воды, необходимый для интенсивного смешивания ее с реагентами. Оборудование для таких смесителей размещают в стандартных резервуарах объемом  $20 \text{ м}^3$ . Схема механического смесителя приведена на рис.6.6. Производительность одной стандартной установки конструкции института «Гипроспецнефть» составляет от  $14000 \text{ м}^3/\text{сут}$  до  $28000 \text{ м}^3/\text{сут}$ . При большей производительности принимают 2, 3 и т.д. механических смесителя.

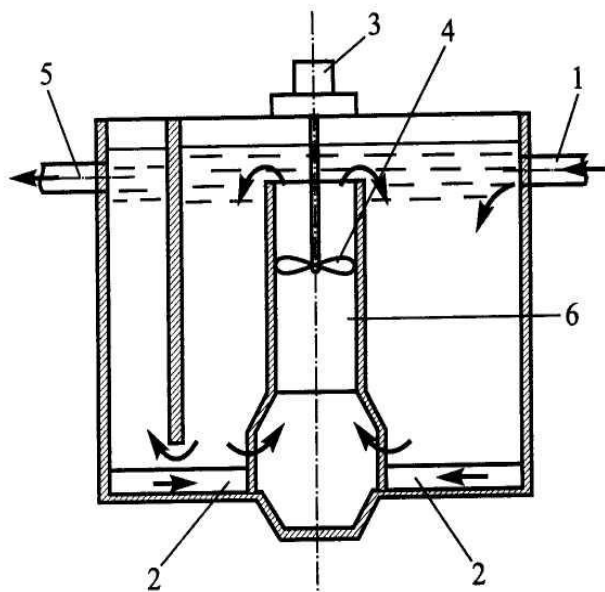


Рис. 6.6. Механический смеситель пропеллерного типа:  
1 - трубопровод подачи воды на смеситель; 2 - трубопровод ввода реагентов;  
3 - электродвигатель; 4 - лопастной винт; 5 - трубопровод отвода воды  
со смесителя; 6 - смесительная камера

### 6.3. Расчет отстойников и камер хлопьеобразования

#### Выбор конструкций отстойников с камерами хлопьеобразования

Конструкции отстойников выбираются в соответствии с выбранной технологической схемой осветления и обесцвечивания воды (табл. 4.5 и рис. 4.1). Конструкции камер хлопьеобразования выбираются в зависимости от конструкции отстойников.

#### Расчет вертикального отстойника с водоворотной камерой хлопьеобразования

Схема вертикального отстойника с встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования приведена на рис. 6.7.

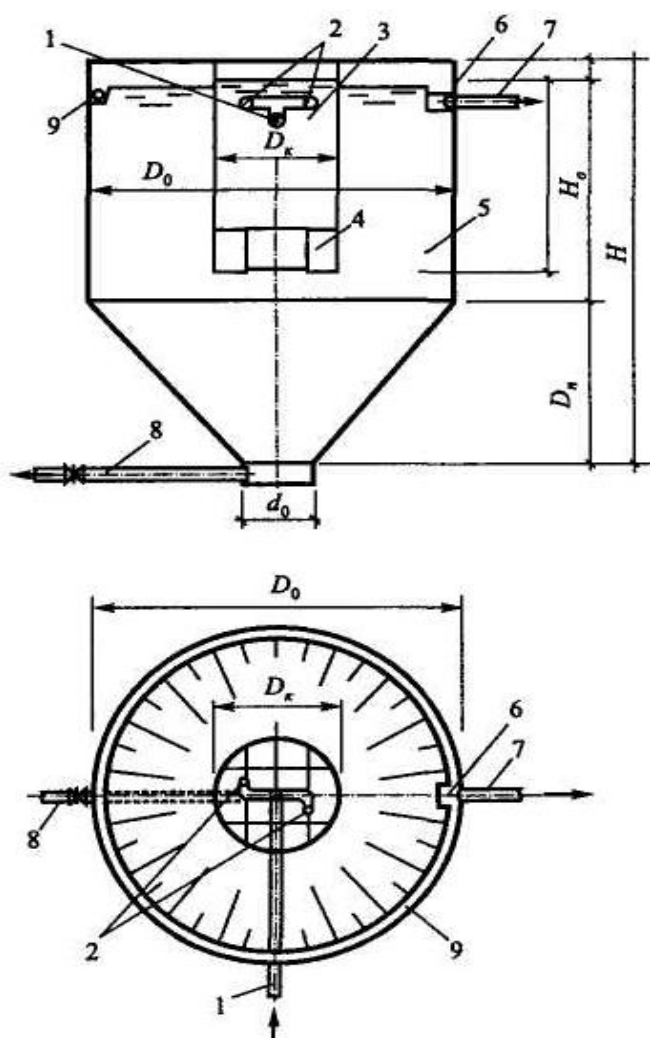


Рис. 6.7. Вертикальный отстойник с водоворотной камерой хлопьеобразования

- 1 - подача воды;
- 2 - распределительные сопла;
- 3 - камера хлопьеобразования;
- 4 - решетка-гаситель;
- 5 - вертикальный отстойник;
- 6 - сборный карман;
- 7 - отвод осветленной воды;
- 8 - удаление осадка; 9 - сборный кольцевой желоб

Сначала определяют размеры и требуемое количество камер хлопьеобразования, а затем по полученным данным выполняют расчет отстойников.

Высота камеры хлопьеобразования ( $h_k$ ) принимается в пределах 3,5- 4 м.

Общая площадь всех камер определяется по формуле:

$$f = \frac{Q \times t_k}{60 \times h_k}, \text{ м}^2. \quad (6.22)$$

где  $Q$  – расход воды, поступающей в камеры хлопьеобразования,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$t_k$  – время пребывания воды в камере, принимается 20 – 30 мин.

Диаметр одной камеры хлопьеобразования ( $D_k$ ) принимается 1-2 м. Тогда площадь одной камеры:

$$f_1 = \frac{\pi \times D_k^2}{4}, \text{ м}^2. \quad (6.23)$$

Требуемое количество камер хлопьеобразования определяется по формуле:

$$N = \frac{f}{f_1}, \text{ шт.} \quad (6.24)$$

Величина  $N$  округляется в большую сторону. При количестве камер хлопьеобразования менее 6 следует принимать 1 резервную. Окончательно определяется диаметр одной камеры хлопьеобразования:

$$D_k = \sqrt{\frac{4f}{\pi \times N}}, \text{ м.} \quad (6.25)$$

Распределение воды в камере предусмотрено двумя соплами-насадками, направленными по касательной и расположенными на расстоянии:

$$a = 2D_k. \quad (6.26)$$

Скорость движения воды при выходе из сопла должна составлять  $V_c = 2 - 3$  м/с. Сопла располагаются на расстоянии 0,4 м от стенки на глубине 0,5 м от поверхности воды.

Общая площадь отверстий в соплах:

$$f_c = \frac{Q}{N \times V_c}, \text{ м}^2, \quad (6.27)$$

где  $Q$  – полная производительность станции,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Количество вертикальных отстойников принимается равным количеству камер хлопьеобразования ( $N$ ).

Площадь живого сечения вертикального отстойника ( $F_o$ ) состоит из площади камеры хлопьеобразования ( $f_1$ ) и площади зоны осаждения ( $f_{3.o.}$ ):

$$F_o = f_1 + f_{3.o.}, \text{ м}^2. \quad (6.28)$$

Площадь зоны осаждения определяется по формуле

$$f_{3.o.} = \frac{\beta \times Q}{V_p}, \text{ м}^2, \quad (6.29)$$

где  $\beta$  – коэффициент объемного использования отстойника. Величина  $\beta$  зависит от отношения диаметра отстойника ( $D$ ) к его полной высоте ( $H$ ). Если  $D/H = 1$ ,  $\beta = 1,3$ ; если  $D/H = 1,5$ ,  $\beta = 1,5$ ;

$Q$  – расход воды в отстойнике,  $\text{м}^3/\text{с}$  (он равен расходу воды в камере хлопьеобразования);

$V_p$  – расчетная скорость восходящего потока воды в отстойнике, м/час.

Скорость  $V_p$  должна быть меньше на 15-20% скорости выпадения взвеси  $U_o$ , которая определяется из таблицы 6.3.

Таблица 6.3

### Скорость выпадения взвеси в отстойнике

| Характеристика обрабатываемой воды и способы обработки   | Скорость выпадения взвеси, м/с $U \times 10^{-3}$ |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Маломутные цветные воды, обрабатываемые коагулянтom      | 0,35- 0,45                                        |
| Воды средней мутности, обрабатываемые коагулянтom        | 0,45- 0,5                                         |
| Мутные воды, обрабатываемые: коагулянтom,<br>флокулянтom | 0,5- 0,6<br>0,2- 0,3                              |
| Мутные воды, не обрабатываемые коагулянтom               | 0,08-0,15                                         |

*Примечание:* нижние пределы  $U_o$  – указание для подготовки питьевой воды.

Диаметр вертикального отстойника определяется по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4F_o}{\pi}}, \text{ м.} \quad (6.30)$$

Высота конической части отстойника определяется по формуле:

$$h = \frac{D - d_T}{2 \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha)}, \text{ м,} \quad (6.31)$$

где  $d_T$  - диаметр трубы для отвода осадка, принимается 0,15 – 0,2 м;

$\alpha$  - угол наклона стенок конусной части к горизонтали.

### Расчет горизонтального отстойника с перегородчатой камерой хлопьеобразования

Горизонтальный отстойник (рис. 6.8) представляет собой железобетонный прямоугольный в плане резервуар с плоским перекрытием и наклонным дном, что облегчает его очистку.

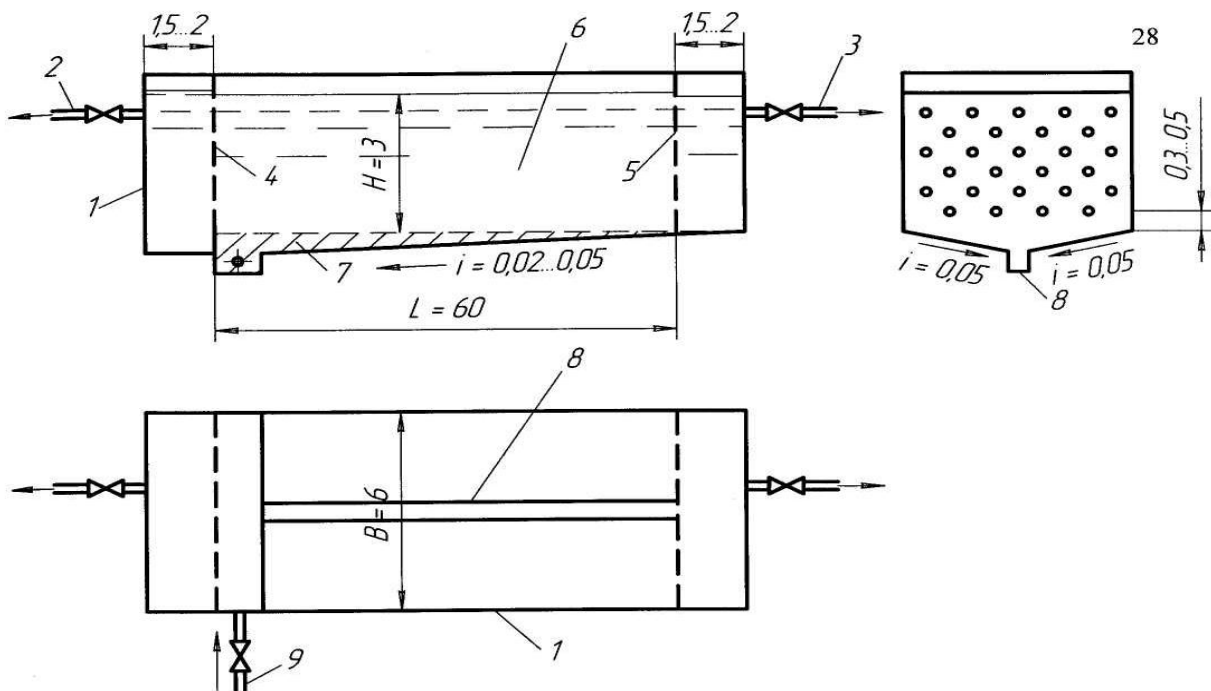


Рис. 6.8. Схема горизонтального отстойника

- 1 – корпус; 2 – труба, подводящая осветляемую воду от смесителя;  
3 – труба, отводящая воду из отстойника в фильтры; 4 – дырчатая входная сетка;  
5 – дырчатая выходная сетка; 6 – зона осаждения (осветления);  
7 – зона накопления и уплотнения осадка; 8 – лоток для сползания осадка;  
9 – сбросная труба

Площадь горизонтальных отстойников в плане определяется по формуле:

$$F_{zo} = \frac{\alpha \times Q}{U_o}, \text{ м}^2, \quad (6.32)$$

где  $\alpha$  – коэффициент объемного использования отстойников, принимаемый равным 1,3;

$Q$  – производительность станции, м<sup>3</sup>/с;

$U_o$  – скорость выпадения взвеси, м/с, принимается по табл. 6.3.

Длина отстойников должна определяться по формуле:

$$L = \frac{H \times V_{cp.}}{U_o}, \text{ м}, \quad (6.33)$$

где  $H$  – средняя глубина зоны осаждения взвеси в отстойнике, принимается 2,5 – 3,5 м.

$V_{cp.}$  – расчетная скорость горизонтального отстойника движения воды в начале отстойника м/с, принимаемая равной для маломутных вод 0,006 – 0,008 м/с; для вод средней мутности 0,007 – 0,01 м/с; для мутных вод 0,009 – 0,012 м/с.

Ширина одного отстойника принимается равной стандартной длине блоков перекрытий:  $B = 2,6$  м или 6 м. Тогда площадь одного отстойника:

$$F_1 = L \times B, \text{ м}^2. \quad (6.34)$$

Определяется количество горизонтальных отстойников (округляется в большую сторону):

$$N_{zo} = \frac{F_{zo}}{F_1}, \text{ шт.} \quad (6.35)$$

При количестве горизонтальных отстойников менее 6 следует принять 1 резервный.

Перегородчатая камера хлопьеобразования пристраивается ко входной (торцевой) части горизонтального отстойника (рис. 6.9).

Высота камеры хлопьеобразования принимается равной средней глубине осаждения взвеси в отстойнике ( $H$ ). Ширина камеры равна ширине отстойника ( $B$ ). Количество камер равно количеству отстойников ( $N_{г.о.}$ ).

Объем одной камеры определяется по формуле:

$$W = \frac{Q \times t}{60 N_{zo}}, \text{ м}^3, \quad (6.36)$$

где  $Q$  – производительность станции,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$t$  – время пребывания воды в камере: для цветных вод  $t = 30$  мин., для мутных вод  $t = 20$  мин.

Площадь камеры определяется по формуле:

$$F = \frac{W}{H}, \text{ м}^2, \quad (6.37)$$

длина камеры:

$$L_K = \frac{F}{B}, \text{ м}, \quad (6.38)$$

Ширину коридоров определяют по формуле:

$$b = \frac{Q}{H \times V \times N_{zo}}, \text{ м}, \quad (6.39)$$

где  $V$  – скорость движения воды в коридорах, м/с. Принимается 0,05 – 0,1 м/с.

При определении ширины коридора следует учитывать, что она должна быть не менее 0,7 м.

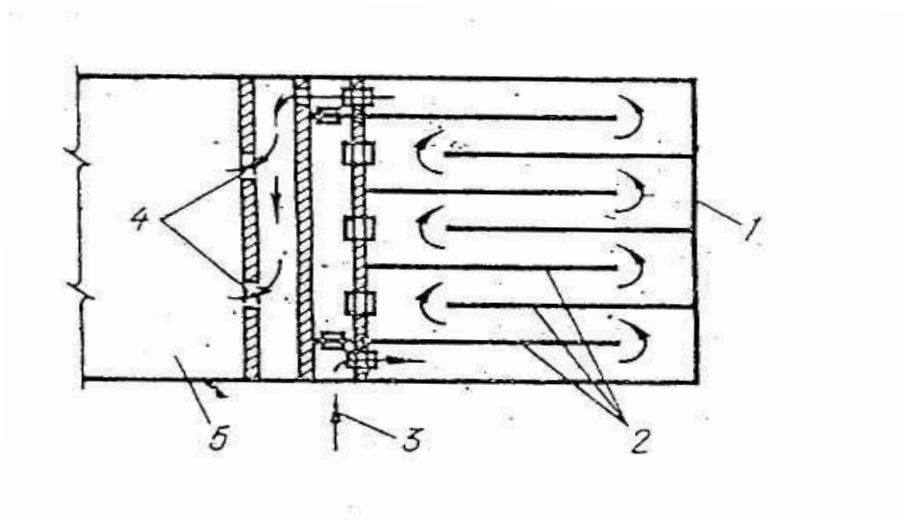


Рис. 6.9. Перегородчатая камера хлопьеобразования:  
1-корпус; 2-перегородки; 3-подача воды в камеру; 4- выход воды из камеры в отстойник; 5-горизонтальный отстойник

### Расчет радиальных отстойников

Отстойник данного типа – круглый в плане заглубленный резервуар (рис.6.10) , в центральную часть которого снизу подводится осветляемая вода.

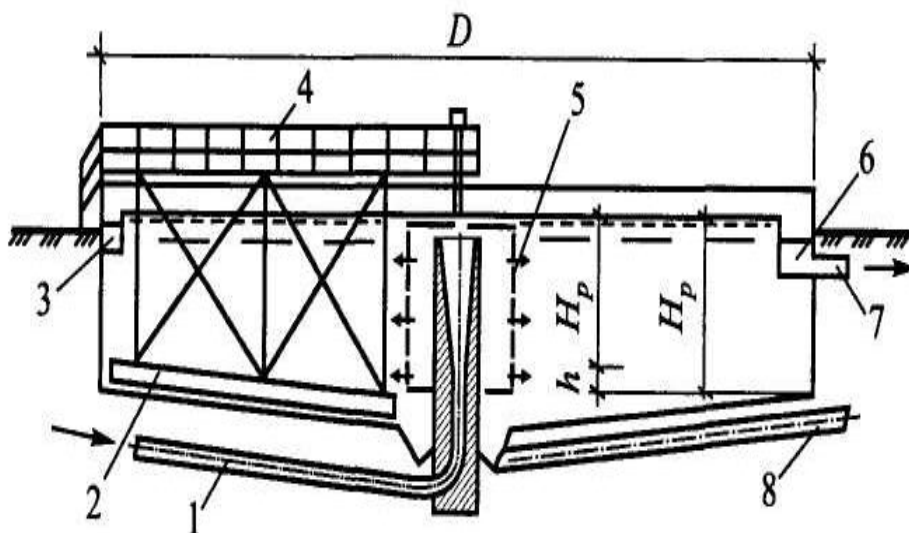


Рис. 6.10. Радиальный отстойник:  
1 - подача исходной воды; 2 - скребок; 3 - кольцевой лоток;  
4 - вращающаяся ферма; 5 - водораспределительное устройство;  
6 - сборный карман; 7 - отвод отстоянной воды; 8 - удаление осадка

Суммарная площадь радиальных отстойников при их использовании для первой ступени отстаивания высокомутных вод определяется по формуле:

$$F_{po} = 0,2 \left( \frac{Q}{U_o} \right)^{1,07} + f_{\text{вз}}, \text{ м}^2, \quad (6.40)$$

где  $Q$  – производительность станции,  $\text{м}^3/\text{час}$ ,

$U_0$  – скорость выпадения взвеси, принимается по табл. 6.3.

$f_{\text{в.з.}}$  – площадь вихревой зоны отстойника,  $\text{м}^2$ .

Величина  $f_{\text{в.з.}}$  определяется по формуле:

$$f_{\text{вз}} = \pi(r_{\text{пу}} + 1)^2, \text{ м}^2, \quad (6.41)$$

где  $r_{\text{п.у.}}$  – радиус цилиндрического распределительного устройства, величина которого принимается в пределах 2-4 м (большая величина относится к отстойникам производительностью более  $500 \text{ м}^3/\text{час}$ ).

Основные параметры радиальных отстойников и их количество принимаются применительно к типовому оборудованию, выпускаемому промышленностью, по таблице 6.4.

Таблица 6.4

#### Основные характеристики радиальных отстойников

| Площадь одного отстойника, $\text{м}^2$ | Внутренний диаметр $D_{\text{р.о.}}$ м | Глубина отстойника $H, \text{м}$ | Продолжительность одного оборота скребковой фермы, мин | Число оборотов фермы за 1 час. |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------|
| До 177                                  | 15                                     | 3                                | 8                                                      | 7,5                            |
| 178 – 354                               | 18                                     | 3,6                              | 10                                                     | 6                              |
| 255 – 452                               | 24                                     | 3,6                              | 12                                                     | 5                              |
| 453 – 706                               | 30                                     | 3,6                              | 16                                                     | 3,75                           |
| 707 – 1960                              | 50                                     | 4,5                              | 26                                                     | 2,3                            |
| 1961 – 4415                             | 75                                     | 6                                | 39                                                     | 1,54                           |
| 4416 – 7850                             | 100                                    | 7                                | 52                                                     | 1,15                           |

При количестве отстойников менее 6 предусматривается 1 резервный.

#### Проектирование тонкослойных отстойников

В последнее время все шире на водоочистных станциях применяется новая конструкция отстойников – тонкослойные [13]. Их разделительная способность во много раз выше разделительной способности горизонтальных, вертикальных и радиальных отстойников, а габариты во много раз меньше и исчисляются несколькими метрами. Это позволяет размещать тонкослойные отстойники в закрытых помещениях, что в свою очередь повышает эффект отстаивания, так как процессы осаждения взвеси протекают при более высоких и стабильных температурах. На рис. 6.11, 6.12 приведена схема водоочистной установки, в состав которой входит тонкослойный отстойник.

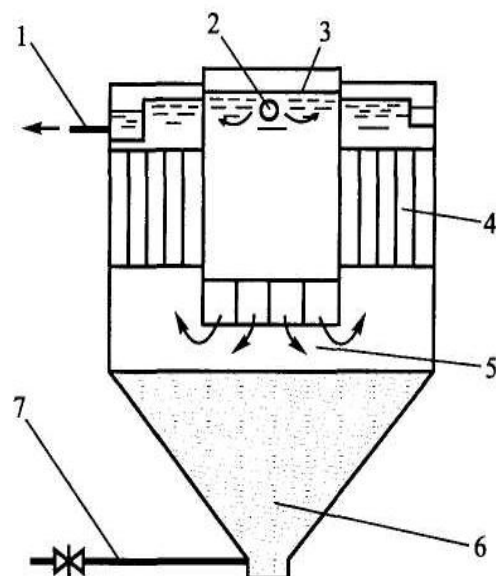


Рис. 6.11. Вертикальный отстойник, оборудованный тонкослойными блоками:  
 1 - отвод осветленной воды; 2 - подача исходной воды; 3 - камера хлопьеобразования;  
 4 - наклонные тонкослойные блоки; 5 - зона распределения воды;  
 6 - зона накопления осадка; 7 - удаление осадка

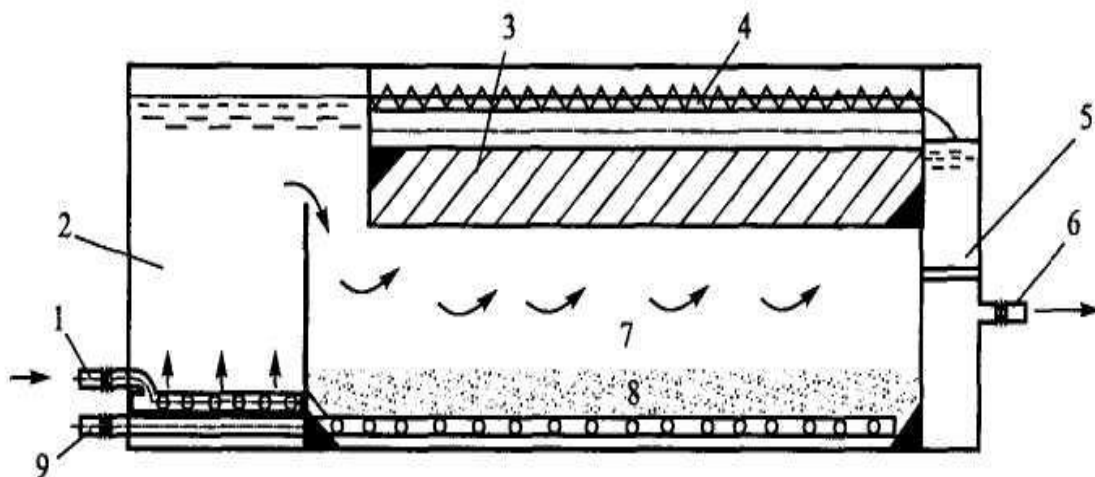


Рис. 6.12. Горизонтальный отстойник, оборудованный тонкослойными блоками  
 1 - подача исходной воды; 2 - камера хлопьеобразования; 3 - тонкослойные блоки;  
 4 - сборные желоба; 5 - канал сбора осветленной воды; 6 - отвод осветленной воды;  
 7 - зона распределения воды; 8 - зона накопления осадка; 9 - удаление осадка

При движении воды через отстойник взвесь, проходя через ячейки, ограниченные наклонными плоскостями (полками), оседает на эти плоскости, сползает вниз и попадает в коническую часть камеры хлопьеобразования. Для определения размеров тонкослойного отстойника, в котором осуществляется осветление коагулированной воды, сначала определяется концентрация взвешенных в этой воде веществ по формуле:

$$C = M + K \cdot D_k + 0,25Ц + В_{и,г} / м^3, \quad (6.42)$$

где  $M$  – мутность исходной воды, г/м<sup>3</sup>;

$K$  – коэффициент коагулянта, принимаемый для сернокислого алюминия – 0,5, для хлорного железа – 0,7;

$D_k$  – доза извести, г/м<sup>3</sup>;

$C$  – цветность исходной воды, град ПКШ;

$Bu$  – количество нерастворимых веществ, вводимых в воду при подщелачивании известью,

$$Bu = \frac{D_u}{K_u} - D_u, \text{ г/м}^3, \quad (6.43.)$$

где  $D_u$  – доза извести по CaO, г/м<sup>3</sup>;

$K_u$  – долевое содержание CaO в извести.

По концентрации взвешенных веществ в воде принимается скорость движения воды через тонкослойный отстойник по табл. 6.5.

Таблица 6.5

**Рекомендуемые значения скорости движения воды  
через тонкослойные отстойники**

| Концентрация взвеси, С,<br>г/м <sup>3</sup> | Характеристика суспензии    | Скорость движения воды,<br>V, см/с |
|---------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| До 50                                       | Слабо концентрированная     | 1,5                                |
| 50 - 500                                    | Средняя концентрация        | 1,7                                |
| 500 - 5000                                  | Высокая концентрация        | 2,0                                |
| Более 5000                                  | Весьма высокая концентрация | 2,5                                |

Отношение ширины ячейки ( $B$ ) к ее высоте ( $h$ ) принимается равным 40. Высота ячейки ( $h$ ) должна находиться в пределах 2,5 – 5,0 см.

Предельная нагрузка на ячейку определяется по формуле:

$$q = V \times B \times h. \quad (6.44)$$

Общее количество ячеек:

$$n = \frac{Q}{1000 \times q}, \text{ шт.}, \quad (6.45)$$

где  $Q$  – расчетная производительность отстойника, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – предельная нагрузка на ячейку, см<sup>3</sup>/с.

Длина зоны отстаивания тонкослойного отстойника определяется по формуле:

$$L = V \times T, \text{ см}, \quad (6.46)$$

где  $T$  – продолжительность отстаивания, с.

$$T = \frac{h}{I \times \cos \alpha}, \text{ с}, \quad (6.47)$$

где  $I$  – средняя гидравлическая крупность частиц, задерживаемых в отстойнике, принимается 0,03 – 0,05 см/с;

$\alpha$  – угол наклона ячейки;  $\alpha \leq 55^\circ$ .

Для приближенных расчетов, если известно требуемое количество взвеси, выпавшей в отстойнике, рекомендуется пользоваться графиком, приведенным на рис. 6.13.

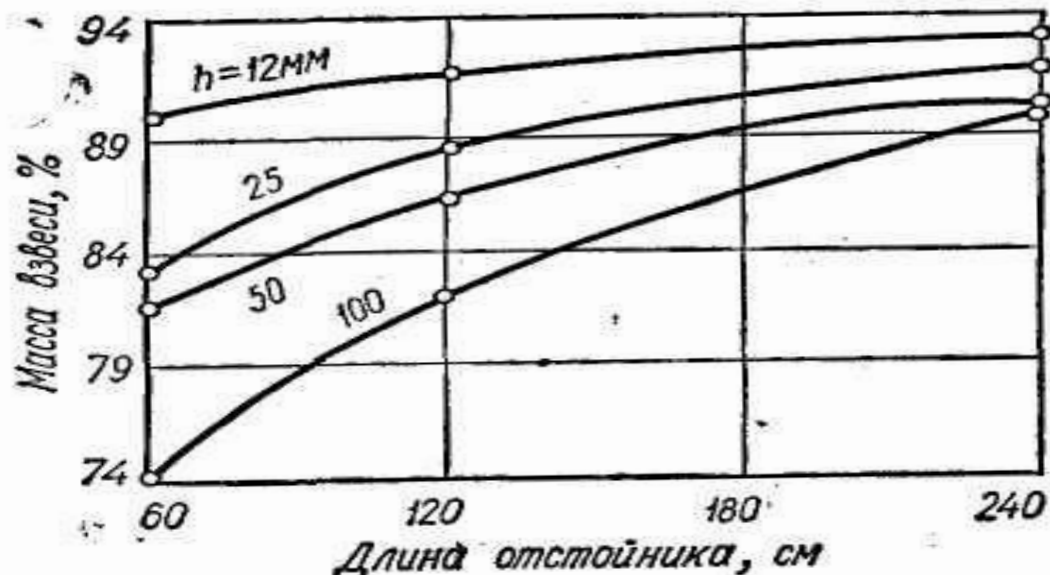


Рис. 6.13. График зависимости удаления взвеси (в %) в тонкослойном отстойнике от его длины  $L$  и глубины зоны осаждения  $h$ .

### Расчет вихревой камеры хлопьеобразования

Вихревые камеры хлопьеобразования (рис. 6.14) выполняют в виде усеченных конусов или пирамидальных резервуаров, обращенных суженной частью вниз.

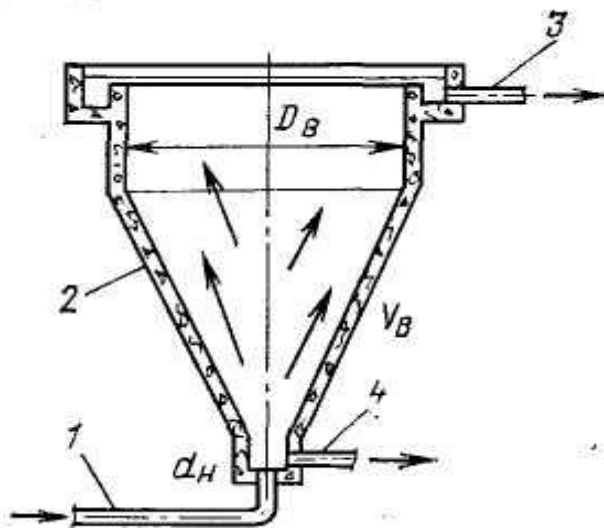


Рис. 6.14. Вертикальная (вихревая) камера хлопьеобразования:  
1- подача воды от смесителя; 2- корпус; 3- отвод воды; 4- опорожнение

Количество камер (N) принимают равным количеству отстойников. Расход воды, приходящийся на одну камеру:

$$q = \frac{Q}{N}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (6.48)$$

где Q – полная производительность станции, м<sup>3</sup>/с.

Угол между наклонными стенками принимается  $\alpha = 50^\circ - 70^\circ$

Время пребывания воды в камере  $t = 6 - 12$  мин. (верхний предел для цветных вод).

Площадь верхней (цилиндрической или прямоугольной) части камеры:

$$f_{\text{в}} = \frac{q}{V_1}, \text{ м}^2, \quad (6.49)$$

где  $V_1$  – скорость восходящего потока на выходе воды из камеры. Принимается в пределах 0,004 – 0,005 м/с.

Площадь отверстия в нижней части на входе воды в камеру:

$$f_{\text{н}} = \frac{q}{V_2}, \text{ м}^2, \quad (6.50)$$

где  $V_2$  – скорость входа воды в камеру принимается 0,7 – 1,2 м/с.

Полный объем камеры:

$$W_n = q \cdot t \cdot 60, \text{ м}^3. \quad (6.51)$$

Диаметр верхней (цилиндрической) части камеры:

$$D_{\text{в}} = \sqrt{\frac{4 f_{\text{в}}}{\pi}}, \text{ м}. \quad (6.52)$$

Диаметр нижнего входного отверстия:

$$D_{\text{н}} = \sqrt{\frac{f_{\text{н}}}{\pi}}, \text{ м}. \quad (6.53)$$

Высота нижней (конической) части:

$$h_{\text{н}} = 0,5(D_{\text{в}} - D_{\text{н}}) \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \text{ м}. \quad (6.54)$$

Объем нижней части:

$$W_{\text{н}} = \frac{1}{3} h_{\text{н}} (f_{\text{н}} + f_{\text{в}} + \sqrt{f_{\text{н}} \cdot f_{\text{в}}}), \text{ м}^3. \quad (6.55)$$

Объем верхней части:

$$W_{\text{в}} = W_n - W_{\text{н}}, \text{ м}^3. \quad (5.56)$$

Высота верхней части:

$$h_{\text{в}} = \frac{W_{\text{в}}}{f_{\text{в}}}, \text{ м}. \quad (6.57)$$

Полная высота камеры с учетом строительного запаса:

$$H = h_{\text{н}} + h_{\text{в}} + 0,3, \text{ м}. \quad (6.58)$$

### Расчет лопастных камер хлопьеобразования (флокуляторов)

Флокуляторы применяются на водоочистных станциях большой производительности, когда по условиям их расположения нецелесообразно применять другие конструкции. Перемешивание воды в этих камерах осуществляется лопастными мешалками с электроприводом, вращающимися вокруг горизонтальных или вертикальных осей (рис. 6.15).

Флокуляторы устраивают в одном комплексе с горизонтальными отстойниками, поэтому их количество принимают равным количеству отстойников.

Ширина и глубина флокулятора принимаются равными ширине и глубине отстойника. Длина определяется по формуле:

$$l = \alpha \times h \times n, \text{ м}, \quad (6.59)$$

где  $\alpha$  - коэффициент пропорциональности, равный 1.0÷1.5;

$h$  - глубина воды в камере, м;

$n$  - количество лопастных мешалок, принимается 2-5.

Время пребывания воды в камере должно быть в пределах:  $t = 30 \div 60$  мин. Скорость горизонтального движения воды: должна быть в пределах 0,2÷0,5 м/с, а скорость вращения лопастных мешалок: 0,4÷0,55 м/с.

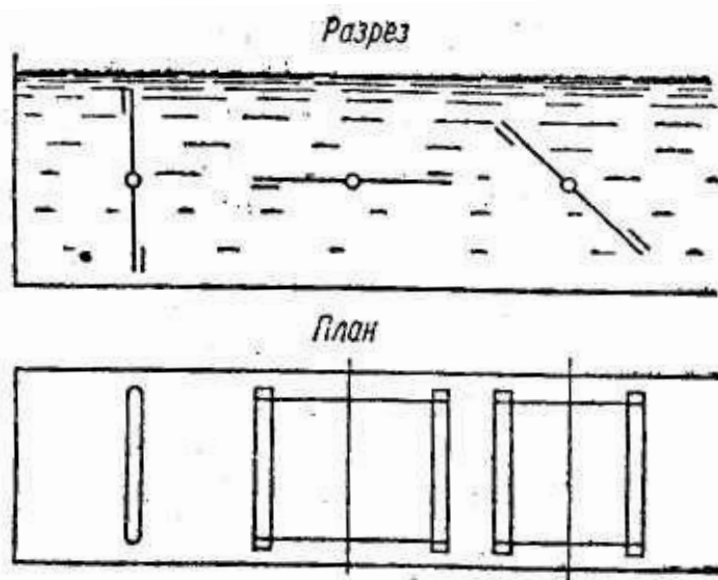


Рис. 6.15. Схема устройства лопастной камеры хлопьеобразования

### 6.4. Расчет осветлителей со взвешенным осадком

Наиболее распространенными являются конструкции осветлителей со взвешенным осадком коридорного типа (рис. 6.16).

Концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель, определяется по формуле 6.42.

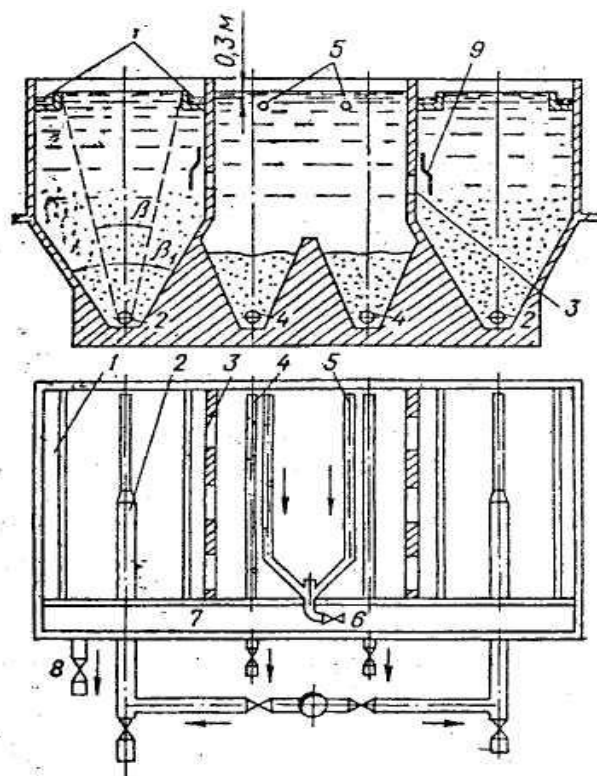


Рис. 6.16. Схема коридорного осветлителя:

1- сборные желоба; 2 – подача осветляемой воды; 3- осадкоприемные окна;  
4 – дырчатые трубы для отвода осадка; 5- труба для отвода воды  
из осадкоуплотнителя; 6 – задвижка, регулирующая принудительный  
отсос воды из осадкоуплотнителя; 7- карман; 8 – отвод осветленной воды;  
9 – козырьки осадкоприемных окон

Общая площадь осветлителей определяется по формуле:

$$F = F_1 + F_2, \text{м}^2, \quad (6.60)$$

где  $F_1$  - площадь зоны осветления,  $\text{м}^2$ ;  
 $F_2$  - площадь зоны отделения осадка,  $\text{м}^2$ .

$$F_1 = \frac{K \times Q}{V_1}, \text{м}^2, \quad (6.61)$$

$$F_2 = \frac{(1-K) \times Q}{\alpha \times V_1}, \text{м}^2, \quad (6.62)$$

где  $K$  – коэффициент распределения воды между зонами осветления и отделения осадка, принимается по табл. 6.6;

$Q$  – расчетная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V_1$  – скорость восходящего потока воды в зоне осветления,  $\text{м}/\text{с}$ ; принимается по табл. 6.6.

$\alpha$  – коэффициент снижения скорости восходящего потока воды в зоне отделения осадка, принимается 0,9.

Таблица 6.6

**Расчетные величины для осветлителей со взвешенным осадком**

| Концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель, $C$ , г/м <sup>3</sup> | Скорость восходящего потока $V_1$ , м/с | Коэффициент распределения воды, $K$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| 50-100                                                                                    | 0,0005-0,0006                           | 0,9-0,8                             |
| 100-400                                                                                   | 0,0006-0,0008                           | 0,8-0,7                             |
| 400-1000                                                                                  | 0,0008-0,001                            | 0,7-0,65                            |
| Более 1000                                                                                | 0,001-0,0012                            | 0,64-0,6                            |

*Примечание:* для подготовки питьевой воды следует принимать нижние пределы  $V_1$ .

Расчетное количество осветлителей  $N$  принимается из соображения, что площадь одного осветлителя не должна превышать 100 - 150 м<sup>2</sup>. При количестве осветлителей менее 6 предусматривается один резервный.

Площадь одного осветлителя:

$$F_1 = \frac{F}{N}, \text{ м}^2. \quad (6.63)$$

Площадь каждого из коридоров освещения:

$$F_{\kappa} = \frac{F_1}{2N}, \text{ м}^2. \quad (6.64)$$

Площадь осадкоуплотнителя:

$$F_o = F_1 - F_{\kappa}, \text{ м}^2. \quad (6.65)$$

Ширина коридора принимается в соответствии со стандартными размерами блоков перекрытий:  $b = 2,6$  м или  $b = 6$  м длина коридора и, следовательно, длина осветлителя:

$$l_{\kappa} = \frac{F_{\kappa}}{b}, \text{ м}. \quad (6.66)$$

Ширина осадкоуплотнителя:

$$b = \frac{F_o}{l_{\kappa}}, \text{ м}. \quad (6.67)$$

Высота слоя взвешенного осадка должна быть не менее  $h_1 = 2,5$  м. Нижняя кромка осадкоприемных окон должна располагаться не менее чем на  $h_2 = 1-1,5$  м выше линии перехода наклонных стенок осветлителя в вертикальные. Угол между наклонными стенками в нижней части зоны взвешенного осадка должен составлять:  $\beta_1 = 50^{\circ} - 70^{\circ}$ . Высота зоны освещения (над осадкоприемными окнами) должна составлять  $h_3 = 1,5 - 2,0$  м (меньшее значение - для мутных вод).

Объем зоны накопления и уплотнения осадка определяют по формуле:

$$W = \frac{q \times (C - m) \times T}{\delta_{cp}}, \text{ м}^3, \quad (6.68)$$

где  $q$  - расчетный расход осветляемой воды в одном осветлителе,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$$q = Q / N$$

$C$  – концентрация взвешенных веществ в воде, определяется по формуле 6.42.

$m$  - требуемое содержание взвеси в воде после осветления, принимается 8 - 12  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

$T$  - время уплотнения осадка в осадкоуплотнителе, принимается 6 – 12 час.;

$\delta_{cp}$  – средняя концентрация взвешенных веществ в осадкоуплотнителе,  $\text{г}/\text{м}^3$ , принимается по таблице 6.7.

Таблица 6.7

**Средние концентрации взвешенных веществ в осадкоуплотнителе**

| Концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель $C$ , $\text{г}/\text{м}^3$ | Средние концентрации взвешенных веществ $\text{г}/\text{м}^3$ в осадке после уплотнения в течение $T$ час. |       |       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------|
|                                                                                               | 6                                                                                                          | 8     | 12    | 24 и более. |
| 50-100                                                                                        | 8000                                                                                                       | 8500  | 9500  | 10000       |
| 100-400                                                                                       | 24000                                                                                                      | 25000 | 27000 | 30000       |
| 400-1000                                                                                      | 27000                                                                                                      | 29000 | 31000 | 35000       |
| Более 1000                                                                                    | 34000                                                                                                      | 36000 | 38000 | 41000       |

Высота осветлителя  $H$ , м, от центра трубы до верхних кромок желобов 1 определяется по формуле:

$$H = \frac{b + 2e_{жс}}{2tg \frac{\beta}{2}}, \text{ м}, \quad (6.69)$$

где  $\beta$  – угол наклона принимается равным  $30^\circ$ ;

$b_{ж}$  - ширина одного желоба, м, определяется по формуле:

$$b_{жс} = 0,9 \times q_{жс}^{0,4}, \text{ м}, \quad (6.70)$$

где  $q_{жс}$  – расход воды, поступающей в один желоб,  $\text{м}^3/\text{час}$ .

$$q_{жс} = \frac{q \cdot k}{4 \cdot N}, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (6.71)$$

где  $k$  – коэффициент распределения воды, принимается по табл. 6.6.

Высота пирамидальной части коридора осветлителя определяется по формуле:

$$h_n = \frac{b - a}{2tg \frac{\beta_1}{2}}, \text{ м}, \quad (6.72)$$

где  $a$  – ширина коридора осветлителя внизу, принимается 0,4 м.

Общая площадь осадкоприемных окон в осветлителе определяется по формуле:

$$f_{ок} = \frac{q_{ок}}{V_{ок}}, \text{ м}^2, \quad (6.73)$$

где  $q_{ок}$  – расход воды, поступающей со шламом в осадкоуплотнитель:

$$q_{ок} = q \times (1 - k), \text{ м}^3/\text{час}, \quad (6.74)$$

$V_{ок}$  – скорость движения воды со шламом через окна, принимается 36 – 54 м/час.

## 6.5. Проектирование электрокоагуляторов

Электрокоагуляция заключается в растворении электродов из алюминия или железа под действием постоянного электрического тока и в выделении ионов этих электродов в движущийся через электролизер поток воды. Схема электролизера для анодного растворения алюминия или железа приведена на рис. 6.17. Расчет электрокоагулятора заключается в определении дозы алюминия или железа, силы тока, необходимой для осуществления процесса электрохимической очистки, площади и толщины электродов, размеров электролизера.

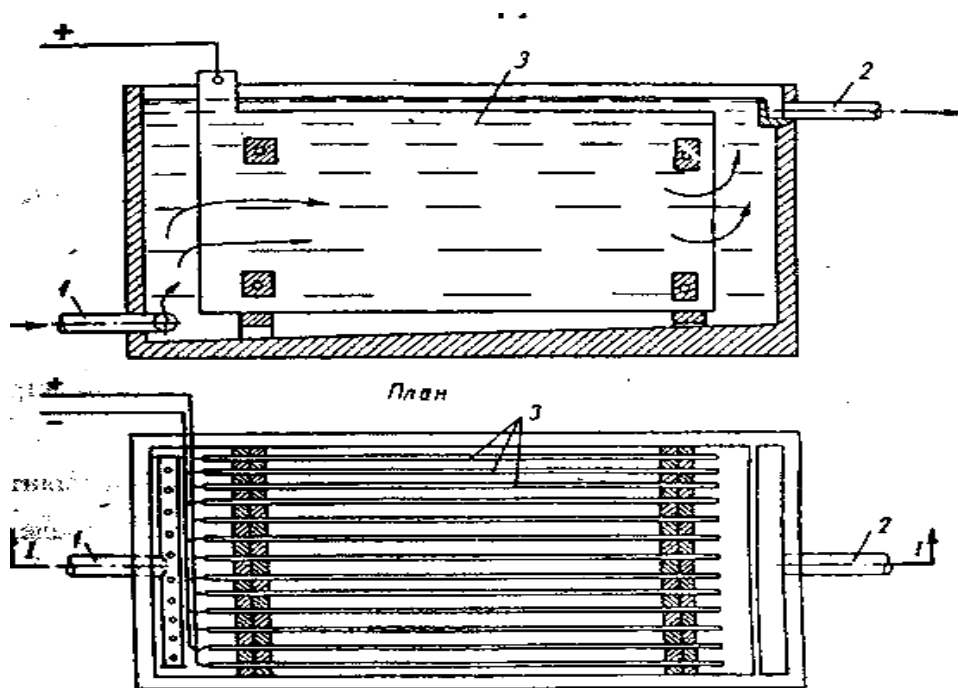


Рис. 6.17. Электролизер для анодного растворения алюминия или железа (электрокоагулятор):

1 – подача исходной воды; 2 – отвод воды из электролизера;  
3 – пластины алюминия или железа

Дозы коагулянта по мутности ( $D_m$ ) определяются из таблицы 6.8.

**Дозы коагулянта для обработки воды, получаемой анодным  
растворением**

| Содержание в воде взвешенных<br>веществ, мг/л | Дозы растворенных металлов, мг/л |                  |
|-----------------------------------------------|----------------------------------|------------------|
|                                               | Al <sup>3+</sup>                 | Fe <sup>2+</sup> |
| До 100                                        | 1,5 – 2,5                        | 3,9 – 6,9        |
| 101 – 200                                     | 1,9 – 3,2                        | 4,7 – 8,8        |
| 201 – 400                                     | 2,5 – 3,5                        | 6,3 – 11,8       |
| 401 – 600                                     | 2,8 – 4,3                        | 7,1 – 13,8       |
| 601 – 800                                     | 3,4 – 5,0                        | 8,6 – 15,8       |
| 801 – 1000                                    | 3,8 – 5,8                        | 9,5 – 17,7       |
| 1001 – 1400                                   | 4,1 – 6,5                        | 10,2 – 20,7      |
| 1401 – 1800                                   | 4,7 – 7,6                        | 11,8 – 22,7      |
| 1801 – 2200                                   | 5,1 – 8,3                        | 12,6 – 24,6      |
| 2201 – 2500                                   | 5,7 – 9,1                        | 14,2 – 25,6      |

*Примечание:* Меньшие дозы относятся к водам, содержащим грубодисперсные взвеси.

Дозы коагулянтов по цветности определяются по формуле:

$$D_{\text{ц}} = \alpha \sqrt{Ц}, \text{ мг/л}, \quad (6.75)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, принимаемый для алюминиевых электродов,  $\alpha = 0,15 - 0,3$ ; для железных электродов:  $\alpha = 0,5 - 1,0$ .

Для дальнейших расчетов принимается большая доза коагулянта ( $D_{\text{к}}$ ).

Общий расход металла, растворяемого на анодах, определяется по формуле:

$$P = D_{\text{к}} \times Q, \text{ г/час}, \quad (6.76)$$

где  $Q$  – расход воды в электрокоагуляторах, м<sup>3</sup>/час.

Отношение массы растворяемого при коагуляции металла к общей массе электродов учитывается коэффициентом использования электродов ( $k$ ), который принимается в пределах  $0,75 - 0,9$ .

Сила тока, обеспечивающая растворение электродов, определяется по формуле:

$$I = \frac{P \times \Phi \times n}{k \times A \times 3600}, \text{ А}, \quad (6.77)$$

где  $\Phi$  – постоянная Фарадея,  $\Phi = 96491$  кл/г-экв;

$n$  – валентность металла;

$A$  – атомная масса растворяемого металла, г.

Скорость движения воды ( $V$ ) между электродами принимается  $0,01 - 0,02$  м/с. Время протекания воды (в горизонтальном направлении)  $t = 30 - 120$  с.

По этим величинам определяется длина электродов:

$$L_{\text{э}} = V \times t, \text{ м}. \quad (6.78)$$

Высота электродов принимается с учетом размеров листового металла в пределах:

$$H_{\text{э}} = (0,5-1,0) L_{\text{э}}, \text{ м.} \quad (6.79)$$

Площадь одного электрода:

$$F_{\text{э}} = L_{\text{э}} \times H_{\text{э}}, \text{ м}^2. \quad (6.80)$$

Общая площадь всех электродов определяется по формуле:

$$F = \frac{I}{j}, \text{ м}^2, \quad (6.81)$$

где  $j$  – плотность тока на электродах, которую рекомендуется принимать в пределах  $10 - 60 \text{ А/м}^2$ .

Требуемое количество электродов:

$$m = \frac{F}{F_{\text{э}}}, \text{ шт.} \quad (6.82)$$

Объем, занятый водой в межэлектродном пространстве:

$$W_B = \frac{Q \times t}{3600}, \text{ м}^3. \quad (6.83)$$

Ширина промежутков между электродами:

$$e = \frac{W_B}{(m+1) \times F_{\text{э}}}, \text{ м.} \quad (6.84)$$

Толщина электродов ( $c$ ) равна  $3 - 6 \text{ мм}$ .

Общая ширина электролизной камеры:

$$B = m \times (c + e) + e, \text{ м.} \quad (6.85)$$

Для обеспечения равномерного распределения воды между электродами необходимо слева и справа от электродов в электролизере предусмотреть свободное пространство, длина которого (с каждой стороны) принимается равной:

$$l_1 = l_2 \geq \frac{B}{2}. \quad (6.86)$$

Тогда общая длина электролизера:

$$L = L_{\text{э}} + l_1 + l_2, \text{ м.} \quad (6.87)$$

При определении общей высоты электролизера  $H$  предусматривают свободное пространство между дном и пластинами  $h_1 = 0,05 - 0,15 \text{ м}$ ; слой воды над электродами  $h_2 = 0,1 - 0,3 \text{ м}$ ; строительный запас  $h_3 = 0,15 - 0,2 \text{ м}$ . Тогда

$$H = H_{\text{э}} + h_1 + h_2 + h_3, \text{ м.} \quad (6.88)$$

Напряжение на электродах из условий безопасной эксплуатации электрокоагулятора принимается в пределах:  $U = 35 - 50$  В.

Расход электроэнергии в электрокоагуляторе:

$$E = \frac{I \times U}{Q}, \text{ Вт-час/м}^3. \quad (6.89)$$

## 6.6. Расчет напорных гидроциклонов

Напорные гидроциклоны применяются для предварительного осветления поверхностных вод при кратковременном увеличении мутности. Схема напорного гидроциклона приведена на рис. 6.18.

Промышленность серийно выпускает гидроциклоны различных марок. Выбор марки гидроциклона производят по требуемой производительности и эффекту осветления воды (см. табл. 6.9).

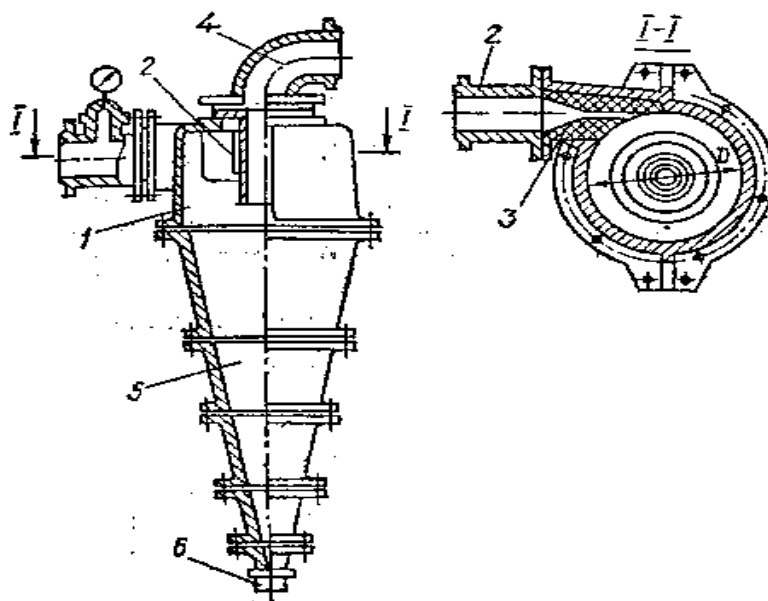


Рис. 6.18. Напорный гидроциклон:

1- корпус; 2-питающие отверстия; 3 - сменные вкладыши питающего отверстия; 4-сливной патрубок; 5-конус; 6-сменная насадка; 6-сменная насадка для выпуска осадка; D- диаметр циклона

Таблица 6.9

### Основные характеристики напорных гидроциклонов

| Марка   | Производительность, м <sup>3</sup> /час (примерная) | Эффект осветления, % | Габаритные размеры |            |
|---------|-----------------------------------------------------|----------------------|--------------------|------------|
|         |                                                     |                      | диаметр, мм        | высота, мм |
| ГЦ - 75 | 2,3 – 4,25                                          | 25 - 60              | 75                 | 305        |
| ГЦ – 15 | 35,7                                                | 48 – 51              | 150                | 695        |
| ГЦ - 25 | 80                                                  | 38                   | 250                | 1070       |
| ГЦ - 36 | 150                                                 | 35                   | 360                | 1450       |
| ГЦ - 50 | 250                                                 | 35                   | 500                | 2015       |

Потери напора в гидроциклоне в основном зависят от его диаметра и гидравлической крупности задерживаемых частиц взвеси. Величины потерь напора рекомендуется определять из графика, приведенного на рис. 6.19.

Давление воды на входе в гидроциклон принимают в пределах 0,05–0,3 МПа. Угол конусности гидроциклона составляет  $20^\circ$ .

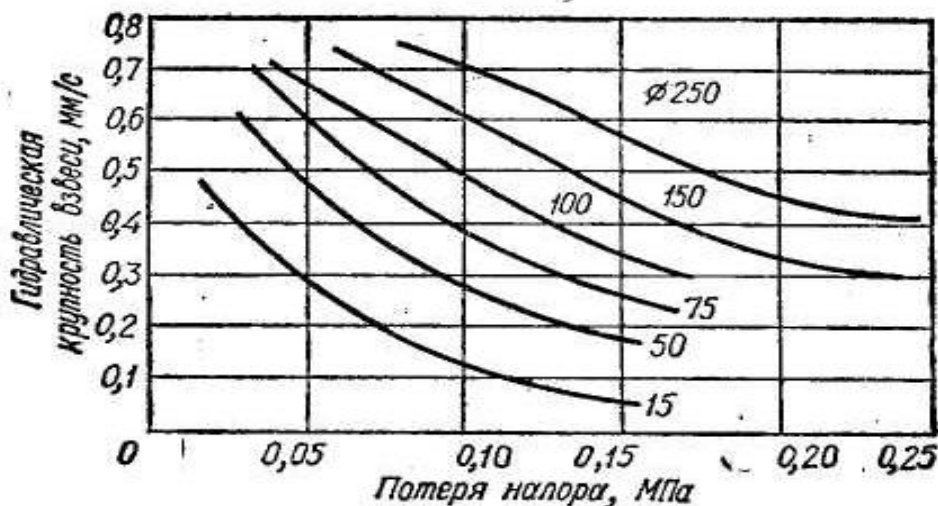


Рис. 6.19. График зависимости эффективности гидроциклонов от потери напора в них

### 6.7. Проектирование сооружений для предварительной напорной флотации

Напорная флотация традиционно применяется для очистки воды от легких грубодисперсных частиц, планктона и других примесей преимущественно органического происхождения. Флотационные установки (флотаторы) используются вместо микрофильтров или барабанных сеток, отстойников, осветлителей со взвешенным осадком. Они могут быть использованы как при строительстве новых, так и при реконструкции существующих водоочистных сооружений. Наиболее целесообразно применение флотационных установок для очистки маломутных цветных вод из поверхностных источников.

Метод флотации заключается в адсорбировании примесей мелкими пузырьками воздуха и в поднятии их на поверхность, где образуется слой пены.

Исследования, проведенные в 1996–1999 гг. на водоочистных сооружениях пос. Надеево Вологодской области [14], позволили разработать новую технологию осветления и обесцвечивания маломутных цветных вод [15]. Эта технология заключается в использовании напорной флотации перед коагуляцией воды. В этом случае, при определенных режимах, обеспечивается уменьшение расходования коагулянта в 3 – 6 раз, ускоряется процесс коагуляции и снижается содержание остаточного алюминия в очищенной воде не менее, чем в 2 раза.

Технологическая схема сооружений осветления и обесцвечивания воды с использованием предварительной напорной флотации приведена на рис. 6.20.

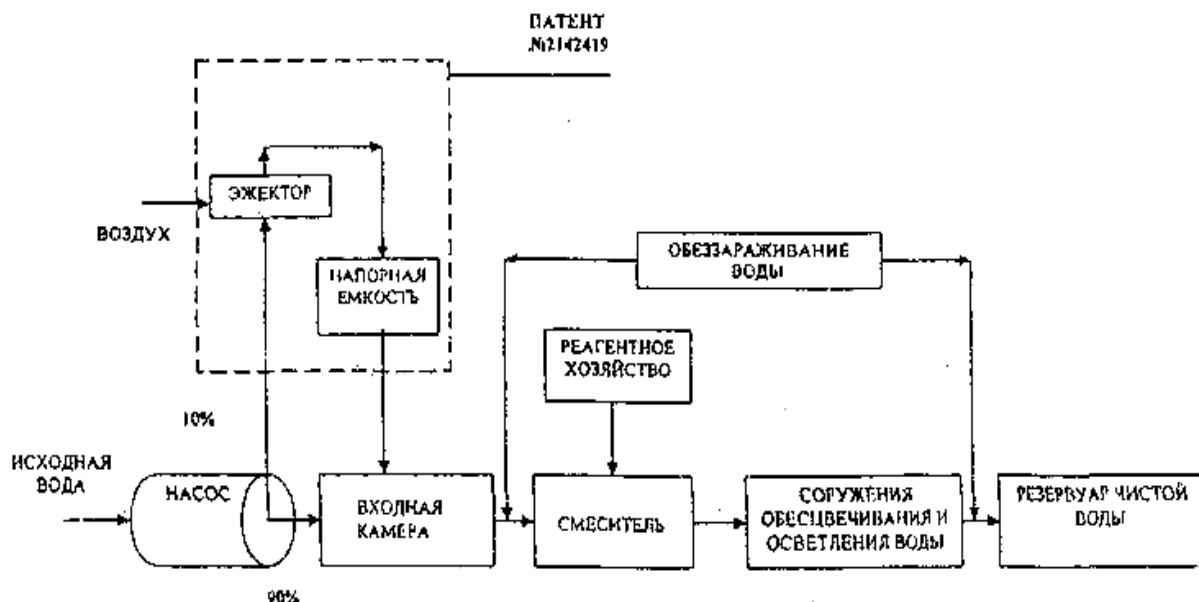


Рис. 6.20. Технологическая схема сооружений с применением предварительной напорной флотации

При напорной флотации необходимо обеспечить выделение пузырьков воздуха в пределах  $d_B = 20 - 80$  мкм.

Для приготовления водовоздушной эмульсии выделяется 10 % воды, которая направляется в напорную емкость. Следовательно, при общем расходе исходной воды  $Q$ , расход воды, направляемой в напорную емкость, составляет:  $Q_H = 0,1Q$ , а расход воды, направляемой во входную емкость (флотационную камеру), составляет:  $Q_\Phi = 0,9Q$ .

В напорной емкости вода должна находиться в течение  $t_H = 10 - 15$  мин. под давлением  $P_H = 0,6 - 0,8$  Мпа.

Объем напорной емкости определяется по формуле:

$$W_H = \frac{Q_H \times t_H}{60}, \text{ м}^3, \quad (6.90)$$

где  $Q_H$  – расход воды, направляемой в напорную емкость,  $\text{м}^3/\text{час}$ .

Во входной камере флотатора вода должна находиться в течение  $t_\Phi = 15 - 20$  мин. Толщина слоя воды, обрабатываемого флотацией, должна быть в пределах  $h_\Phi = 1 - 1,5$  м.

Требуемый объем воды во входной камере:

$$W_\Phi = \frac{Q_\Phi \times t_\Phi}{60}, \text{ м}^3. \quad (6.91)$$

Площадь камеры:

$$F_\Phi = \frac{W_\Phi}{h_\Phi}, \text{ м}^2. \quad (6.92)$$

Камера может быть в плане круглой или прямоугольной. Для прямоугольной камеры отношение ширины к длине принимается:  $1 \times 1,5$  м.

## 7. Проектирование фильтровальных сооружений

### 7.1. Выбор конструкции фильтра

Все фильтровальные сооружения классифицируются по способам фильтрования:

а) **объемное**: при скорости фильтрования от 1,5 до 15 м/час задержание частиц взвеси происходит во всем объеме фильтрующей загрузки;

б) **контактное осветление**: при скорости фильтрования от 2,0 до 5,5 м/час и более в порах фильтрующей загрузки происходят процессы коагуляции (образования хлопьев) и задержания взвеси;

в) **пленочное**: при скорости фильтрования от 0,1 до 0,3 м/час происходит осаждение взвеси на поверхность фильтрующей загрузки и образование макропористой пленки (из взвеси).

Выбор конструкции фильтра производится в зависимости от принятой технологии очистки воды перед ее подачей на фильтровальные сооружения, от выбранного способа фильтрования и требований к качеству очищенной воды. Рекомендации по выбору конструкции фильтра приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1

#### Рекомендации по выбору конструкции фильтра

| Технология очистки воды перед подачей на фильтровальные сооружения | Способ фильтрования  |                        |                       | Условия применения                                                     |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|
|                                                                    | Объемное (скорое)    | Контактное осветление  | Пленочное (медленное) |                                                                        |
|                                                                    | Название             | конструкций            | фильтров              |                                                                        |
| Предварительная напорная флотация, подача коагулянта               |                      | Контактные осветлители |                       | Осветление и обесцвечивание до питьевого качества                      |
| Обработка коагулянтами                                             |                      | Контактные осветлители |                       | То же                                                                  |
|                                                                    |                      | Контактные префильтры  |                       | Предварительное осветление и обесцвечив. перед подачей воды на фильтры |
| Обработка коагулянтами и флокулянтами                              | Открытые однослойные |                        |                       | Осветление и обесцвечивание до питьевого качества                      |
|                                                                    | Открытые двухслойные |                        |                       | То же                                                                  |
|                                                                    | Напорные             |                        |                       | То же                                                                  |
|                                                                    | ФПЗ                  |                        |                       | То же                                                                  |
|                                                                    | Крупнозернистые      |                        |                       | Частичное осветление и обесцвечивание                                  |
|                                                                    | Установка «Струя»    |                        |                       | Осветление и обесцвечивание до питьевого качества                      |
| Без применения реагентов                                           | БНФ - НИМИ           |                        |                       | Осветление до питьевого качества                                       |
|                                                                    | Крупнозернистые      |                        |                       | Частичное осветление                                                   |
|                                                                    |                      |                        | Медленные фильтры     | Осветление до питьевого качества                                       |

## 7.2. Расчет скорых однослойных открытых фильтров

Схема скорого однослойного открытого фильтра приведена на рис. 7.1.

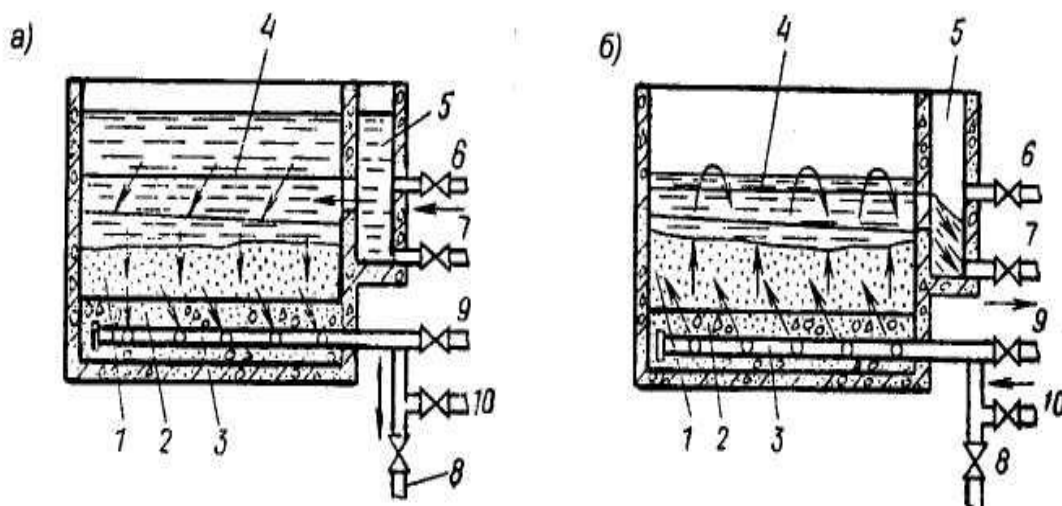


Рис. 7.1. Схема работы открытого фильтра при фильтровании (а) и при промывке (б): 1— песчаный фильтрующий слой; 2— гравийный поддерживающий слой; 3 — тручатый дренаж; 4 — желоба для отвода промывной воды; 5 — карман; 6 и 9 - трубопроводы для подачи осветляемой и промывной воды; 7 и 8— трубопроводы для отвода промывной осветленной воды; 10— трубопровод для сброса воды в канализацию

Исходными данными для расчета фильтров являются выбор материала фильтрующего слоя, производительность станции, продолжительность ее работы в течение суток, расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме. Характеристики различных фильтрующих слоев приведены в таблице 7.2, технологические параметры процессов фильтрования – в табл. 7.3.

Таблица 7.2

### Характеристика фильтрующего слоя

| Материал загрузки  | Диаметр зерен в мм |              |               | Коэффициент неоднородности загрузки | Высота слоя, м<br>$H_{\phi}$ |
|--------------------|--------------------|--------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------|
|                    | минимальный        | максимальный | эквивалентный |                                     |                              |
| Кварцевый песок    | 0,5                | 1,2          | 0,7 – 0,8     | 1,8 - 2                             | 0,7 – 0,8                    |
|                    | 0,7                | 1,6          | 0,8 - 1       | 1,6 – 1,8                           | 1,3 – 1,5                    |
|                    | 0,8                | 2            | 1 – 1,2       | 1,5 – 1,7                           | 1,8 - 2                      |
| Дробленый керамзит | 0,5                | 1,2          | 0,7 – 0,8     | 1,8 - 2                             | 0,7 – 0,8                    |
|                    | 0,7                | 1,6          | 0,8 - 1       | 1,6 – 1,8                           | 1,3 – 1,5                    |
|                    | 0,8                | 2            | 1 – 1,2       | 1,5 – 1,7                           | 1,8 - 2                      |

Таблица 7.3

**Технологические параметры процессов фильтрования и промывки**

| Эквивалентный диаметр, мм | Скорость фильтрования, м/ч     |                                      |                                |                                      | Интенсивность промывки, л/с·м <sup>2</sup><br>$\omega$ | Продолжительность промывки, мин.<br>$t$ | Величина относит. расширения загрузки, %<br>$a$ |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                           | для кварцевого песка           |                                      | для дробленого керамзита       |                                      |                                                        |                                         |                                                 |
|                           | при нормальном режиме<br>$V_H$ | при форсированном режиме<br>$V_\Phi$ | при нормальном режиме<br>$V_H$ | при форсированном режиме<br>$V_\Phi$ |                                                        |                                         |                                                 |
| 0,7 – 0,8                 | 5 – 6                          | 6 – 7,5                              | 6 – 7                          | 7 – 9                                | 12 - 14                                                | 6 – 5                                   | 45                                              |
| 0,8 - 1                   | 6 – 8                          | 7 – 9,5                              | 7 – 9,5                        | 8,5–11,5                             | 14 – 16                                                | 6 – 5                                   | 30                                              |
| 1 – 1,2                   | 8 - 10                         | 10 - 12                              | 8 – 10                         | 10 - 12                              | 16 - 18                                                | 6 – 5                                   | 25                                              |

Общая площадь фильтров определяется по формуле:

$$F_\Phi = \frac{Q}{T \times V_H - n_{np} \times q_{np} - n_{np} \times \tau_{np} \times V_H}, \text{ м}^2, \quad (7.1)$$

где  $Q$  – полная производительность водоочистной станции, м<sup>3</sup>/сут.;

$T$  – продолжительность работы станции в течение суток, час;

$V_H$  – скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч;

$n_{np}$  – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации, принимается  $n = 2 - 3$ ;

$q_{np}$  – удельный расход воды на промывку одного фильтра, м<sup>3</sup> воды на м<sup>2</sup> площади фильтра;

$\tau_{np}$  – время простоя фильтра в связи с промывкой, принимается  $\tau_{np} = 0,33$  час.

Удельный расход воды на промывку одного фильтра определяется по формуле:

$$q_{np} = 0,06\omega \times t, \text{ м}^3/\text{м}^2. \quad (7.2)$$

Приближенное количество фильтров определяется по формуле:

$$N = \frac{\sqrt{F_\Phi}}{2}, \text{ шт.} \quad (7.3)$$

При окончательном определении количества фильтров необходимо учитывать следующие условия:

а) при  $Q \leq 1600$  м<sup>3</sup>/сут количество фильтров должно быть не менее 2-х;

б) при  $Q > 1600$  м<sup>3</sup>/сут количество фильтров должно быть не менее 4-х;

в) должно обеспечиваться соотношение:

$$V_\Phi = \frac{V_H \times N}{N - N_1}, \text{ м/ч}, \quad (7.4)$$

где  $N_1$  – количество фильтров, отключаемых на ремонт.

При  $N < 20$  шт.,  $N_1 = 1$  шт.; при  $N \geq 20$  шт.,  $N_1 = 2$  шт.;

г) Площадь одного фильтра должна быть не более  $120 \text{ м}^2$ .

После определения количества фильтров находится площадь одного фильтра:

$$f = \frac{F_{\phi}}{N}, \text{ м}^2. \quad (7.5)$$

Размеры фильтра в плане (а – длина, м и в – ширина, м): рекомендуется ориентироваться на основные типоразмеры (ближе к квадрату)  $3,5 \times 5$ ;  $5 \times 5,5$ ;  $6 \times 6$ ;  $6 \times 8,0$ ;  $6 \times 9$ ;  $6 \times 12$ ;  $12 \times 12$ .

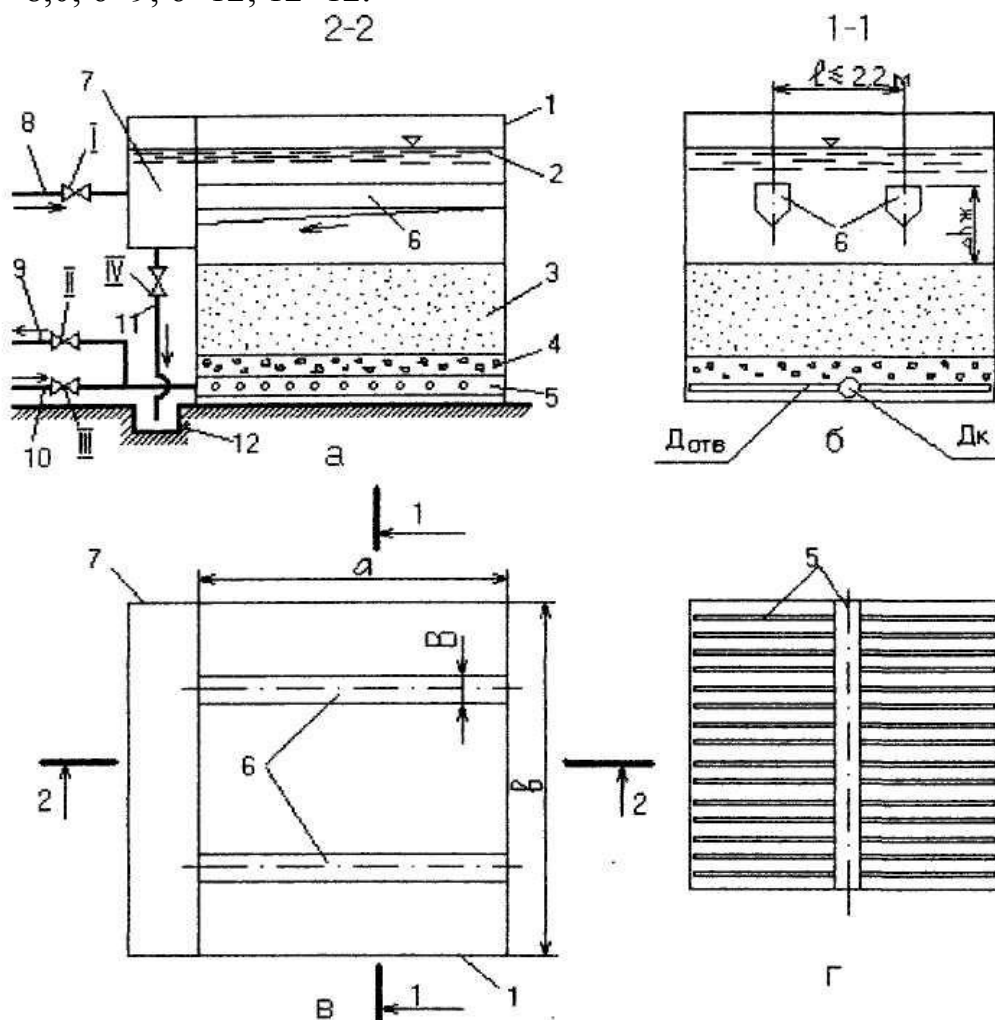


Рис. 7.2. Схема скорого однослойного фильтра:

а) продольный разрез, б) поперечный разрез, в) вид сверху;

г) дренажная система в плане; 1-корпус фильтра; 2-слой воды на фильтре;

3- слой фильтрующего материала; 4- гравийные поддерживающие слои;

5 – дренажная (распределительная система); 6 – желоба для отвода промывной воды;

7- карман фильтра; 8 –труба, подводящая воду из отстойника или осветлителя;

9 – труба, отводящая фильтрованную воду; 10 –труба для подачи промывной воды;

11- труба для отвода грязной промывной воды с фильтра; 12- канализационный лоток.

I-IV – задвижки

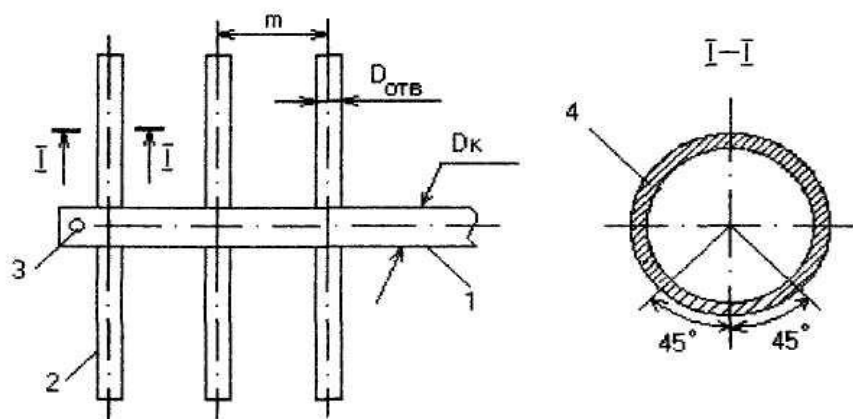


Рис. 7.3. Схема дренажной системы фильтра:

1-коллектор; 2-ответвления; 3-стояк-воздушник; 4-отверстия на ответвления

Общий расход промывной воды, пропускаемой через один фильтр, определяется по формуле:

$$Q_{np} = \frac{q_{np} \cdot f}{t \times 60}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7.6)$$

Диаметр коллектора дренажной системы:

$$D_K = \sqrt{\frac{Q_{np}}{0,785 \cdot V_K}}, \text{ м}, \quad (7.7)$$

где  $V_K$  – скорость движения воды в коллекторе при промывке принимается 0,8 – 1,2 м/с.

Принимается стандартный диаметр коллектора  $D_K$ , мм.

Расстояния между осями ответвлений принимаются в пределах:  $m = 250 - 350$  мм.

Площадь фильтра, приходящаяся на одно ответвление:

$$f_{отв.} = \frac{m \cdot (B - D_K)}{2}, \text{ м}^2. \quad (7.8)$$

Расход промывной воды, приходящийся на одно отверстие:

$$q_{отв} = \frac{f_{отв} \cdot \omega}{1000}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7.9)$$

Диаметр трубы ответвления:

$$D_{отв} = \sqrt{\frac{q_{отв}}{0,785 \cdot V_{отв}}}, \text{ м}, \quad (7.10)$$

где  $V_{отв.}$  – скорость движения воды в ответвлении, принимается 1,6 – 2,0 м/с.

Принимается стандартный диаметр  $D_{отв.}$ , мм.

При наличии поддерживающих слоев на ответвлении располагаются отверстия диаметром 10 – 12 мм. Общая площадь отверстий должна составлять

0,2 –0,5% от рабочей площади фильтра. Отверстия располагаются в два ряда в шахматном порядке под углом  $45^0$  к низу от вертикали.

При отсутствии поддерживающих слоев на ответвлении располагаются щели шириной на 0,1 мм меньше минимального диаметра фильтрующей загрузки. Площадь щелей должна составлять 1,5-2,0 % от рабочей площади фильтра. Щели должны размещаться равномерно поперек оси и по периметру трубы не менее чем в 2 ряда.

Для удаления воздуха из трубопровода, подающего воду на промывку и из коллектора, следует предусматривать стояки-воздушники: на трубопроводе диаметром 75-150 мм, на коллекторе – диаметром 50 –75 мм.

Высота поддерживающего слоя и крупность фракций принимаются по данным таблицы 7.4

Таблица 7.4

#### Характеристики поддерживающих слоев

| Крупность зерен в слоях (снизу–вверх) | Высота слоя, мм.   |
|---------------------------------------|--------------------|
| 40 – 20                               | $D_K + (50 - 100)$ |
| 20 – 10                               | 100 - 150          |
| 10 – 5                                | 100 – 150          |
| 5 – 2                                 | 50 – 100           |
| 2 – 1,2                               | 100                |
| ИТОГО                                 | $\Sigma H_{II}$    |

Общая высота фильтра определяется по формуле:

$$H = H_{\phi} + H_{II} + H_B + H_C, \text{ м}, \quad (7.11)$$

где  $H_{\phi}$  - высота фильтрующего слоя, м;

$H_{II}$  - высота поддерживающего слоя, м;

$H_B$  – толщина слоя воды над поверхностью фильтрующей загрузки, м,  $H_B \geq 2\text{м}$ ;

$H_C$  - превышение строительной высоты над расчетным уровнем воды, м;

$H_C \geq 0,5 \text{ м}$ .

Для сбора и отведения промывной воды предусматриваются желоба пятиугольного или полукруглого сечения. Расстояние между осями соседних желобов должно быть:  $l_{ж} \leq 2,2 \text{ м}$ . В зависимости от ширины фильтра принимается количество желобов  $n_{ж}$ . Ширина одного желоба определяется по формуле:

$$b_{ж} = K_{ж} \sqrt[5]{\frac{q_{ж}^2}{(1,57 + a_{ж})^3}}, \text{ м}, \quad (7.12)$$

где  $K_{ж}$  – коэффициент формы желоба, принимается: для пятиугольного  $K_{ж} = 2,1$ , для полукруглого  $K_{ж} = 2,0$ ;

$q_{ж}$  - расход промывной воды по одному желобу:

$$q_{жс} = \frac{Q_{np}}{n_{жс}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (7.13)$$

$n_{жс}$  – количество желобов;

$a_{жс}$  – отношение прямоугольной части желоба к половине его ширины, принимается  $a_{жс} = 1 - 1,5$ .

Высота желоба определяется по формуле:

$$h_{жс} = a_{жс} \cdot b_{жс}, \text{ м}. \quad (7.14)$$

Верхние кромки желобов должны быть строго горизонтальны. Лотки желобов должны иметь уклон 0,01 в сторону кармана фильтра.

Верхние кромки желобов должны располагаться над поверхностью фильтрующей загрузки на высоте:

$$\Delta h_{жс} = \frac{H_{\phi} \times a}{100} + 0,3, \text{ м}, \quad (7.15)$$

где  $H_{\phi}$  – высота фильтрующего слоя, м;

$a$  – относительное расширение фильтрующей загрузки, принимаемое в зависимости от типа фильтра и загрузки по табл.7.3.

Ширина кармана фильтра должна быть  $b_{к} \geq 0,7$  м. Расстояние от дна желоба до дна канала определяется по формуле:

$$h_{к} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_{np}^2}{9,81 \cdot b_{к}^2}} + 0,2, \text{ м}. \quad (7.16)$$

### 7.3. Расчет скорых двухслойных открытых фильтров

Двухслойный фильтр отличается от однослойного тем, что его загрузка состоит из антрацита или дробленого керамзита (верхний фильтрующий слой) и кварцевого песка (нижний фильтрующий слой). Характеристики фильтрующих слоев двухслойного фильтра приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.5

**Характеристики фильтрующих слоев двухслойного фильтра**

| Материал загрузки                              | Диаметр зерен, мм |              |               | Коэффициент неоднородности загрузки | Высота слоя $h_c$ , м |
|------------------------------------------------|-------------------|--------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------|
|                                                | минимальный       | максимальный | эквивалентный |                                     |                       |
| Антрацит или дробленый керамзит (верхний слой) | 0,8               | 1,8          | 0,9 – 1,1     | 1,6 – 1,8                           | 0,4 – 0,5             |
| Кварцевый песок (нижний слой)                  | 0,5               | 1,2          | 0,7 – 0,8     | 1,8 – 2,0                           | 0,7 – 0,8             |

При составлении схемы скорого открытого двухслойного фильтра рекомендуется использовать схему однослойного фильтра (рис. 7.1), показав наличие двух фильтрующих слоев. Расчет двухслойного фильтра выполняется в той же последовательности, что и расчет однослойного фильтра. При этом следует учитывать, что в двухслойных фильтрах: скорость фильтрования при нормальном режиме  $V_n = 7 - 10$  м/ч; при форсированном режиме:  $V_f = 8,5 - 12$  м/час; интенсивность промывки  $\omega = 14-16$  л/с·м<sup>2</sup>; продолжительность промывки:  $t = 7 - 6$  мм; величина относительного расширения загрузки:  $a = 50$  %.

Высота фильтрующего слоя:

$$H_\phi = h_{1c} + h_{2c}, \text{ м}, \quad (7.17)$$

где  $h_{1c}$  и  $h_{2c}$  – принимаются из таблицы 7.5.

#### 7.4. Расчет скорых напорных фильтров

Скорые напорные фильтры изготавливаются на заводах серийно, стандартных диаметров. Схема скорого вертикального напорного фильтра приведена на рис. 7.4. Характеристики фильтрующих слоев и технологические параметры процессов промывки напорных фильтров приведены в таблице 7.6.

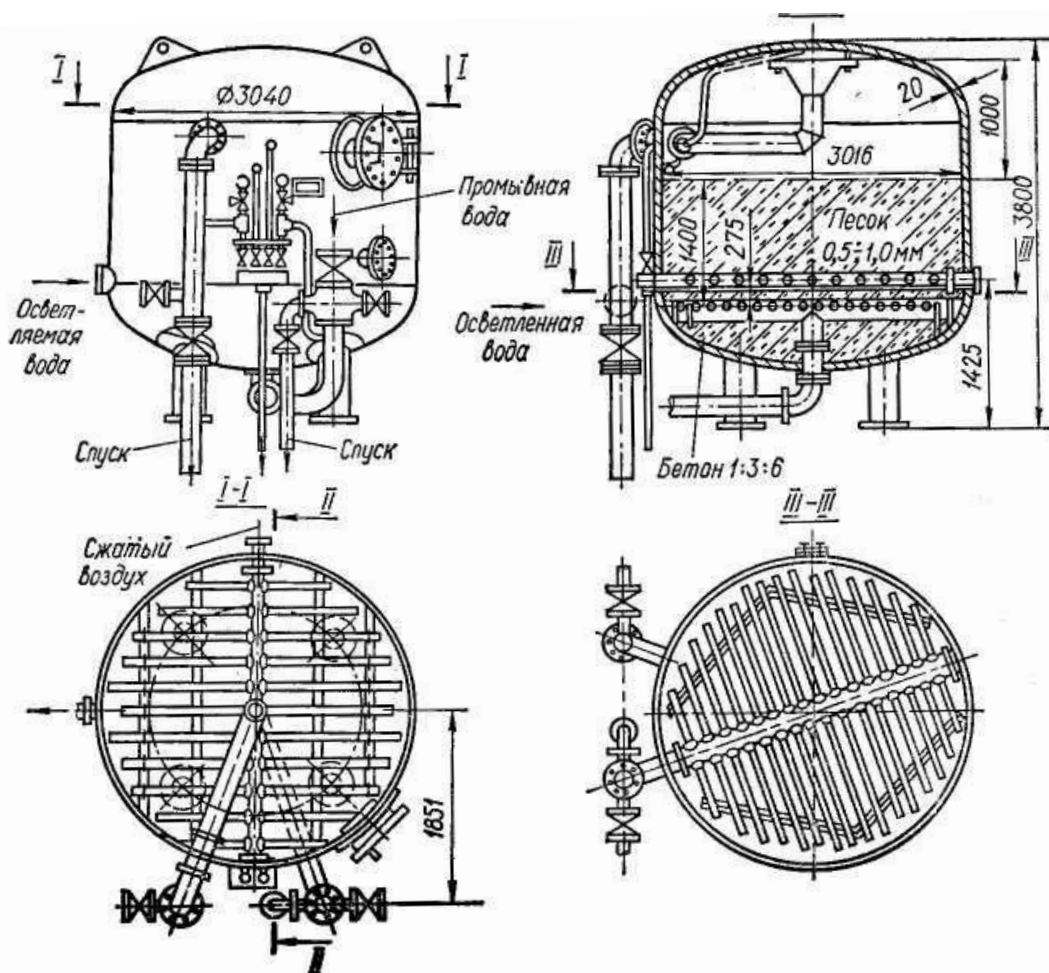


Рис. 7.4. Схема скорого вертикального напорного фильтра

Таблица 7.6

**Технологические характеристики однослойных напорных фильтров**

| Материал загрузки  | Диаметр зерен, мм |     |      | Кэф.неоднородности загрузки | Высота слоя, м | Интенсивность промывки |
|--------------------|-------------------|-----|------|-----------------------------|----------------|------------------------|
|                    |                   |     |      |                             |                |                        |
| Кварцевый песок    | 0,5               | 1   | 0,35 | 2                           | 1,2            | 15                     |
| Мраморная крошка.  | 0,5               | 1   | 0,35 | 2                           | 1,2            | 15                     |
| Дробленый антрацит | 0,8               | 1,5 | 0,6  | 3                           | 1,2            | 10                     |

Осветляемая вода подается на фильтры под напором, создаваемым насосом. Расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме работы напорных фильтров с предварительным отстаиванием воды:  $V_n \leq 8$  м/ч; при форсированном режиме:  $V_\phi \leq 10$  м/ч; без предварительного отстаивания:  $V_n \leq 4$  м/ч;  $V_\phi \leq 5$  м/ч.

Продолжительность промывки напорных фильтров принимается 6 мин, при применении для промывки сжатого воздуха с подачей его через нижний дренаж интенсивность продувки принимается:  $\omega_n = 20$  л/(с·м<sup>2</sup>), продолжительность продувки:  $t_n = 3$  мин.

Общая площадь напорных фильтров определяется по формуле 7.1. Удельный расход воды на промывку одного фильтра без продувки – по формуле 7.2. При продувке (совместно с промывкой) удельный расход воздуха определяется по формуле:

$$q_{n.в.} = 0,06 \cdot \omega_n \cdot t_n, \quad (7.18)$$

При промывке с продувкой время простоя фильтра принимается:  $t_{пр} = 0,5$  часа.

Приближенное количество напорных фильтров определяется по формуле 7.3. Окончательный выбор количества фильтров, их марки и габаритных размеров принимается по таблице 7.7 с учетом выполнения условия по формуле 7.4.

Таблица 7.7

**Номенклатура напорных осветлительных фильтров**

| Наименование фильтра      | Марка            | Площадь фильтрования, м <sup>2</sup> | Диаметр, мм | Высота, мм |
|---------------------------|------------------|--------------------------------------|-------------|------------|
| Вертикальный однокамерный | ФОВ - 1,0 - 6    | 0,7                                  | 1000        | 2964       |
|                           | ФОВ - 1,4 - 6    | 1,5                                  | 1400        | 3392       |
|                           | ФОВ - 1,5 - 6    | 1,7                                  | 1500        | 3357       |
|                           | ФОВ - 2,0 - 6    | 3,1                                  | 2000        | 3630       |
|                           | ФОВ - 2,6 - 6    | 5,3                                  | 2600        | 4015       |
|                           | ФОВ - 3,0 - 6    | 7,0                                  | 3000        | 4385       |
|                           | ФОВ - 3,4 - 6    | 9,0                                  | 3400        | 4545       |
| Вертикальный двухкамерный | ФОВ 2К - 3,4 - 6 | 9,0                                  | 3400        | 5500       |
| Вертикальный трехкамерный | ФОВ 3К - 3,4 - 6 | 9,0                                  | 3400        | 7060       |
| Горизонтальный            | ФОГ - 3,6 - 5,5  | 15                                   | 3000        | 5510       |
|                           | ФОГ - 3,6 - 10,5 | 30                                   | 3000        | 10500      |

## 7.5. Расчет фильтров с плавающей загрузкой (ФПЗ)

Идея создания фильтров с плавающей загрузкой была предложена в 1963 году профессором В.Г.Ильиным. Различные конструкции таких фильтров в России и за рубежом широко внедрялись под руководством профессора М.Г. Журбы [16]

Схемы конструкций ФПЗ приведены на рис. 7.5.

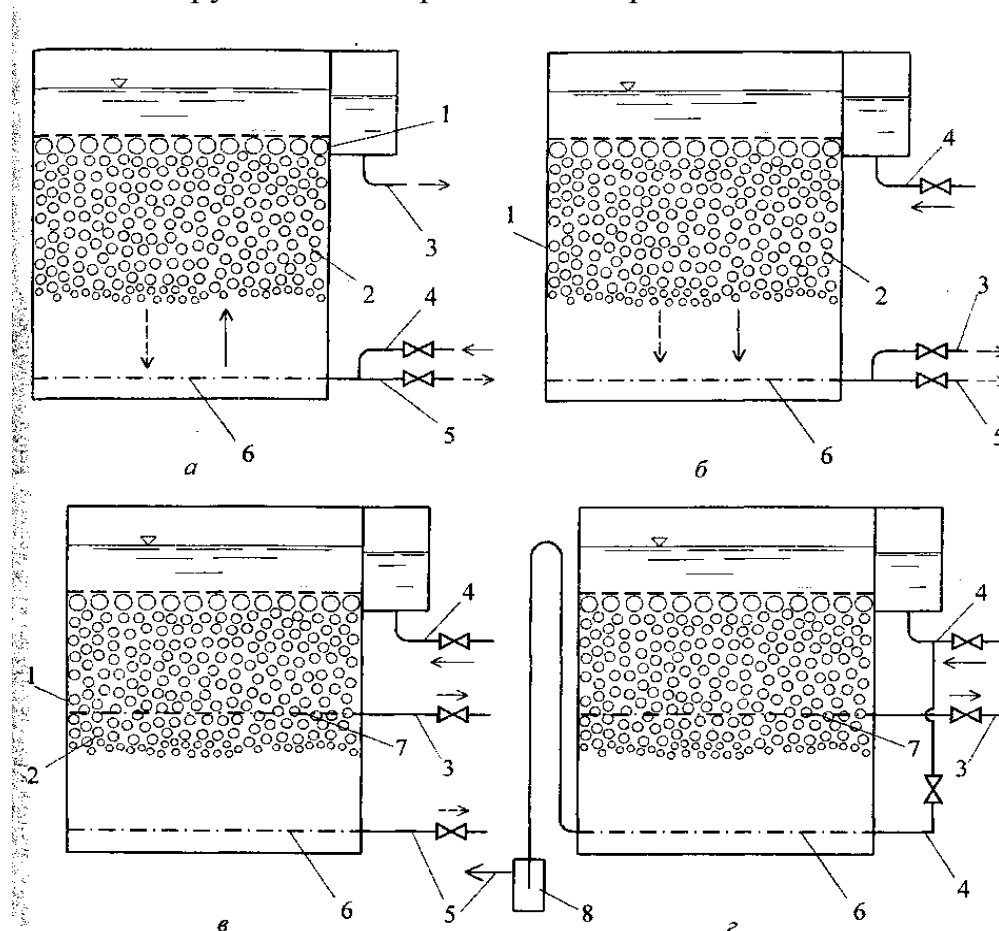


Рис. 7.5. Конструктивные схемы фильтров с плавающей загрузкой

а) ФПЗ-1; б) ФПЗ-3; в) ФПЗ – 4; г) АФПЗ-М:

1- корпус; 2- фильтрующая загрузка; 3 – отвод фильтрата;

4 – подача исходной воды; 5 – отвод промывной воды; 6 – нижняя дренажная система;

7 – средняя дренажная система; 8- система автоматики

Характеристики рабочих параметров ФПЗ приведены в таблице 7.8.

Для промывки фильтров с плавающей загрузкой рекомендуется использовать объем воды, накапливающийся в надфильтровом пространстве. При этом, надфильтровые пространства всех секций фильтров соединены между собой. Таким образом во время промывки одной из секций используется часть общего объема фильтрата работающих секций. При этом должно соблюдаться условие:  $Q_{\text{прит}} > Q_{\text{пром}}$ ,

где  $Q_{\text{прит}}$  - приток фильтрата в общее надфильтровое пространство;

$Q_{\text{пром}}$  – расход промывной воды для промывки одной секции.



Таблица 7.8

### Характеристики рабочих параметров ФПЗ

| Конструкция фильтра | Фильтрование             |                       |                                            |                                             |                           |                                       | Гранулометрический состав          |                    |                  | Промывка                             |            |                                           |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------------------------|------------|-------------------------------------------|
|                     | Скорость<br>фильтрования |                       | Допустимая мутность<br>исходной воды, мг/л | Допустимая цветность<br>исходной воды, мг/л | Мутность фильтра,<br>мг/л | Продолжительность<br>фильтрования, ч. | Вид загрузки                       | Диаметр гранул, мм | Толщина слоя, см | Интенсивность,<br>л/с м <sup>2</sup> | Время, мин | Относительное рас-<br>ширение загрузки, % |
|                     | расчетная,<br>м/ч        | форсированная,<br>м/ч |                                            |                                             |                           |                                       |                                    |                    |                  |                                      |            |                                           |
| ФПЗ- 1              | 0,6-1,5                  | 2,0                   | 50-100                                     | 50                                          | 1,5                       | 24-240                                | Однослой-<br>ная                   | 0,3-0,8            | 70               | 10                                   | 3          | 60                                        |
| ФПЗ-2               | 0,6-1,5                  | 2,0                   | 250-500                                    | 50                                          | 1,5                       | 24-175                                | Двухъярус-<br>ная                  | 0,3-0,8            | 120              | 10-12                                | 3-4        | 60                                        |
|                     | 15-20                    | 25                    | 150                                        | 50                                          | 30                        | 8                                     |                                    | 0,8-1,5            |                  |                                      |            |                                           |
|                     |                          |                       |                                            |                                             |                           |                                       |                                    | 0,5-1,5            |                  |                                      | 4-5        | 40                                        |
|                     |                          |                       |                                            |                                             |                           |                                       |                                    | 2-3                |                  |                                      |            |                                           |
| ФПЗ-6               | 0,6-1,0                  | 1,5                   | 300                                        | 50                                          | 1,5                       | 24-72                                 | Двухслой-<br>ная                   | 0,5-1,5            | 12               | 10                                   | 3-4        | 50                                        |
| ФПЗ-4               | 1-2                      | 3,0                   | 1000                                       | 50                                          | 1,5                       | 24-600                                | Однослой-<br>ная неод-<br>нородная | 0,3-6              | 120              | 12                                   | 4-5        | 60                                        |
|                     | 2-4                      | 5,0                   | 1000                                       |                                             | 30                        | 8-5,0                                 |                                    | 0,3-6              | 100              |                                      |            |                                           |

Общая площадь фильтров ФПЗ определяется по формуле:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{V_n(T - t_{np} \times n_{np})}, \quad (7.19)$$

где  $Q$  – полная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ;

$T$  – продолжительность работы станции в течение суток, час;

$V_n$  – скорость фильтрования при нормальном режиме,  $\text{м}/\text{ч}$ ;

$n_{np}$  – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации, принимается  $n = 1 - 3$ ;

$t_{np}$  – время промывки, час.

При определении количества секций фильтров необходимо учитывать следующие условия:

а) их должно быть не менее двух ;

б) площадь одной секции из экономических соображений рекомендуется в пределах от 20 до 40  $\text{м}^2$ ;

в) должно обеспечиваться условие формулы 7.4.

Требуемая высота слоя воды в надфильтровом пространстве для фильтров с восходящим потоком воды определяется по формулам:

$$h_0 = \frac{\tau_{np}}{N} [q_{np} - V_n(N - 1)] + h_3, \text{ м}; \quad (7.20)$$

для фильтров с нисходящим потоком воды:

$$h_0 = \frac{\tau_{np}}{N} [q_{np} - 0,15V_n(0,6 + N)] + h_3, \text{ м}, \quad (7.21)$$

где  $q_{np}$  – удельный расход на промывку одного фильтра, определяется по формуле 7.2;

$h_3$  – толщина слоя воды над удерживающей решеткой к концу промывки, принимается  $h_3 \geq 1 \text{ м}$ .

Общая высота корпуса фильтра определяется по формуле:

$$H_{\phi} = h_0 + h_1 + D_k + \sum [l_i(1 + e_i) + h_2], \text{ м}, \quad (7.22)$$

где  $h_1$  – превышение строительной высоты над расчетным уровнем воды, м, принимается  $h_1 \geq 0,2 \text{ м}$ ;

$D_k$  – диаметр коллектора сборно-распределительной системы, м, определяется по формуле 7.7;

$l_i$  – толщина  $i$  – го яруса фильтрующей загрузки, м;

$e_i$  – относительное расширение  $i$  – го яруса фильтрующей загрузки при промывке (в долях единицы);

$h_2$  – расстояние между нижней границей верхнего яруса загрузки при промывке и удерживающей решеткой следующего яруса или верхом коллектора сборно-распределительной системы, м, принимается:  $h_2 \geq 0,3 \text{ м}$ .

## 7.6. Расчет крупнозернистых фильтров (КФ)

Крупнозернистые фильтры обычно применяют для частичного осветления воды с предварительной коагуляцией или без нее. Технологические требования к фильтрующей загрузке крупнозернистых фильтров приведены в таблице 7.9.

Таблица 7.9

### Технологические требования к загрузке крупнозернистых фильтров

| Материал загрузки | Крупность зерен загрузки, мм | Коэффициент неоднородности | Высота слоя загрузки, м | Скорость фильтрования, м/ч. |
|-------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Кварцевый песок   | 1-2                          | 1,8                        | 1,5-2,0                 | 10-12                       |
|                   | 1,6-2,5                      | 2                          | 2,5-3                   | 13-15                       |

Крупнозернистые фильтры могут быть открытыми и напорными.

Проектирование открытых КФ производят в той же последовательности, что и скорых однослойных открытых фильтров (см. п.7.2. данного пособия). При этом толщину слоя воды над поверхностью фильтрующей загрузки следует принимать:  $H_b = 1,5$  м.

Проектирование напорных КФ производится так же, как и скорых напорных фильтров (см п.7.4 данного пособия). При расчете КФ принимаются последовательно следующие режимы промывки:

а) взрыхление фильтрующей загрузки воздухом интенсивностью  $15 - 20 \text{ м/с} \cdot \text{м}^2$  в течение 1 минуты;

б) водовоздушная промывка интенсивностью  $3,5 - 5 \text{ л/(с} \times \text{м}^2)$  воды и  $15 - 20 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$  воздуха в течение 5 минут.

в) отмывка водой с интенсивностью  $7-9 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$  в течение 3 минут.

## 7.7. Расчет безреагентных напорных фильтров (БНФ – НИМИ))

Фильтры БНФ- НИМИ предназначены для одноступенчатого осветления природных вод большой мутности (1000-2000 мг/л) до питьевого качества. Принцип действия этих фильтров основан на фильтровании воды через песчаную загрузку скорого вертикального напорного фильтра (рис 7.4) снизу вверх. Исходная вода подается через дренажную систему и, пройдя через фильтрующую загрузку, собирается и отводится в верхней части фильтра. Расчетная скорость фильтрования фильтров БНФ определяется по формуле:

$$V = \frac{A_1 \times A_2 \times H_{\phi} \times K_H}{d_{\phi}}, \text{ м/ч,} \quad (7.23)$$

где  $A_1$ - коэффициент запаса, принимается равным:  $A_1 \leq 0,8$ ;

$A_2$  – коэффициент скорости фильтрования, зависящий от  $K_H$  принимается (по таблице 7.10.);

$H_{\phi}$  - толщина фильтрующей загрузки фильтра.

$K_n$  – эквивалентный диаметр зерен загрузки фильтра, принимается в пределах 3 – 4 мм;

$d_3$  – эквивалентный диаметр зерен загрузки фильтра, принимается в пределах 0,25 – 0,4 мм.

Величина  $V_n$  не должна превышать 2,0 м/час.

Таблица 7.10

**Значения  $A_2$  в зависимости от  $K_n$ .**

| $K_n$                        | 3   | 3,1 | 3,2   | 3,3 | 3,4   | 3,5 | 3,6   | 3,7   | 3,8 | 3,9   | 4,0   |
|------------------------------|-----|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| $A_2 \cdot 10^6 \text{ м/ч}$ | 127 | 126 | 125,5 | 125 | 124,5 | 124 | 123,5 | 123,3 | 123 | 122,6 | 122,5 |

Фильтры БНФ - НИМИ промывают исходной (неочищенной) водой. Расчетная интенсивность промывки:  $\omega = 6-7 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$ . Продолжительность промывки:  $t_1 = 10-12$  мин.

Общая площадь фильтров БНФ - НИМИ определяется по формуле:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{T \times V_n - n \times V_n \times t_2}, \text{ м}^2, \quad (7.24)$$

где  $Q$  – полная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ;

$T$  – продолжительность работы станции в течение суток, час;

$V_n$  – скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч;

$n_{\text{пр}}$  – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации, принимается  $n = 2 - 3$ ;

$t_2$  – продолжительность сброса первого фильтрата, принимается 0,7 – 1,0 час.

Выбор количества фильтров, их марки и габаритных размеров производится так же, как и скорых напорных фильтров (см. п. 7.4 данного пособия).

## 7.8. Расчет медленных фильтров (МФ)

При медленном (пленочном) фильтровании воды на поверхности песчаной загрузки образуется мелкопористая пленка из взвеси, обеспечивающая высокую степень осветления воды. Схема медленного фильтра приведена на рис. 7.6. Крупность зерен загрузки и высоту слоев следует принимать по таблице 7.11. Расчетную скорость фильтрования МФ следует принимать в пределах:  $V_n = 0,1 - 0,2$  м/ч.

Таблица 7.11

**Характеристики фильтрующих слоев медленных фильтров**

| № слоев<br>сверху вниз | Загрузочный материал | Крупность зерен, мм | Высота слоя загрузки |
|------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1                      | Песок                | 0,3 – 1             | 500                  |
| 2                      | Песок                | 1 - 2               | 50                   |
| 3                      | Песок                | 2 – 5               | 50                   |
| 4                      | Гравий или щебень    | 5 – 10              | 50                   |
| 5                      | Гравий или щебень    | 20 – 40             | 50                   |
| 6                      | Гравий или щебень    | 20 - 40             | 50                   |
| ИТОГО:                 | $H_{\phi} = 750$     |                     |                      |

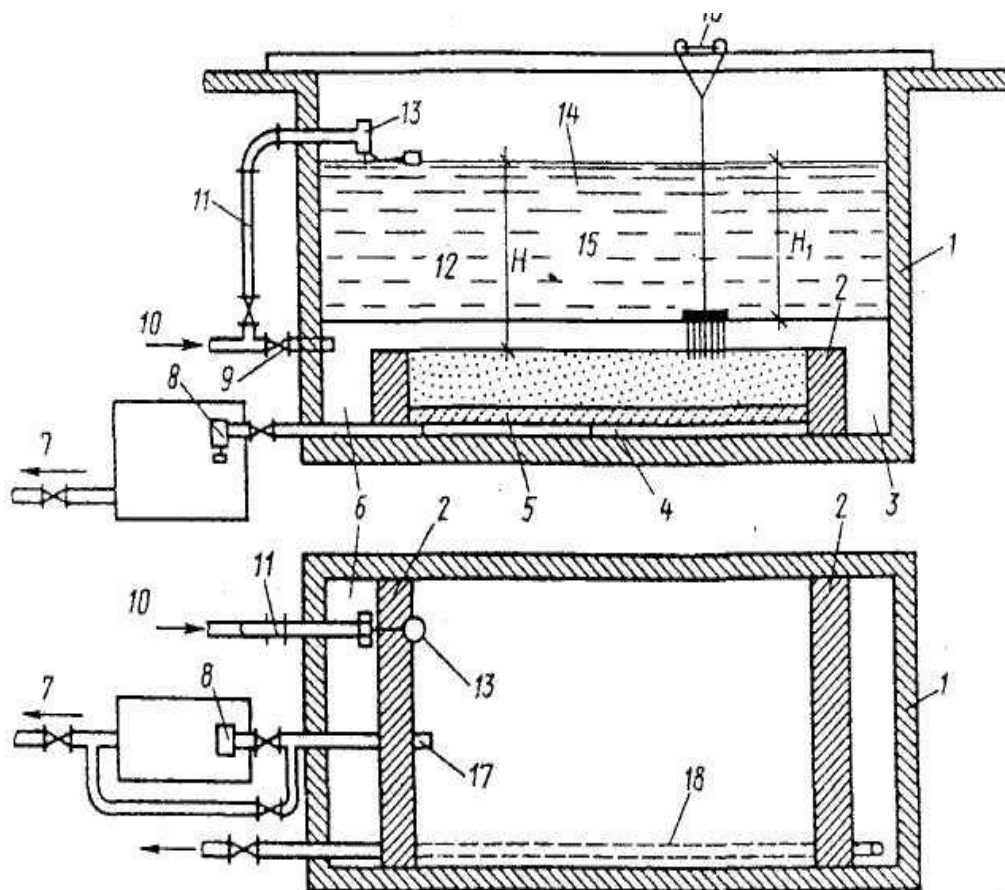


Рис. 7.6. Схема медленного фильтра конструкции НИМИ:

- 1 – корпус фильтра; 2 – водонепроницаемые перегородки; 3 – карман для сбора промывной воды; 4 – подфильтровочное пространство для сбора и отвода фильтрата; 5 – дренажные плиты; 6 – карман для поступления промывной воды; 7 – поступление воды в резервуар чистой воды; 8 – регулятор скорости фильтрования; 9 – трубопровод промывной воды; 10 – трубопровод исходной воды; 11 – подача исходной воды на фильтр через поплавковый клапан; 12 – уровень воды в фильтре во время его промывки; 13 – поплавковый клапан; 14 – уровень воды во время фильтрования; 15 – фильтрующий слой; 16 – рыхлитель песка; 17 – сборный трубопровод фильтровальной воды; 18 – трубопровод отвода промывной воды

Крупность зерен загрузки и высоту слоев следует принимать по таблице 7.12. Расчетную скорость фильтрования МФ следует принимать в пределах:  $V_n = 0,1 - 0,2$  м/ч.

Удельная очистительная способность МФ за один фильтроцикл определяется по формуле:

$$H_{оч} = \frac{\Gamma_{мин}}{M_{мин}}, \text{ м}, \quad (7.25)$$

где  $\Gamma_{мин} = 1000 - 2000$  г/м<sup>2</sup> – минимальная грязеемкость МФ.;

$M_{мин}$  – минимальная мутность исходной воды, г/м<sup>3</sup>.

Продолжительность периода полезной фильтрации:

$$T_n = \frac{H_{оч}}{V_n}, \text{ час.} \quad (7.26)$$

Продолжительность фильтроцикла:

$$T_\phi = T_n + t_{оч}, \text{ час,} \quad (7.27)$$

где  $t_{оч}$  - продолжительность периода очистки и созревания фильтра, час. Принимается  $t_{оч} = 6 - 8$  час.

Суммарная площадь медленных фильтров определяется по формуле:

$$F = \frac{Q \times T_\phi}{V_n \times T_n}, \text{ м}^2, \quad (7.28)$$

где  $Q$  – полная производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ ;

$T_\phi$  – продолжительность фильтроцикла, час;

$V_n$  – скорость фильтрования при нормальном режиме,  $\text{м}/\text{ч}$ ;

$T_n$  – продолжительность периода полезной фильтрации, час.

Количество МФ должно быть не менее трех. При этом ширина фильтра:  $B \leq 6$  м, а его длина:  $L \leq 60$  м.

Общая высота медленного фильтра определяется по формуле:

$$H = H_\phi + H_1 + H_2, \text{ м,} \quad (7.29)$$

где  $H_\phi$  – толщина слоя загрузки, м;

$H_1 \geq 1,5$  м – слой воды над поверхностью загрузки;

$H_2 \geq 0,5$  м – строительная высота над слоем воды.

Общий расход воды для смыва загрязнений при промывке одного фильтра МФ определяется по формуле:

$$Q_{np} = \frac{f \times \omega}{1000}, \text{ м}^3/\text{с,} \quad (7.30)$$

где  $f = B \cdot L$  – площадь одного фильтра,  $\text{м}^2$ ;

$\omega$  – расход воды на один смыв загрязнений с  $1 \text{ м}^2$  поверхности загрузки фильтра, принимается  $9 \text{ л}/\text{с}$ .

Объем воды, требуемый для одной промывки:

$$W = Q_{np} \cdot t, \text{ м}^3, \quad (7.31)$$

где  $t$  – продолжительность смыва загрязнений, сек.:  $t = 18 \times L$ ;

$L$  – длина фильтра, м.

На промывку расходуется часть объема воды, расположенного над фильтрующей загрузкой ( $W_1$ ), и дополнительный объем, который хранится в подземном резервуаре ( $W_2$ )

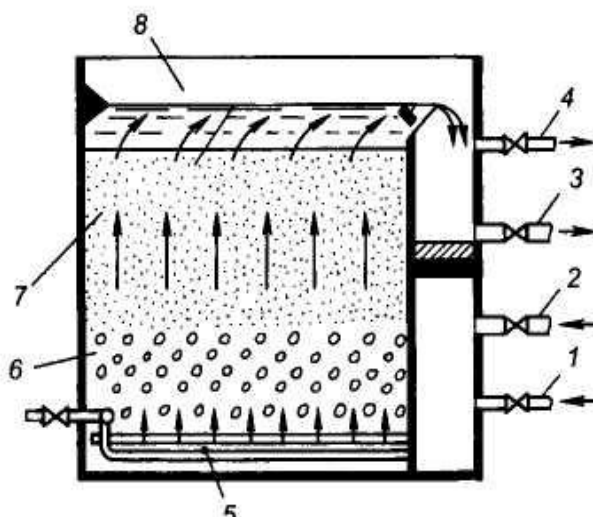
$$W_1 = f(H_1 - 0,12), \text{ м}^3, \quad (7.32)$$

$$W_2 = W - W_1, \text{ м}^3. \quad (7.33)$$

## 7.9. Расчет контактных осветлителей (КО)

Схема контактного осветлителя приведена на рис.7.7.

Рис.7.7. Схема контактного осветлителя:  
1,2 – трубопроводы для подачи промывной и осветляемой воды;  
3,4 – трубопроводы для отвода промывной и осветленной воды;  
5 – распределительная система из перфорированных труб;  
6 – гравий; 7 – песок; 8 – желоб



Основные характеристики загрузки и расчетные параметры КО приведены в таблицах 7.12 и 7.13.

Таблица 7.12

### Характеристика загрузки КО

| Название слоя                           | Крупность зерен, мм | Толщина слоев, мм |            |
|-----------------------------------------|---------------------|-------------------|------------|
|                                         |                     | КО - 1            | КО - 3     |
| Поддерживающий слой                     | 40 – 20             |                   | 0,2 – 0,25 |
|                                         | 20 – 10             |                   | 0,1 – 0,15 |
|                                         | 10 – 5              |                   | 0,15 – 0,2 |
| Фильтрующий слой                        | 5 – 2               | 0,5 – 0,6         | 0,3 – 0,4  |
|                                         | 2 – 1,2             | 1,0 – 1,2         | 1,2 – 1,3  |
|                                         | 1,2 – 0,7           | 0,8 – 1,0         | 0,8 – 1,0  |
| Эквивалентный диаметр фильтрующего слоя |                     | 1,0 – 1,3         | 1,0 – 1,3  |

Таблица 7.13

### Технологические показатели КО

| Показатели                                                                                                         | Ед. измер.            | КО - 1            | КО - 3                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------------------------------------|
| Скорость фильтрования при нормальном режиме, $V_n$                                                                 | м/ч                   | 4 – 5             | 5 – 5,5                                            |
| Скорость фильтрования при форсированном режиме, $V_f$                                                              | м/ч                   | 5 – 5,5           | 5,5 – 6                                            |
| Вид промывки                                                                                                       | -                     | водой             | водой и воздухом                                   |
| Продолжительность промывки (продувки), t                                                                           | мин.                  | 7 – 8             | I этап: 1 – 2<br>II этап: 6 – 7<br>III этап: 4 – 6 |
| Интенсивность подачи воздуха, $\omega_1$                                                                           | л/(с*м <sup>2</sup> ) | -                 | I этап: 18 – 20<br>II этап: 18 – 20                |
| Интенсивность подачи воды, $\omega_2$                                                                              | л/(с*м <sup>2</sup> ) | 14 – 16           | II этап: 2 – 3<br>III этап: 5,5 – 6,5              |
| Продолжительность сброса первого фильтрата при промывке очищенной водой, $\tau$<br>то же неочищенной водой, $\tau$ | мин.<br>мин.          | 5 – 10<br>10 – 15 |                                                    |

Общая площадь КО определяется по формуле:

$$F_{КО} = \frac{Q}{T \times V_n - n_{пр} \times \left( q_{пр} + t_n \times V_n + \frac{\tau \times V_n}{60} \right)}, \text{ м}^2, \quad (7.34)$$

где  $Q$  – полная производительность водоочистной станции, м<sup>3</sup>/сут;

$T$  – продолжительность работы станции в течение суток, час;

$n_{пр}$  – число промывок одного КО в сутки, принимается  $n = 2 - 3$ ;

$q_{пр}$  – удельный расход воды на промывку одного КО, м<sup>3</sup> воды на м<sup>2</sup> площади КО. Определяется по формуле 7.2.

Количество КО, площадь каждого из них и размеры в плане, а также расчет дренажной системы определяются так же, как для однослойных открытых фильтров (см. п.7.2 данного пособия).

При расчете промывной системы следует учитывать, что использование неочищенной воды допускается только в тех случаях, когда мутность исходной воды не превышает 10 мг/л и перед КО вода очищается на барабанных сетках или микрофильтрах, а также обеззараживается. В остальных случаях предусматривается для промывки использование очищенной воды.

Ширина сборного канала принимается не менее 0,7 м, а его глубина – не менее 1,2 м.

Общая высота КО определяется по формуле:

$$H_{КО} = h_1 + h_2 + h_3, \text{ м}, \quad (7.35)$$

где  $h_1$  – общая высота поддерживающего и фильтрующего слоев, м;

$h_2$  – высота слоя воды над поверхностью фильтрующей загрузки, м. Принимается  $h_2 = 1 - 1,1$  м;

$h_3$  – превышение строительной высоты над уровнем воды, м. Принимается:  $h_3 \geq 0,5$  м.

### 7.10. Расчет контактных префильтров (КП)

Контактные префильтры применяют для предварительной очистки воды перед ее подачей на скорые фильтры. Конструкция КП аналогична конструкции КО - 3, методика проектирования которых приведена в п. 7.9. данного пособия. При этом следует принимать следующие параметры:

высоту слоев песка при крупности зерен: 5 - 2 мм – 0,5 - 0,6 м; при крупности зерен 2 - 1мм – 2 - 2,3 м; эквивалентный диаметр зерен песка – 1,1 - 1,3 мм; скорость фильтрования при нормальном режиме:  $V_n = 5,5 - 6,5$  м/ч; при форсированном режиме:  $V_{\phi} = 6,5 - 7,5$  м/ч.

### 7.11. Проектирование сооружений с установками «Струя»

Установки «Струя» (рис. 7.8) используют для осветления и обесцвечивания поверхностных вод с мутностью до 1000 мг/л цветностью до 120 град. и пропускной способностью до 800 м<sup>3</sup>/сут. Эти установки можно использовать в схемах с коагулированием и без коагулирования.

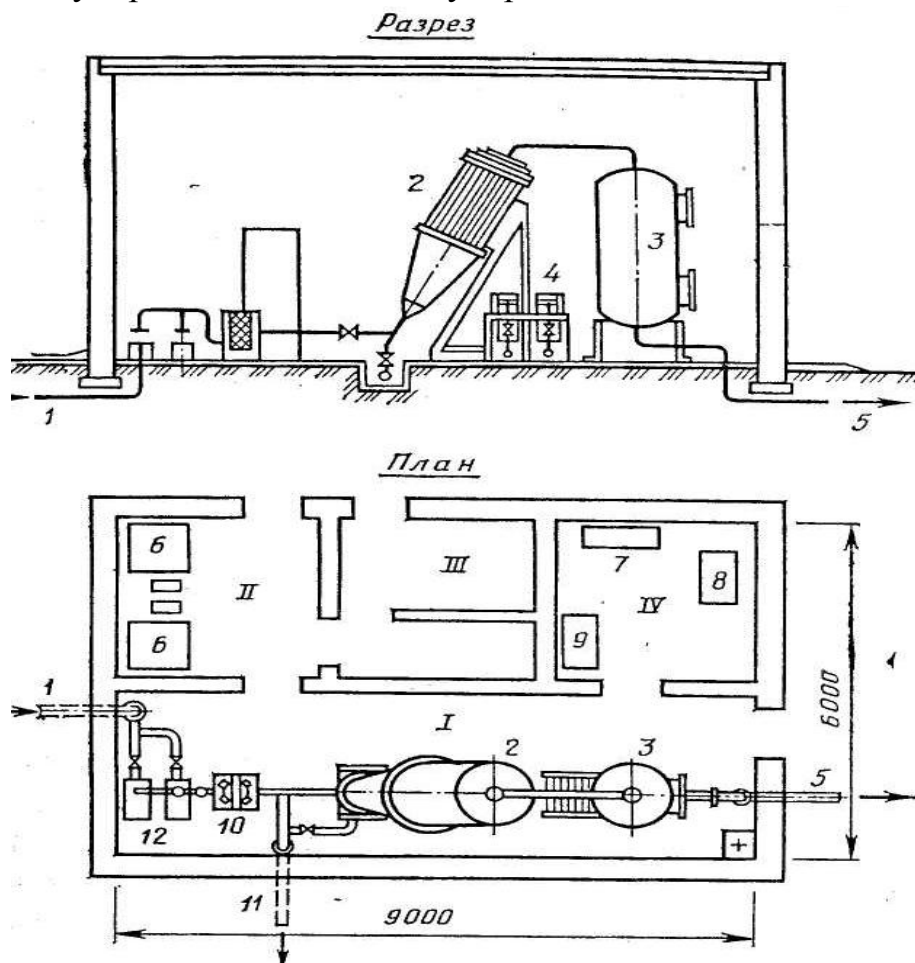


Рис. 7.8. Установка «Струя» производительностью 100 м<sup>3</sup>/сут:

1 – исходная вода; 2 – трубчатый отстойник; 3 – напорный фильтр;  
4 – насосы-дозаторы; 5 – осветленная вода; 6 – электролизеры; 7 – верстак;  
8 – калорифер; 9 – шкаф; 10 – сетчатый фильтр; 11 – сброс промывной воды; 12 – насосы

Количество установок «Струя» определяется в зависимости от полной производительности сооружений и технических характеристик установок заводского изготовления, приведенных в табл. 7.14.

Таблица 7.14

#### Технические характеристики установок «Струя»

| Показатели                                  | Марки установок |                |               |                |
|---------------------------------------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|
|                                             | «Струя – 100»   | «Струя – 1002» | «Струя – 400» | «Струя – 1002» |
| Пропускная способность м <sup>3</sup> /сут: |                 |                |               |                |
| с коагулированием                           | 100             | 200            | 400           | 800            |
| без коагулирования                          | 25              | 50             | 100           | 200            |
| Размеры здания, м                           | 9×9             | 9×12           | 9×12          | 9×15           |

## **8. Гибкое управление процессами осветления и обесцвечивания воды**

### **8.1. Оценка гибкости процессов осветления и обесцвечивания воды**

Поверхностные воды, подлежащие осветлению и обесцвечиванию с применением процессов коагуляции, являются многокомпонентными стохастическими системами. Особенностью таких систем является одновременное существование в микрообъеме воды значительного количества процессов и элементарных реакций, сопряженных между собой. При этом процессы в данном микрообъеме имеют коллективный характер и плохо поддаются измерению. Известно, например, что для маломутных цветных вод гуминовые кислоты являются основными примесями. Только с использованием процессов коагуляции возможно их удаление из воды [17].

Согласно гипотезе Севилла и Миллера, обесцвечивание воды объясняется взаимной коагуляцией противоположно заряженных коллоидов цветности и продуктов гидролиза коагулянта [18]. Основной характеристикой устойчивости взвеси в воде является дзета-потенциал. В процессе измерений дзета-потенциала взвеси в воде, поступающей на водоочистные сооружения г. Вологды, выполненных в разные сезоны 2002, 2003 и 2004 годов было установлено, что дисперсные частицы обладают отрицательным зарядом, который характеризуется величиной дзета-потенциала в пределах от -32 до -46 мВ. Это доказывает необходимость использования процессов коагуляции для обесцвечивания данной воды в течение всего года, так как величина дзета-потенциала, характерная для верхнего порога коагуляции, обычно не превышает -30 мВ. Кроме того, интенсификация процессов коагуляции возможна в первую очередь при применении непрерывного автоматического контроля устойчивости взвеси в воде, подаваемой на водоочистные сооружения, а затем путем обеспечения возможностей оперативного управления процессами на всех стадиях коагуляции.

Для достижения высокой эффективности процесса коагуляции необходимо выполнить два основных условия:

1. Обеспечить ввод в воду реагентов и процесс их равномерного распределения по всему объему воды таким образом, чтобы в соответствующем сооружении (например, в смесителе) величина устойчивости взвеси была уменьшена до показателя, характеризующего нижний порог коагуляции. В этом случае наиболее надежными и удобными, с точки зрения возможности измерения, являются электрофоретическая подвижность или дзета-потенциал взвеси.

2. Обеспечить интенсивное образование хлопьев с таким расчетом, чтобы их качество (размеры, плотность и т. д.) позволило бы создать условия для эффективного задержания (удаления) этих хлопьев.

Для оценки выполнения первого условия и создания возможности управления процессом коагуляции предлагается ввести показатели гибкости каждой составляющей процесса. Количество и характер таких показателей зависит от технологических и организационных особенностей используемых сооружений. В частности, в схемах, где используются смесительные устройства, предлагается использовать показатель гибкости процесса смешения коагулянта с водой ( $\Gamma_{пск}$ ). Величина этого показателя должна зависеть от соответствия величины дзета-потенциала взвеси в воде на выходе из смесителя величине нижнего порога коагуляции:

$$\Gamma_{пск} = \frac{\zeta_{нпк}}{\zeta_v}, \quad (8.1)$$

где  $\zeta_{нпк}$  - величина дзета-потенциала, соответствующая нижнему порогу коагуляции воды. Эта величина была определена в процессе цикла экспериментальных исследований. Для условий г. Вологды составляет примерно – 18 мВ;

$\zeta_v$  - величина дзета-потенциала взвеси в воде на выходе из смесителя.

Если  $\zeta_v \leq \zeta_{нпк}$ , то  $\Gamma_{пск} = 1$ . В остальных случаях, чем больше разница между  $\zeta_v$  и  $\zeta_{нпк}$ , тем меньше гибкость процесса смешивания воды с реагентом.

Для оценки выполнения второго условия предлагается использовать показатель гибкости процесса хлопьеобразования ( $\Gamma_{пхо}$ ):

$$\Gamma_{пхо} = \frac{R_{вых}}{R_{норм}}, \quad (8.2)$$

где  $R_{норм}$  – нормативная гидравлическая крупность взвеси в воде после завершения процесса коагуляции. Этот показатель должен определяться на основании технологических исследований. Он зависит от конструкций используемых сооружений и для этих сооружений должен быть постоянным.

$R_{вых}$  – гидравлическая крупность взвеси в воде на выходе из сооружения, мм/с.

Таким образом, если с помощью показателя оперативной гибкости ( $\Gamma_{оп}$ ) можно оценивать возможности существующих технологических схем, то предлагаемые показатели  $\Gamma_{пск}$  и  $\Gamma_{пхо}$  позволяют оценивать эффективность основных составляющих процесса коагуляции маломутных цветных вод.

## 8.2. Гибкое управление процессами очистки воды коагуляцией

В настоящее время наиболее распространенным является способ регулирования процесса коагуляции воды, основанный на определении оптимальной дозы коагулянта [19]. Этот способ осуществляется преимущественно в

лабораторных условиях путем визуального наблюдения за процессами образования хлопьев в стеклянных цилиндрах с исходной водой, в которые добавляются различные дозы коагулянта. При этом фиксируются различные стадии процесса коагуляции (помутнение, образование мелких хлопьев, крупных хлопьев, начало осаждения). Этот способ является продолжительным, трудоемким и неточным, так как не учитываются реальные условия (температура воды, скорости ее движения в объемах сооружений, равномерность распределения раствора коагулянта по объему обрабатываемой воды и другие). Кроме того, при осуществлении этого способа невозможно следить за ходом процесса коагуляции и осаждения коагулированной взвеси в режиме реального времени, а, следовательно, невозможно обеспечивать гибкое управление процессом коагуляции. Таким образом, данный способ является недостаточно надежным.

Более точным и надежным является способ определения оптимальной дозы коагулянта по дзета–потенциалу взвешенных в воде частиц [20]. Кроме того, этот способ с теоретической точки зрения считается наиболее оправданным, так как «величина дзета–потенциала частицы определяет ее способность к коагуляции и во многих случаях является основным критерием полноты протекания процесса» [18, с. 29]. Однако при осуществлении этого способа также невозможно следить за ходом процесса коагуляции и осаждения коагулированной взвеси в режиме реального времени, а, следовательно, невозможно обеспечивать гибкое управление процессом коагуляции.

В ВоГТУ разработан новый способ гибкого регулирования процесса коагуляции воды в технологических схемах: смеситель – камера хлопьеобразования – отстойник – скорый фильтр [21]. Этот способ заключается в следующем:

В пробе исходной воды, поступающей в смеситель, используя известные экспресс–способы седиментационного анализа взвеси [22] и определения электрофоретической подвижности частиц этой взвеси [23], определяют мутность взвеси  $M_1$ , ее гидравлическую крупность  $ГК_1$ , а также скорости движения частиц взвеси в вертикальном направлении сверху – вниз в постоянном электрическом поле ( $I_1$ ) и без воздействия постоянного электрического поля ( $I_2$ ), а затем вычисляют электрофоретическую скорость движения частиц  $I_{э1}$ . По величине  $I_{э1}$  принимают первоначальную дозу коагулянта  $D_{к1}$ . Затем, через промежуток времени  $t_c$  (время пребывания воды в смесителе) определяют таким же образом электрофоретическую скорость движения частиц  $I_{э2}$  на выходе воды из смесителя. В соответствии с величиной  $I_{э2}$ , при необходимости, производится корректировка дозы коагулянта, причем такая корректировка может производиться неоднократно (например,  $D_{к2}$ ,  $D_{к3}$ ). Определение первоначальной дозы коагулянта  $D_{к1}$  и корректировка  $D_{к2}$  и  $D_{к3}$  производятся на основании сравнения соответствующих электрофоретических скоростей движения частиц  $I_{э1}$ ,  $I_{э2}$  и т.д. с электрофоретической скоростью движения частиц,

характеризующей нижний порог коагуляции  $I_{\text{эпнк}}$ . Затем определяется гидравлическая крупность частиц взвеси в камере хлопьеобразования (КХО) сначала через промежуток времени  $t_{\text{кхо}1}$ , соответствующий по технологическому регламенту времени помутнения и начала образования мелких хлопьев, а также определяется мутность взвеси  $M_2$  и гидравлическая крупность взвеси  $ГК_2$ , а через промежуток времени  $t_{\text{кхо}2}$ , соответствующий по технологическому регламенту времени начала образования крупных хлопьев, определяется гидравлическая крупность взвеси  $ГК_3$ . После этого через промежуток времени  $t_{\text{кхо}3}$ , соответствующий по технологическому регламенту времени выхода воды из камеры хлопьеобразования, определяют гидравлическую крупность взвеси  $ГК_4$  и концентрацию взвеси  $M_3$ . По этим величинам, при необходимости, корректируется режим работы КХО и определяется режим работы отстойника.

Такие измерения производятся циклами. Периодичность циклов измерений назначается в соответствии с технологическим регламентом эксплуатации сооружений в зависимости от изменчивости качества исходной воды.

Предложенный способ обладает следующими преимуществами:

- повышение надежности очистки воды коагуляцией;
- уменьшение расхода реагентов;
- уменьшение содержания остаточных реагентов в очищенной воде;
- обеспечение гибкого управления процессом коагуляции в режиме реального времени.

Схема гибкого управления процессами очистки воды коагуляцией приведена на рис. 8.1.

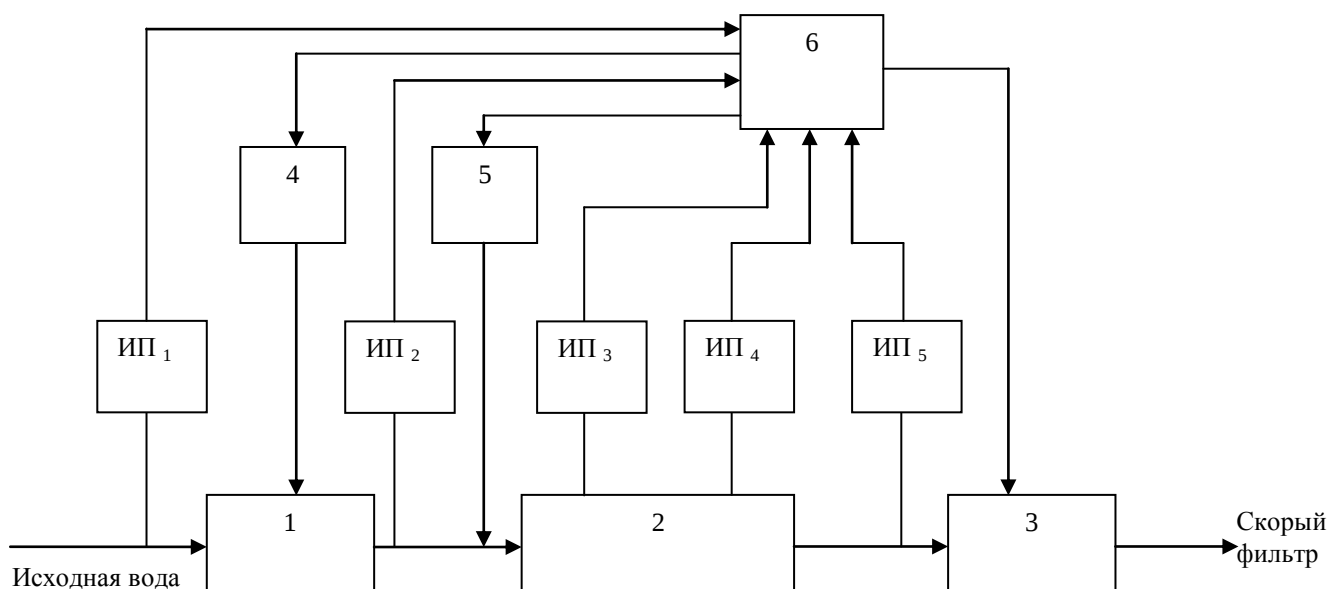


Рис.8. 1. Схема гибкого управления процессами очистки воды коагуляцией:

1 – смеситель; 2 – камера хлопьеобразования; 3 – отстойник;

4 – дозатор коагулянта; 5 – дозатор флокулянта; 6 – блок управления;

ИП – измерительные автоматические устройства.

ИП<sub>1</sub> – измеряет  $I_{\text{э}1}$ ;  $M_1$ ;  $ГК_1$ ; ИП<sub>2</sub> – измеряет  $I_{\text{э}2}$ ; ИП<sub>3</sub> – измеряет  $M_2$ ;  $ГК_2$ ;

*ИП<sub>4</sub> – измеряет  $GK_3$ ; ИП<sub>5</sub> – измеряет  $M_3$ ;  $GK_4$*

### **8.3. Гибкое управление процессами очистки воды на контактных осветлителях**

В ВоГТУ для усовершенствования и упрощения технологической схемы подготовки питьевой воды в контактных осветлителях разработана принципиально новая система гибкого управления, позволяющая обеспечивать автоматическое управление процессами коагуляции воды в контактных осветлителях в режиме реального времени [24].

Перед поступлением воды в смеситель при осуществлении процесса осветления и обесцвечивания воды производятся в режимах реального времени экспресс-измерения цветности, мутности, щелочности и электрофоретической скорости движения частиц взвеси сверху вниз в исходной воде, затем на выходе воды из смесителя перед поступлением её в контактный осветлитель производятся экспресс-измерения электрофоретической скорости движения частиц взвеси сверху вниз и остаточного коагулянта. После этого производятся экспресс-измерения остаточного коагулянта по пути движения воды через фильтрующую загрузку контактного осветлителя не менее, чем в двух точках, а на выходе воды из контактного осветлителя выполняются экспресс-измерения цветности и мутности воды. На основании такого экспресс-контроля обеспечивается определение первоначальной дозы коагулянта, с последующим ее корректированием в соответствии со способом [21], а также регулирование скорости фильтрования воды в контактном осветлителе и переключение с режима фильтрования на режим промывки фильтрующей загрузки. При режиме промывки производится в режиме реального времени седиментационный экспресс-анализ взвеси на выходе из контактного осветлителя и, на его основе, регулируются время и интенсивность промывки фильтрующей загрузки.

Основным недостатком способа [21] в отношении технологической схемы смеситель – контактный осветлитель является то, что его можно использовать для регулирования процесса только на первой стадии коагуляции, когда обеспечивается изменение агрегативной устойчивости взвеси, а последующие стадии – процессы образования и удаления хлопьев в стесненных условиях контактного осветлителя, а также процессы переключения с режима фильтрования на режим промывки фильтрующей загрузки и процесс управления режимом промывки остаются неуправляемыми.

Регулирование скорости фильтрования на основании экспресс-контроля в режиме реального времени величины остаточного коагулянта в воде, поступающей в контактный осветлитель, и в объеме его фильтрующей загрузки, не менее, чем в двух уровнях, позволяет повысить надежность и оптимизировать технологические процессы образования хлопьев и их задержания в порах фильтрующей загрузки контактных осветлителей, а также увеличить их производительность.

Переключение с режима фильтрации на режим промывки на основе экспресс-контроля цветности, мутности и щелочности исходной воды, а также цветности и мутности воды на выходе из контактного осветлителя дает возможность повысить надежность и оптимизировать технологические процессы промывки, а также увеличить производительность сооружений.

В технологическом регламенте эксплуатации водоочистных сооружений на основании предварительных технологических испытаний устанавливается грязеемкость фильтрующей загрузки контактного осветлителя ( $\Gamma$ ). В данном случае под грязеемкостью понимается максимальная масса загрязнений, задерживаемых в фильтрующей загрузке, при достижении которой контактный осветлитель необходимо переключить на режим промывки.

Для определения времени переключения с режима фильтрации на режим промывки осуществляется сравнение величины  $\Gamma$  с величиной  $\Gamma_p$ , где  $\Gamma_p$  – величина реального загрязнения фильтрующей загрузки в данный момент времени, которая определяется по формуле:

$$\Gamma_p = \sum[(C_1 - C_2) \times T_i] \times K, \quad (8.3)$$

где  $C_1$  – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в контактный осветлитель;

$C_2$  – концентрация взвешенных веществ в воде на выходе из контактного осветлителя;

$T_i$  – промежутки времени между циклами измерений;

$K$  – коэффициент запаса (устанавливается на основании предварительных технологических испытаний в технологическом регламенте эксплуатации водоочистных сооружений).

Величина  $C_1$  определяется в соответствии с п.6.65 [11] по формуле:

$$C_1 = M + K_k \times D_k + 0,25Ц + B_{\text{н}}, \quad (8.4)$$

Где  $M$  – мутность исходной воды;

$K_k$  – коэффициент, характеризующий вид используемого коагулянта;

$D_k$  – доза коагулянта по безводному продукту;

$Ц$  – цветность исходной воды;

$B_{\text{н}}$  – количество нерастворимых веществ, вводимых в исходную воду с подщелачиваемым реагентом.

Величина  $C_2$  определяется по формуле:

$$C_2 = M_1 + K_k \times D_1 + 0,25Ц_1, \quad (8.5)$$

где  $M_1$  и  $Ц_1$  – соответственно мутность и цветность очищенной воды на выходе из контактного осветлителя;

$D_1$  – величина остаточного коагулянта в воде на выходе из контактного осветлителя.

Для обеспечения соответствия результатов экспресс-контроля цветности, мутности и щелочности исходной воды результатам экспресс-контроля

цветности, мутности и остаточного коагулянта на выходе из контактного осветлителя (в режиме реального времени для одного и того же объема воды) промежутком времени между измерениями определялся по формуле:

$$T_{\text{общ.}} = T_{\text{см}} + (H_1 + H_2)/V, \quad (8.6)$$

где  $T_{\text{см}}$  – время пребывания воды в смесителе;

$H_1$  – толщина фильтрующего слоя в контактном осветлителе;

$H_2$  – толщина надфильтрового слоя воды в контактном осветлителе;

$V$  – скорость фильтрования в момент проведения экспресс-контроля на выходе из контактного осветлителя.

Регулирование времени и интенсивности промывки фильтрующей загрузки на основе седиментационного экспресс-анализа взвеси на выходе из контактного осветлителя в режиме реального времени позволяет обеспечить практически полную очистку фильтрующей загрузки от задержанной взвеси. Это, в свою очередь, дает возможность повысить надежность работы сооружений и обеспечить условия, при которых не потребуется сбрасывать первый фильтрат в канализацию.

На рис. 8.2 показана схема устройства для гибкого регулирования процессов очистки воды в контактных осветлителях

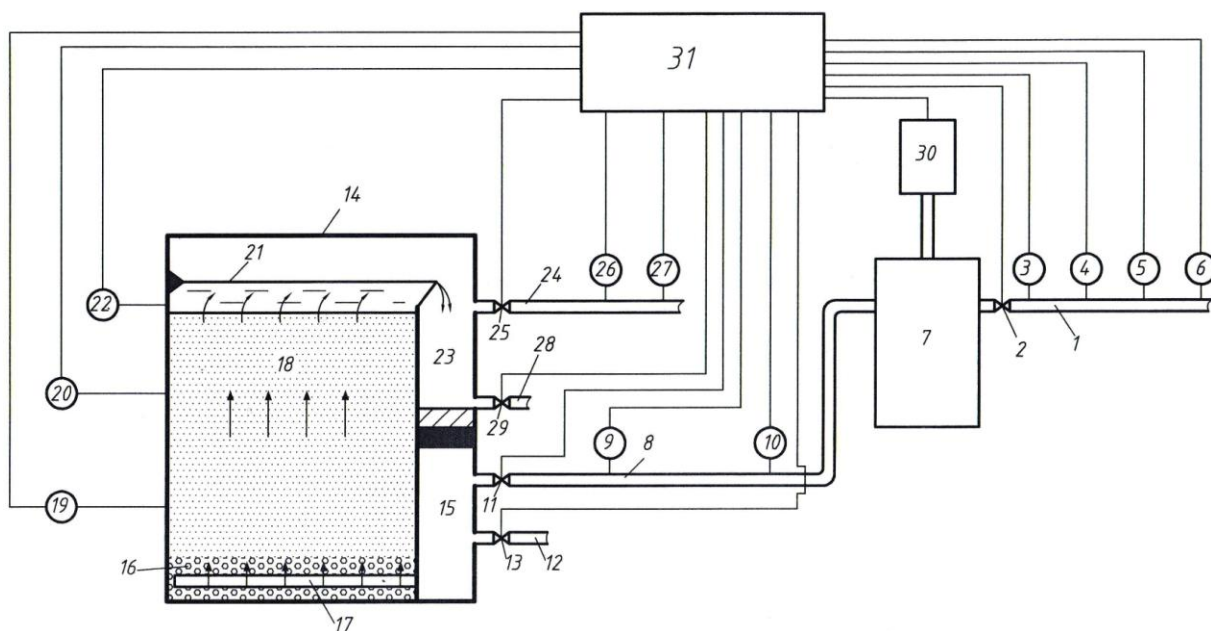


Рис. 8.2. Схема устройства для гибкого регулирования процессов очистки воды в контактных осветлителях

Устройство содержит трубопровод подачи исходной воды 1 с расположенными на нем электрифицированной задвижкой 2, датчиками мутности 3, цветности 4, щелочности 5 и электрофоретической скорости 6; смеситель 7; трубу подачи очищаемой воды 8 с расположенными на ней датчиками коагулянта 9, электрофоретической скорости 10 и электрифицированной задвижкой 11.

кой 11; трубопровод подачи промывной воды 12 с электрифицированной задвижкой 13. Устройство также содержит контактный осветлитель 14, который состоит из нижнего кармана 15, поддерживающего слоя 16, внутри которого расположена распределительная система из перфорированных труб 17, фильтрующего слоя 18, к которому подсоединены датчики остаточного коагулянта 19 и 20, расположенные в двух уровнях, переливной желоб 21, к которому подсоединен седиментометр 22 и верхний карман 23, соединенный с трубопроводом отвода очищенной воды 24, на котором расположены электрифицированная задвижка 25, датчик мутности 26 и датчик цветности 27. Кроме того, верхний карман 23 соединен с трубопроводом отвода промывной воды 28, на котором расположена электрифицированная задвижка 29. В состав устройства входят также дозатор коагулянта 30 и блок автоматического управления 31, соединенный проводниками со всеми датчиками, электрифицированными задвижками и дозатором коагулянта.

Устройство для очистки воды методом контактной коагуляции работает следующим образом.

В соответствии с технологическим регламентом эксплуатации устройства в блок автоматического управления 31 введены следующие уставки:

- время пребывания воды в смесителе  $T_c$
- начальная скорость фильтрования  $V$ ;
- минимальная допустимая скорость фильтрования  $V_{\min}$  (рекомендуется 4 м/час);
- максимальная допустимая скорость фильтрования  $V_{\max}$ , устанавливается на основании предварительно проведенных исследований;
- шаг регулирования скорости фильтрования, определяется на основании предварительно проведенных исследований;
- максимальная допустимая величина остаточного коагулянта на уровне датчика 19, определяется на основании предварительно проведенных исследований;
- максимальная допустимая величина остаточного коагулянта на уровне датчика 20, определяется на основании предварительно проведенных исследований;
- грязеемкость фильтрующей загрузки контактного осветлителя  $\Gamma$ ;
- программа включений и выключений датчиков 3, 4, 5, 26 и 27;
- минимальная интенсивность подачи воды на промывку  $I$ , определяется на основании предварительно проведенных исследований;
- максимальная допустимая интенсивность подачи воды на промывку  $I_{\max}$ , определяется на основании предварительно проведенных исследований;
- гидравлическая крупность верхних слоев фильтрующей загрузки  $\Gamma K_c$ ;
- максимальная допустимая гидравлическая крупность взвеси в промывной воде  $\Gamma K_{\max}$ , определяется на основании предварительно проведенных исследований;

- максимальная продолжительность промывки  $T_{пр}$ , устанавливается в соответствии с п.6.133 [11] или на основании предварительно проведенных исследований;

- максимальная допустимая концентрация взвеси в питьевой воде (мутность)  $K_v$ , устанавливается в соответствии с нормативными документами.

Перед началом процесса фильтрования закрыты все электрифицированные задвижки. По сигналу блока автоматического управления 31 производится открытие задвижки 2 на трубопроводе подачи исходной воды 1, включение датчика электрофоретической скорости 6 и включение дозатора 30, а затем, через промежуток времени  $T_c$ , включается датчик электрофоретической скорости 10 и постепенно открывается задвижка 11 до установления начальной скорости фильтрования  $V$ . После этого открывается задвижка 25 на трубопроводе отвода очищенной воды 24. Очищаемая вода, в которой обеспечено регулирование первой стадии процесса коагуляции по способу [21] и, следовательно, содержится оптимальная доза коагулянта, поступает в нижний карман 15 контактного осветлителя 14, затем через распределительную систему из перфорированных труб 17 попадает сначала в поддерживающий слой 16, а потом в фильтрующий слой 18. В процессе движения очищаемой воды снизу вверх происходит образование хлопьев взвеси и задержание их в порах фильтрующей загрузки. Очищенная вода поступает в переливной желоб 21, из него – в верхний карман 23, а затем в трубопровод отвода очищенной воды 24.

Управление процессом образования хлопьев взвеси и задержания их в порах фильтрующей загрузки осуществляется следующим образом. В тот момент, когда открывается задвижка 11, по сигналу блока автоматического управления 31 включаются в работу последовательно датчик коагулянта 9, датчик остаточного коагулянта 19 и датчик остаточного коагулянта 20. Сигналы, поступающие от этих датчиков в блок управления 31, контролируются в режиме реального времени следующим образом: от датчика 9 - сразу после включения, от датчика 19 – через промежуток времени  $t_1$ , равный времени движения воды от датчика 9 до датчика 19 и от датчика 20 – через промежуток времени  $t_2$ , равный времени движения воды от датчика 19 до датчика 20. На основании результатов экспресс-контроля, поступающих в блок управления 31, осуществляется регулирование этим блоком скорости фильтрования путем изменения открытия или закрытия задвижки 11.

Время переключения устройства с режима фильтрования на режим промывки определяется блоком управления в результате периодического сравнения величины  $\Gamma_p$ , определяемой по формуле 8.3, с величиной  $\Gamma$  при экспресс-контроле в режиме реального времени величин мутности, цветности и щелочности исходной и очищенной воды на основании соответствующих сигналов датчиков 3, 4, 5, 26 и 27.

Переключение на режим промывки осуществляется по сигналам блока управления следующим образом:

1. Закрываются задвижки 25 и 11 и отключаются датчики 9, 10, 19, 20, 26 и 27. При этом, учитывая, что согласно п. 6.44, 6.99 и 6.131 [11] смеситель 30 обслуживает не менее двух контактных осветлителей, задвижка 2 остается открытой, а датчики 3, 4, 5 и 6 остаются включенными.

2. Плавно открываются задвижки 13 и 29 до установления минимальной интенсивности подачи воды на промывку И. Промывная вода проходит через нижний карман 15, распределительную систему из перфорированных труб 17, попадает сначала в поддерживающий слой 16, а потом в фильтрующий слой 18. При этом происходит расширение верхних слоев фильтрующей загрузки, и загрязнения (хлопья) выносятся с промывной водой в переливной желоб 21, затем попадают в верхний карман 23 и по трубе 28 выносятся из корпуса контактного осветлителя.

Управление процессом промывки фильтрующей загрузки осуществляется следующим образом. В тот момент, когда открывается задвижка 29, по сигналу блока автоматического управления 31 включается в работу седиментометр 22. В процессе седиментационного экспресс-анализа определяется гидравлическая крупность взвеси  $ГК_{вз}$ , выносимой из фильтрующей загрузки, и концентрация этой взвеси  $K_{вз}$  в промывной воде (мутность). Величина  $ГК_{вз}$  в блоке управления 31 сравнивается с величинами  $ГК_c$  и  $ГК_{макс}$ . На основании этого сравнения плавно (синхронно) регулируется открытие задвижек 13 и 29 и, таким образом, интенсивность промывки увеличивается до величины  $I_{макс}$ . Промывка заканчивается в двух случаях:

- когда по данным седиментационного экспресс-анализа концентрация взвеси в промывной воде уменьшится до величины  $K_{вз}$ ;
- когда продолжительность промывки составит  $T_{пр}$ .

После промывки по сигналу блока управления устройство переключается на режим фильтрования. Возможны два случая такого переключения.

В первом случае (когда концентрация взвеси в промывной воде уменьшится до величины  $K_{вз}$ ) закрываются задвижки 13 и 29, постепенно открывается задвижка 11 до установления начальной скорости фильтрования  $V$ . После этого открывается задвижка 25 на трубопроводе отвода очищенной воды 24. Далее управление процессом осуществляется по технологии, приведенной выше. В этом случае сброс первого фильтрата не производится.

Во втором случае (когда в процессе промывки не удалось концентрацию взвеси в промывной воде уменьшить до величины  $K_{вз}$ ) закрывается задвижка 13, затем постепенно открывается задвижка 11 до установления начальной скорости фильтрования  $V$ . Сброс первого фильтрата производится при открытой задвижке 29 по трубе 28 в соответствии с технологией, приведенной в п. 6.133 [3]. После сброса первого фильтрата закрывается задвижка 29 и открывается задвижка 25 на трубопроводе отвода очищенной воды 24.

Далее управление процессом осуществляется по технологии, приведенной выше.

По сравнению с традиционными схемами данное устройство обладает следующими преимуществами:

- обеспечивается гибкое автоматическое управление всеми технологическими процессами в режимах реального времени;
- повышается надежность очистки воды коагуляцией;
- повышается производительность сооружений;
- уменьшается содержание остаточных коагулянтов в очищенной воде;
- значительно сокращаются эксплуатационные затраты.

#### **8.4. Гибкое регулирование процессов очистки воды в технологических схемах, содержащих осветлители со взвешенным осадком и скорые фильтры**

Для гибкого регулирования процессов очистки воды в технологических схемах, содержащих осветлители со взвешенным осадком и скорые фильтры, разработана принципиально новая система, позволяющая обеспечивать автоматическое управление всеми процессами в режиме реального времени.

Перед поступлением воды в смеситель при осуществлении процесса осветления и обесцвечивания воды производятся в режимах реального времени экспресс-измерения цветности, мутности, щелочности и электрофоретической скорости движения частиц взвеси сверху вниз в исходной воде и на выходе из смесителя. Затем, перед поступлением воды в осветлитель со взвешенным осадком осуществляется управление процессами очистки воды в коридорах осветлителя на основании седиментационного экспресс-контроля в режиме реального времени гидравлической крупности частиц взвеси. Оптимальная величина гидравлической крупности частиц взвеси обеспечивается путем регулирования скорости отведения воды с осадком из осветлителя. Накопление осадка и периодическое его удаление из осадкоуплотнителя также производится на основании седиментационного экспресс-контроля поступающего в него количества взвеси, а переключение с режима фильтрования на режим промывки и регулирование времени и интенсивности промывки производятся на основании сопоставления результатов седиментационных экспресс-анализов количества взвеси, поступающей на фильтры и на выходе из фильтров.

В данном случае обеспечивается в полном объеме гибкое управление в режиме реального времени всеми технологическими процессами очистки воды, повышение надежности ее очистки, повышение производительности сооружений, расширение условий применения и сокращение эксплуатационных затрат.

## 9. Освещение и обесцвечивание воды в водозаборно-очистных узлах

В настоящее время в большинстве городских поселений применяются традиционные технологические схемы водоочистных сооружений в отличие от сельской местности, где в отдельных случаях имеются примитивные водоочистные системы, а в большинстве случаев и такие системы отсутствуют. Объясняется это тем, что в сельских поселениях потребление воды небольшое, а традиционные технологические схемы требуют использования различных реагентов, значительных затрат электроэнергии, наличия лабораторной базы и штата эксплуатационного персонала, следовательно, больших строительных и эксплуатационных затрат.

Решение этой проблемы возможно путем использования нового вида сооружений – водозаборно-очистных устройств (ВОУ). ВОУ – это устройства, в которых совмещены процессы добывания и очистки природной воды. Большинство из них располагается непосредственно в водоисточниках. Разнообразные конструкции таких устройств за последние годы были разработаны в Вологодском государственном техническом университете, на многие из них получены патенты на изобретения [25].

В качестве примера, рассмотрим три конструкции.

**I. Водозаборно-очистная установка, в которой предусмотрена двухступенчатая очистка воды: флотация и последующее фильтрование [26],** приведена на рис. 9.1.

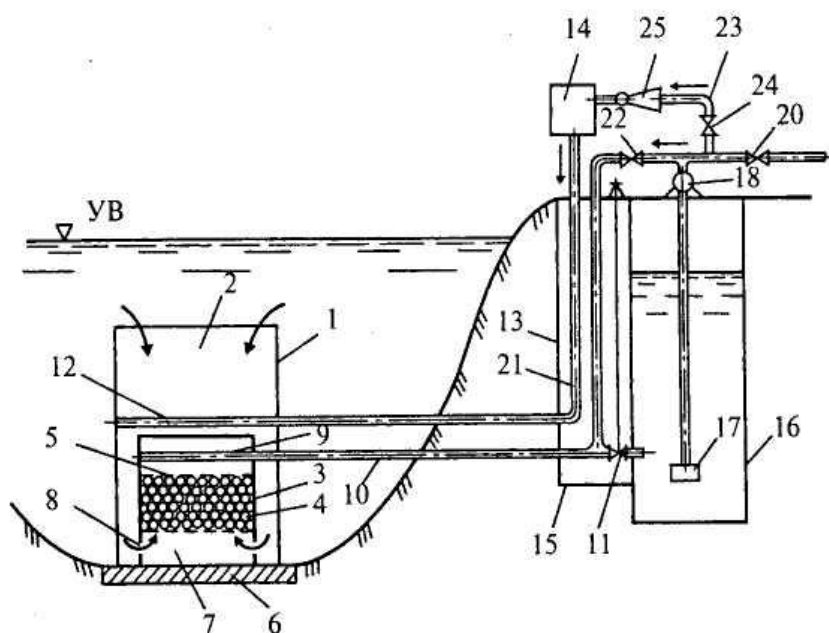


Рис.9. 1. Водозаборно-очистная установка для флотации и фильтрования

Установка содержит открытый сверху короб 1, который располагают на дне водоисточника. Верхняя часть короба 1 представляет собой флотационную зону 2. Внутри короба 1 под флотационной зоной располагается закры-

тый сверху корпус 3. В корпусе располагается слой легкой зернистой фильтрующей загрузки 4 (например, из вспененного полистирола). Сверху фильтрующий слой ограничен сеткой 5 (или придерживающим слоем). Между нижней кромкой слоя 4 и дном 6 предусматривается промывное пространство 7, высота которого рекомендуется не менее 30% от толщины фильтрующего слоя. Это пространство ограждается сеткой 8, предотвращающей вынос фильтрующей загрузки во время промывки корпуса 3. В пространстве между сеткой 5 и верхней крышкой корпуса 3 располагается дренажная система 9, соединенная с самотечной трубой 10, на которой имеется задвижка 11. Непосредственно над корпусом 3 внутри короба 1 располагается перфорированная трубчатая система 12, соединенная трубой 13 с напорным бачком 14. Установка также включает береговой колодец, состоящий из камеры переключений 15 и водоприемной камеры 16, в которой располагается приемный клапан 17 насоса 18. К напорному патрубку насоса 18 подсоединен напорный трубопровод 19 с задвижкой 20 и промывная труба 21 с задвижкой 22, которая в свою очередь подсоединена к самотечной трубе 10. К напорному трубопроводу 19 подсоединена труба уменьшенного диаметра 23 с задвижкой 24 и эжектором 25. Эта труба подсоединена также к напорному бачку 14. Диаметр трубы 23 должен так соотноситься с диаметром напорного трубопровода 19, чтобы по трубе 23 пропусклось 10-15% от общего расхода воды, направляемой в трубопровод 19. Это необходимо для обеспечения требуемого режима напорной флотации. Объем напорного бачка 14 должен рассчитываться на время пребывания воды в нем примерно в течение 2 минут под давлением 0,6-0,8 Мпа.

Установка работает следующим образом.

При режиме очистки воды закрыта задвижка 22 и открыты задвижки 11, 20 и 24. При работающем насосе 18 создается перепад между уровнем воды в водоисточнике УВ и уровнем воды в водоприемной камере А. Благодаря этому, вода из источника поступает сначала во флотационную зону 2 короба 1, где путем напорной флотации обеспечивается снижение ее цветности, удаление масел, нефтепродуктов, планктона, части твердой взвеси и других плавающих веществ. Пройдя флотационную очистку, исходная вода через зазор между коробом 1 и корпусом 3, а затем через сетку 8 поступает в нижнюю часть корпуса 3, движется снизу вверх через слой фильтрующей загрузки 4, где задерживаются неудаленные флотацией частицы взвеси, а затем собирается дренажной системой 9, и по самотечной трубе 10 поступает в водоприемную камеру 16 берегового колодца. Из камеры 16 через водоприемный клапан 17 вода забирается насосом 18 и по напорному трубопроводу 19 подается в систему водоснабжения. При этом часть воды (10-15% из общего расхода), подаваемой насосом 18, поступает по трубе 23 через эжектор 25 в напорный бачок 14, откуда по трубе 13 направляется в перфорированную систему 12. Эжектор 25 обеспечивает насыщение воды атмосферным воздухом, а напорный бачок 14 -

растворение под давлением этого воздуха в воде. При выходе водовоздушной смеси из перфорированной системы 12 образуется большое количество мелких пузырьков воздуха и таким образом в зоне 2 обеспечивается режим напорной флотации. Пузырьки воздуха с удаляемыми из воды загрязнениями являются «отпугивающим» фактором для рыб разных размеров, включая мальков. Образовавшаяся пена уносится течением воды водоисточника, гасится или разрушается ветром. Таким образом, отпадает необходимость в устройстве системы по сбору, удалению и утилизации пены. Это уменьшает эксплуатационные затраты на процесс флотации.

Для промывки фильтрующего слоя 4 необходимо закрыть задвижки 11 и 24 и открыть задвижку 22. Кроме того, при необходимости следует закрыть задвижку 20. Промывной поток воды по трубе 21 направляется в надфильтровое пространство корпуса 3, движется сверху вниз через слой фильтрующей загрузки 4, расширяя этот слой и вынося из него загрязнения. Затем поток промывной воды выходит из корпуса 3 через сетку 8, движется вверх сначала по зазору между корпусом 3 и коробом 1, а затем через зону 2 удаляется из установки.

Преимущества данной установки заключаются в следующем:

- улучшается качество подаваемой в систему водоснабжения воды по показателям мутности, цветности, содержанию нефтепродуктов, масел и других эмульгированных жидких веществ, а также планктона. Это, в свою очередь, снижает нагрузку на водоочистные сооружения, а в некоторых случаях позволяет отказаться от устройства этих сооружений;
- обеспечивается надежная рыбозащита в водозаборном сооружении;
- отпадает необходимость в устройстве системы по сбору, удалению и утилизации пены;
- улучшается экологическое состояние водоисточника за счет насыщения воды кислородом воздуха.

**2. Разработана аналогичная конструкция, в которой под водой кроме фильтра и флотатора располагаются струйный аппарат (инжектор) и напорная ёмкость (предназначена для небольших глубин) [27] (рис . 9.2)**

Установка работает следующим образом. При режиме очистки воды закрыта задвижка 27 и открыты задвижки 20, 23 и 28. Компрессор обеспечивает давление в напорной емкости 8 не менее 0,6 МПа. При таком давлении закрыт обратный клапан 15. Во флотационной емкости 4 происходит флотационная очистка воды следующим образом: при движении воздуха по воздушной трубе 24 струйный аппарат 25 осуществляет подсос (инжектирование) воды из источника.

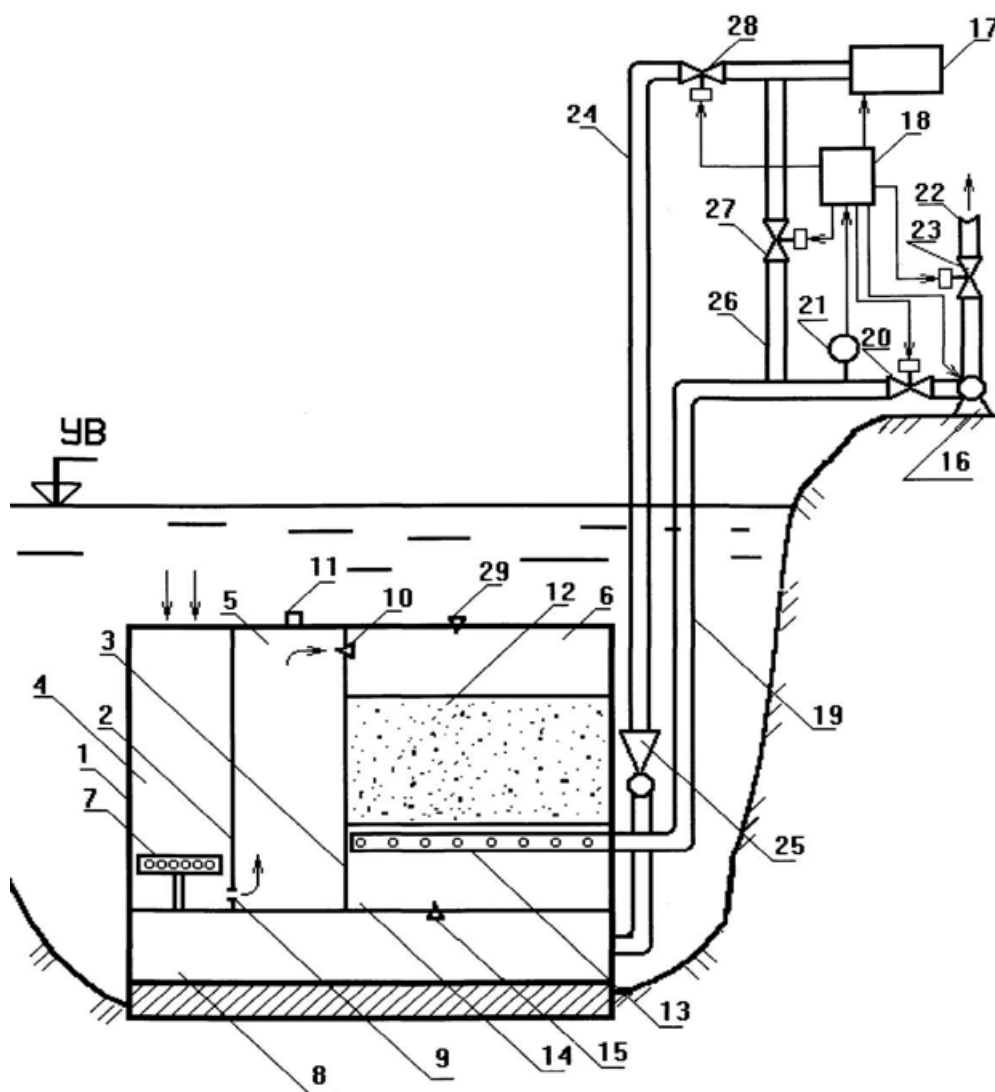


Рис. 9.2. Водозаборно-очистная установка для флотации инъекционным способом и последующего фильтрования:

- 1-корпус; 2,3 – внутренние перегородки; 4- зона флотации; 5 – переходная камера;  
 6 – фильтрационная камера; 7 – перфорированная трубчатая система;  
 8 – напорная емкость; 9- входное отверстие; 10 – обратный клапан;  
 11- воздушный вантуз; 12 – фильтрующий слой; 13 – дренажная система;  
 14- подфильтровое пространство; 15 – обратный клапан; 16 – водоподъемный насос;  
 17 – компрессор; 18 – блок автоматического управления; 19 – всасывающая труба;  
 20, 23, 27, 28 – электрофицированные задвижки; 21 – электрический вакуумметр;  
 22 – напорная труба; 24 – воздушная труба; 25 – струйный аппарат (инжектор);  
 26 – соединительная труба; 29 – обратный клапан

Таким образом, в напорную емкость 8 поступает водовоздушная смесь, которая через перфорированную трубчатую систему 7 поступает во флотационную емкость 4. За счет перепада давлений в емкости 8 и в водоемнике происходит интенсивное выделение пузырьков воздуха. При работающем насосе 16 открыт обратный клапан 10 и закрыт обратный клапан 29. Вода, двигаясь во флотационной емкости 4 сверху вниз, поступает через входное отверстие 9 в переходную камеру 5, где поднимается вверх. При

этом оставшиеся в воде пузырьки воздуха скапливаются в верхней части переходной камеры и удаляются через воздушный вантуз 11. Вода через выпускное отверстие 10 поступает в верхнюю часть фильтрующей камеры 6 (промывное пространство), фильтруется сверху вниз через слой фильтрующей загрузки 12, собирается дренажной системой 13, далее по всасывающей трубе 19 поступает в насос 16 и по напорной трубе 22 подается в систему водоснабжения. Таким образом, непосредственно в водоисточнике обеспечивается двухступенчатая очистка воды методами флотации и фильтрации. В процессе этой очистки слой фильтрующей загрузки 12 постепенно загрязняется, что приводит к снижению давления во всасывающей трубе 19. Величина этого давления контролируется электрическим вакуумметром 21 и в виде электрического сигнала передается в блок автоматического управления 18. Когда величина давления уменьшается до определенного минимального значения  $P_{\min}$ , по команде блока управления 18 установка переключается на режим промывки фильтрующей загрузки. При этом сначала отключается насос 16 и одновременно закрываются задвижки 20 и 23, затем закрывается задвижка 28 (полностью или частично в зависимости от принятого режима промывки), открывается задвижка 27 и уменьшается давление компрессора 18 до определенной величины  $P_1$ , которая соответствует требованиям режима промывки. Это приводит к открытию клапана 15, а по трубе 19 через дренажную систему 13 в подфильтровое пространство 14 начинает поступать воздух.

В фильтрующей камере 6 давление повышается за счет давления компрессора и воздействия остаточного давления из напорной емкости 8. Это обеспечивает открытие обратного клапана 29 и закрытие обратного клапана 10. Таким образом, обеспечивается водовоздушная промывка фильтрующей загрузки в направлении снизу вверх. Промывная вода, пузырьки воздуха и частицы загрязнений выносятся в водоисточник. Водовоздушная смесь для промывки в начальный период образуется за счет имеющихся объемов воды в подфильтровом пространстве 14 и в напорной емкости 8, а затем путем поступления воды в подфильтровое пространство из источника через флотационную емкость 4, перфорированную трубчатую систему 7, напорную емкость 8 и отверстие 15.

После промывки в течение определенного времени  $T$  по сигналу блока управления 18 обеспечивается переключение установки на режим очистки воды. Для этого сначала закрывается задвижка 27, затем открывается задвижка 28 и на компрессоре 17 изменяется давление с величины  $P_1$  до величины  $P_2$ , определяющей режим очистки воды. Это обеспечивает закрытие клапана 15, после чего в емкости 4 начинается процесс флотации. Затем включается насос 16 и открываются задвижки 20 и 23. Это приводит к закрытию обратного клапана 29 и открытию обратного клапана 10.

Данная установка обладает следующими преимуществами:

- уменьшаются габаритные размеры и, как следствие, расширяются возможности использования установки, в том числе в мелководных источниках;
- уменьшаются строительные и эксплуатационные затраты;
- увеличивается производительность.

3. В Вологодском государственном техническом университете был проведен цикл экспериментальных исследований, заключающихся в изучении возможностей использования нанотехнологий при подготовке питьевой воды. В частности, нами была исследована возможность осветления и обесцвечивания природной воды с помощью электрофореза.

Электрофорез - это направленное движение коллоидных и взвешенных частиц под действием слабого внешнего постоянного электрического поля. В таком поле при электрофорезе частицы взвеси, обуславливающие мутность воды, и коллоидные частицы, обуславливающие ее цветность, перемещаются к противоположно заряженному электроду (рис. 9.3).

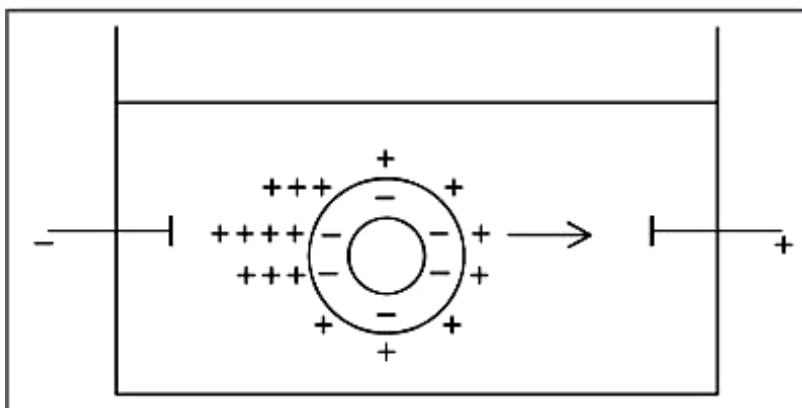


Рис. 9.3. Схема электрофореза

В лабораторных условиях были исследованы различные режимы использования электрофореза для удаления из природной воды коллоидных частиц и частиц взвеси. Исследования заключались в следующем: в два стеклянных цилиндра помещались одинаковые объемы пробы исходной воды с повышенной мутностью и цветностью. В одном из цилиндров были расположены на определенном расстоянии друг от друга инертные электроды, подсоединенные к источнику постоянного тока. На эти электроды подавалась разность потенциалов с градиентами 1, 2, 5 и 8 В/см (режимы электрофореза). В процессе исследований контролировалось время, в течение которого осуществлялось полное осветление и обесцвечивание воды и определялась эффективность очистки.

Наибольший эффект по мутности и цветности был получен при градиенте потенциала менее 2 В/см, причем время от начала опыта до полной очистки воды составляло менее 50 минут.

Таким образом, результаты исследований показали, что существует реальная возможность производить осветление и обесцвечивание воды до нормативных показателей за относительно небольшие промежутки времени, без применения реагентов и при малых затратах электроэнергии.

Предлагаемая технология использована в новой конструкции водозаборно-очистного устройства [28]. Использование данного устройства в условиях сельской местности позволит:

1. Обеспечить гарантированную очистку воды по показателям мутности и цветности до питьевого качества.
2. Значительно уменьшить строительные и эксплуатационные затраты за счет обеспечения безреагентной технологии очистки.
3. Повысить надежность работы устройства за счет автоматического управления. Такая схема управления нами разработана.
4. Кроме того, эксплуатация установки обеспечивает надежную рыбозащиту.

Общая схема предлагаемого устройства приведена на рис. 9.4, схема устройства в плане – на рис. 9.5.

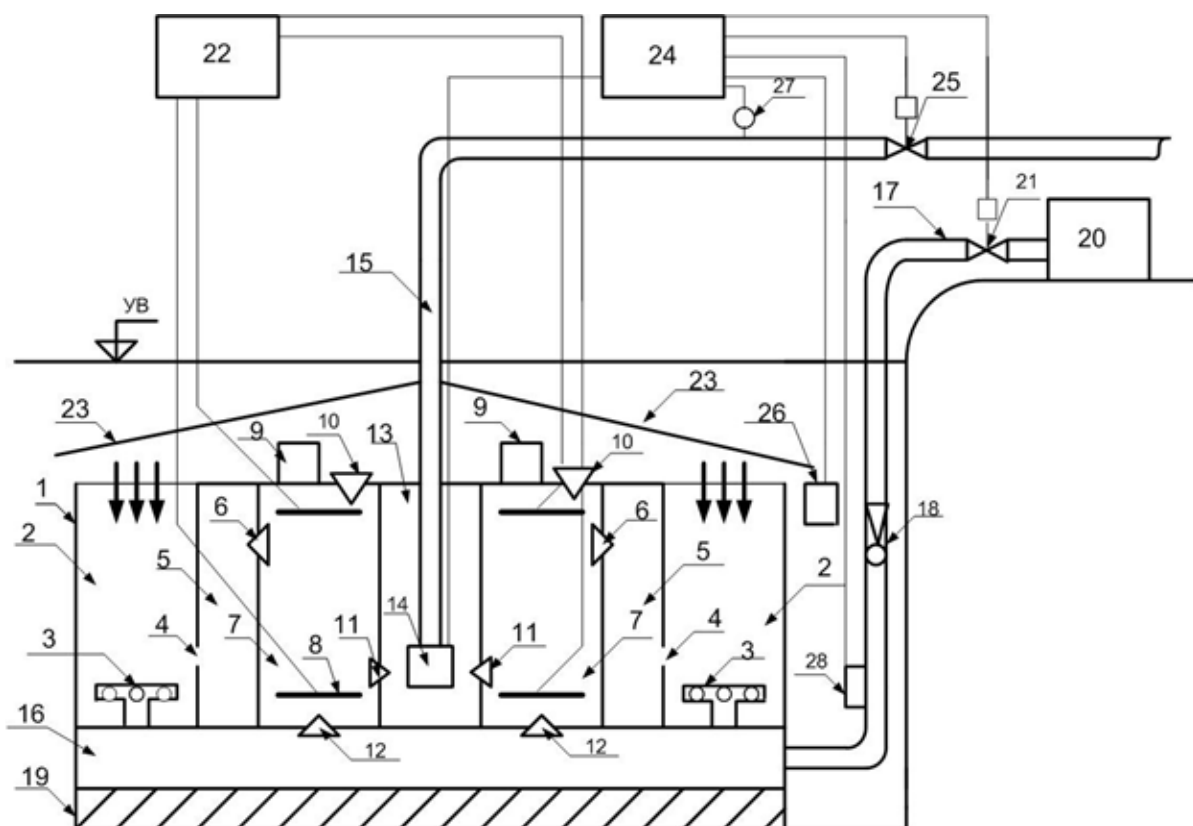


Рис. 9.4. Общая схема устройства

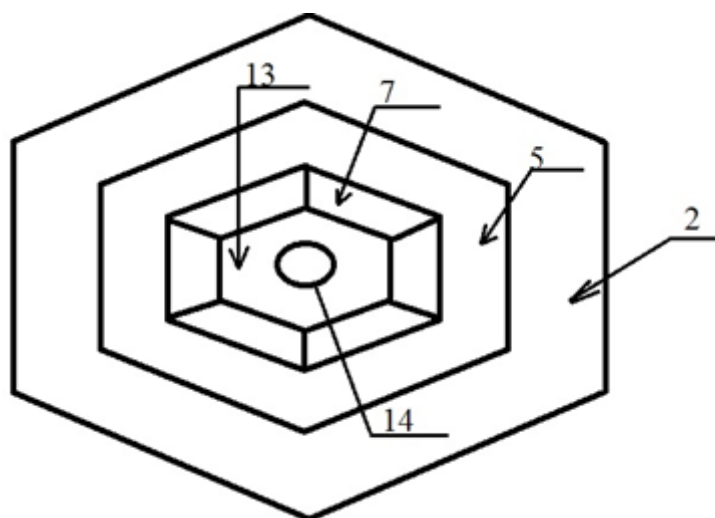


Рис. 9.5. Схема устройства в плане

Устройство содержит водоприемник 1, включающий флотационную емкость 2 с перфорированной трубчатой системой 3 и боковыми отверстиями 4, переходную камеру 5 с обратным клапаном 6, камеры электрофореза 7 с электродами 8 и воздушными вантузами 9, электромагнитные обратные клапаны 10, 11 и 12, водоприемную камеру 13 с погружным электрическим насосом 14. Насос подсоединен к водоподъемной трубе 15. Кроме того, имеется напорная емкость 16, к которой подсоединена воздушная труба 17, оборудованная погруженным в воду источника струйным аппаратом (инжектором) 18. Корпус устройства располагается на горизонтальной плите 19. Устройство также содержит компрессор 20, оборудованный электрической задвижкой 21. Система автоматического управления содержит источник постоянного тока 22, соединенный проводниками с электродами 8, и блок управления 24, соединенный проводниками с электромагнитными обратными клапанами 10, 11 и 12, насосом 14, электрическими задвижками 21 и 25, источником постоянного тока 22, датчиком электрофоретической скорости движения частиц взвеси в воде 26, датчиком расхода воды 27 и датчиком давления 28. Для защиты устройства сверху предусмотрен козырек 23.

Установка работает следующим образом.

В соответствии с технологическим регламентом эксплуатации установки в блок управления 24 введены следующие уставки:

- график включений и выключений насоса;
- величины расходов воды в трубе 15, обеспечивающие ламинарный режим движения воды в камерах электрофореза 7;
- величина давления в напорной емкости 16;
- зависимости между электрофоретической скоростью движения частиц взвеси в исходной воде и скоростью движения частиц взвеси в камере электрофореза 7 при воздействии на них постоянного электрического поля;

- зависимости между скоростью движения частиц взвеси в камере электрофореза 7 при воздействии на них постоянного электрического поля;
- график включений и промывок камер электрофореза 7;
- промежуток времени  $T_1$ , на который камеры электрофореза переключаются на промывку.

Перед включением в работу закрыты электрические задвижки 21 и 25 и электромагнитные обратные клапаны 10, 11 и 12; отключены:

источник постоянного тока 22, погружной электрический насос 14, и компрессор 20.

По сигналу блока управления 24 включается компрессор 20, плавно открывается электрическая задвижка 21 и на основании сигнала датчика давления 28 устанавливается требуемая величина давления на компрессоре 20, обеспечивающая заданную величину давления в напорной емкости 16. Водовоздушная смесь через перфорированную трубчатую систему 3 поступает во флотационную емкость 2, обеспечивая надежную рыбозащиту, удаление из воды нефтепродуктов, масел, эмульгирующих, поверхностно – активных веществ и планктона и насыщая обрабатываемую воду кислородом воздуха.

Одновременно с включением компрессора 20 по сигналу блока управления 24 на основании сигнала датчика электрофоретической скорости движения частиц взвеси в воде 26 включается источник постоянного тока 22, подающий на электроды 8 разность потенциалов, соответствующую заданной величине электрофоретической скорости движения частиц в камере электрофореза 7. Подача разности потенциалов на электроды может осуществляться одновременно во все камеры, либо попеременно в зависимости от графика подачи воды потребителям. При этом, в камере электрофореза 7 на период времени  $T$  устанавливается стационарный режим электрофоретической очистки воды. Он заключается в направленном движении частиц взвеси и коллоидных частиц, обладающих электрокинетическим зарядом (дзета – потенциалом) к противоположно заряженному электроду, расположенному в нижней части камеры. Через промежуток времени  $T$  по сигналу блока управления 24 включается погружной электрический насос 14, плавно открывается электрическая задвижка 25 и, на основании сигнала датчика расхода воды 27, в зависимости от графика включений и промывок камер электрофореза 7 осуществляется непрерывное регулирование расхода воды, подаваемой по трубе 15 потребителям.

Величина промежутка времени  $T$  определяется по формуле:

$$T = (L \cdot K) / V, \quad (9.1)$$

где  $L$  – расстояние по вертикали от верхнего электрода 8 в камере электрофореза 7 до места расположения электромагнитного обратного клапана 11 в средней части камеры;

$V$  – электрофоретическая скорость движения частиц взвеси и коллоидных частиц в направлении к нижнему электроду 8 при воздействии постоянного электрического поля;

$K$  – коэффициент запаса.

Таким образом, через промежуток времени  $T$  все частицы взвеси, обуславливающие мутность воды, и коллоидные частицы, обуславливающие её цветность, будут сконцентрированы в объёме воды, расположенном ниже электромагнитного обратного клапана 11.

Одновременно с включением погружного электрического насоса 14 по сигналу блока управления 24 в тех камерах электрофореза 7, на электроды 8 которых подана разность потенциалов, открываются электромагнитные обратные клапаны 11, через которые осветлённая и обесцвеченная вода поступает в водоприемную камеру 13. Исходная вода, прошедшая очистку в камере флотации, пройдя через переходную камеру 5 и обратный клапан 6, поступает в камеру электрофореза 7 и движется сверху вниз в ламинарном режиме со скоростью, равной или меньшей, чем скорость движения частиц взвеси и коллоидных частиц в постоянном электрическом поле. Периодически, в соответствии с графиком промывок, по сигналу блока управления 24 из камер электрофореза 7 удаляется загрязненная вода. Для этого на короткий промежуток времени  $T_1$  в этих камерах отключается разность потенциалов, закрываются электромагнитные обратные клапаны 11 и одновременно открываются электромагнитные обратные клапаны 10 и 12. При этом, за счет резкого перепада давлений в напорной емкости 12 и в водоисточнике, производится быстрый вынос водовоздушной смесью из камеры электрофореза 7 загрязненной воды. Под воздействием повышенного давления и обратного тока воды обратные клапаны 6 также закрываются, предотвращая попадание загрязненной воды во флотационную емкость 2. После промывки электромагнитные обратные клапаны 10 и 12 закрываются, на электроды 8 подаётся разность потенциалов, и в камере электрофореза 7 продолжается процесс осветления и обесцвечивания воды.

Для определения экономической эффективности предлагаемого устройства мы сравнили два варианта схем водоснабжения. Первый вариант (стандартный) представлен на рис.9.6. Вторым вариантом, в котором рассматривается возможность использования предложенного устройства, представлен на рис. 9.7.

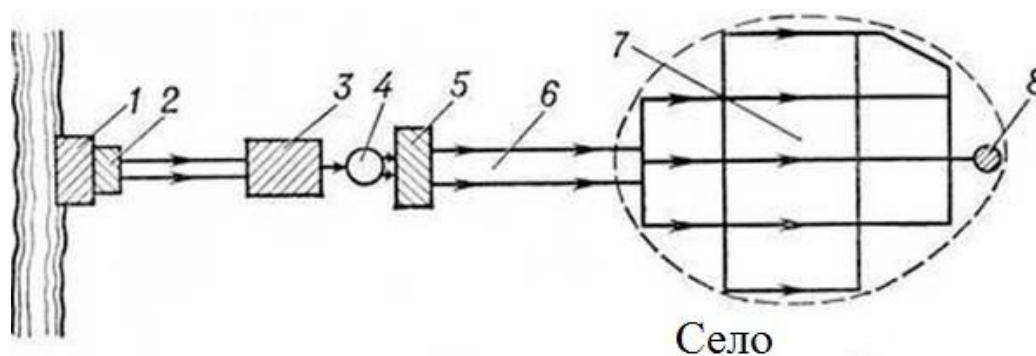


Рис. 9.6. Стандартная схема водоснабжения села:

1 - водоприёмное сооружение; 2 - насосная станция I подъёма;  
3 - водоочистные сооружения; 4 - резервуар чистой воды; 5 - насосная станция II подъёма; 6- водоводы; 7- водопроводная сеть; 8- водонапорная башня

Вода из водоема поступает в береговой колодец, откуда насосной станцией I подъема перекачивается на очистные сооружения. Затем вода поступает в РЧВ и оттуда с помощью насосной станции II подъема поступает в водонапорную башню, а затем – в водопроводную сеть населенного пункта.

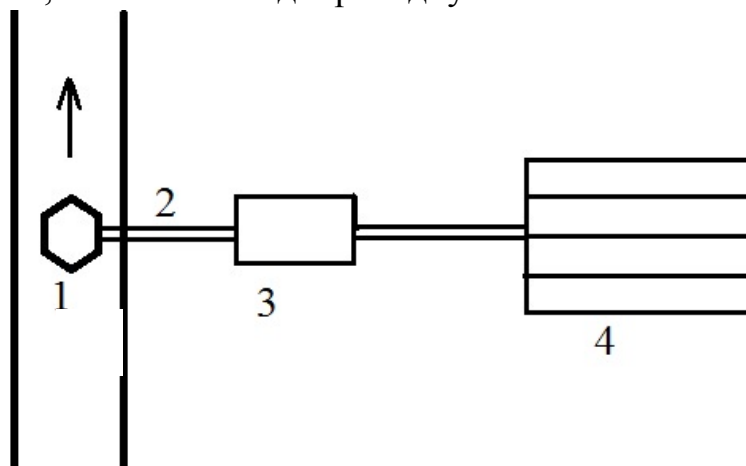


Рис. 9.7. Схема водоснабжения села с применением ВОУ:

1 – водозаборно-очистная установка; 2- водопроводная сеть;  
3 – гидронневматическая установка; 4 – водопроводная разводящая сеть

Сравнение примерных строительных затрат по первому и второму вариантам показало, что стоимость второго варианта меньше стоимости первого примерно в 9 раз.

Экономическая эффективность данной схемы (рис. 9.7) достигается за счет сокращения эксплуатационного персонала, уменьшения энергетических затрат, а также исключения использования реагентов для очистки воды. Экологическая целесообразность использования предлагаемой установки обоснована минимизацией антропогенного воздействия на водные источники, отсутствием реагентных методов очистки воды, надежной рыбозащитой и повышением надежности подготовки питьевой воды.

## 10. Проектирование сооружений для обеззараживания воды

### 10.1. Выбор метода обеззараживания

Наиболее распространенными методами обеззараживания являются: хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение, обработка воды ультразвуком и другие. Метод обеззараживания надлежит выбирать с учетом: качества исходной воды, способов ее подачи потребителям, эффективности очистки, надежности обеззараживания, технико-экономических соображений, условий хранения реагентов.

Хлорирование и озонирование можно использовать для исходных вод любого качества, транспортируемых после очистки по относительно протяженной водопроводной сети. Основным преимуществом хлорирования и озонирования является надежность и значительная эффективность обеззараживания. При этом хлорирование дешевле озонирования, однако, существуют значительные сложности, связанные с транспортированием и хранением хлорсодержащих реагентов, а также с эксплуатацией установок для хлорирования.

Для озонирования воды требуются значительные энергозатраты.

Ультрафиолетовое облучение и ультразвук можно использовать только в тех случаях, когда после обеззараживания вода либо сразу используется потребителями, либо транспортируется по водопроводной сети, находящейся в хорошем состоянии, в которую не могут попасть дополнительные загрязнители. Существуют ограничения использования ультрафиолетового облучения и ультразвука в зависимости от качества исходной воды. Эти методы значительно дешевле окислительных.

### 10.2. Обеззараживание воды хлорированием

На водоочистных станциях производительностью до 3 000 м<sup>3</sup>/сут для хлорирования воды используют хлорную известь. Для водоочистных станций производительностью от 3 000 до 10 000 м<sup>3</sup>/сут рекомендуется использовать гипохлоритные установки. На станциях производительностью более 10 000 м<sup>3</sup>/сут наиболее целесообразно применение сжиженного хлора.

Хлораторные установки, предназначенные для обеззараживания воды из поверхностных источников, должны рассчитываться на двойное хлорирование: предварительное (ввод хлора до основных водоочистных сооружений, но после микрофильтров или барабанных сеток) с дозой  $D_1=3-5$  мл/л и вторичное (ввод хлора после очистных сооружений) с дозой  $D_2=2-3$  мл/л.

Для обеззараживания подземных вод принимается однократное хлорирование с дозой  $D=0,7-1,0$  мл/л.

Количество хлора, необходимое для первичного хлорирования, определяется по формуле:

$$Q_{\text{XL-1}}=Q \cdot D_1/1000, \text{ кг/час.} \quad (10.1)$$

Для вторичного хлорирования:

$$Q_{XL-2} = Q \cdot D_2 / 1000, \text{ кг/час.} \quad (10.2)$$

Для обеззараживания поверхностных вод:

$$Q_{XL} = Q_{XL-1} + Q_{XL-2}, \text{ кг/час,} \quad (10.3)$$

где  $Q$  - производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{час}$ .

### Обеззараживание хлорной известью

Схема установки для обеззараживания хлорной известью аналогична схеме установки для приготовления раствора коагулянта.

Общий объем расходных баков извести определяется по формуле:

$$W = \frac{Q \cdot t_p \cdot D}{C_1 \cdot C_2 \cdot \rho}, \text{ м}^3, \quad (10.4)$$

где  $t_p$  – время, на которое заготавливается раствор, принимается 12-24 час.;

$D$  – доза активного хлора,  $\text{мг/л}$ ;

$C_1$  - концентрация рабочего раствора хлорной извести, принимается 1-2%;

$C_2$  – содержание активного хлора в хлорной извести, принимается 25-30%;

$\rho$  – плотность раствора хлорной извести, принимается  $1 \text{ кг/м}^3$ .

### Обеззараживание воды на гипохлоритной установке

Схема гипохлоритной установки приведена на рис. 10.1.

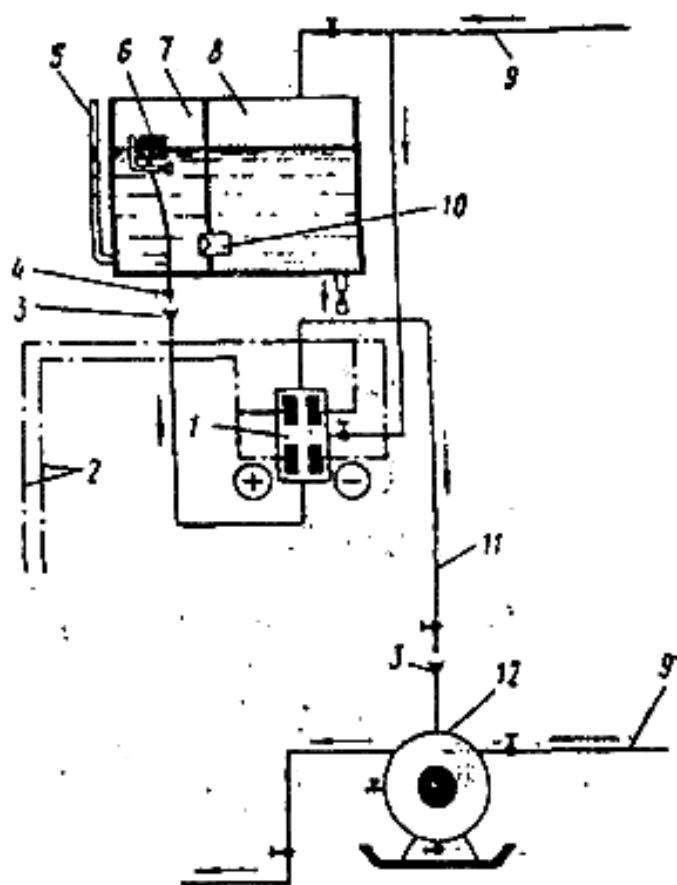


Рис. 10.1. Установка с электролизером для получения гипохлорита натрия:

1- электролизер;

2 – подвод

электроэнергии;

3-воронка с гидравлическим затвором;

4-вентиль; 5-водомерное стекло; 6 –поплавковый

дозатор; 7 – расходные баки поваренной соли;

8 –растворные баки поваренной соли;

9-подвод воды;

10-конусный сетчатый фильтр; 11-отвод

хлорной воды;

12-дозатор

Выбор марки гипохлоритной установки и определение требуемого количества установок производится по характеристикам, приведенным в табл. 10.1.

Таблица 10.1

### Технические характеристики гипохлоритных установок

| Показатели                                             | Марки установок |       |         |         |
|--------------------------------------------------------|-----------------|-------|---------|---------|
|                                                        | ЭН-1            | ЭН-5  | ЭН-25   | ЭН-100  |
| Производительность по активному хлору, кг/сут          | 1               | 5     | 25      | 100     |
| Расход соли на 1 кг активного хлора                    | 12-15           | 12-15 | 8-9     | 8-9     |
| Расход электроэнергии на 1 кг активного хлора, кВт/час | 7-9             | 7-9   | 8-10    | 10-12   |
| Напряжение, В                                          | 40-42           | 40-42 | 55-65   | 220-230 |
| Сила тока, А                                           | 55-65           | 55-65 | 130-140 | 400-450 |
| Объем электролизерной ванны, м <sup>3</sup>            | 0,04            | 0,04  | 1,0     | 2,4     |

### Обеззараживание воды сжиженным хлором

Хлор обычно вводят в воду в виде хлорной воды, получаемой путем растворения в ней хлоргаза. Для дозирования хлора служат специальные газодозаторы, называемые хлораторами.

Наиболее безопасными и экономичными являются хлораторы вакуумного типа. Схема установки для хлорирования воды с использованием вакуумного хлоратора приведена на рис. 10.2.

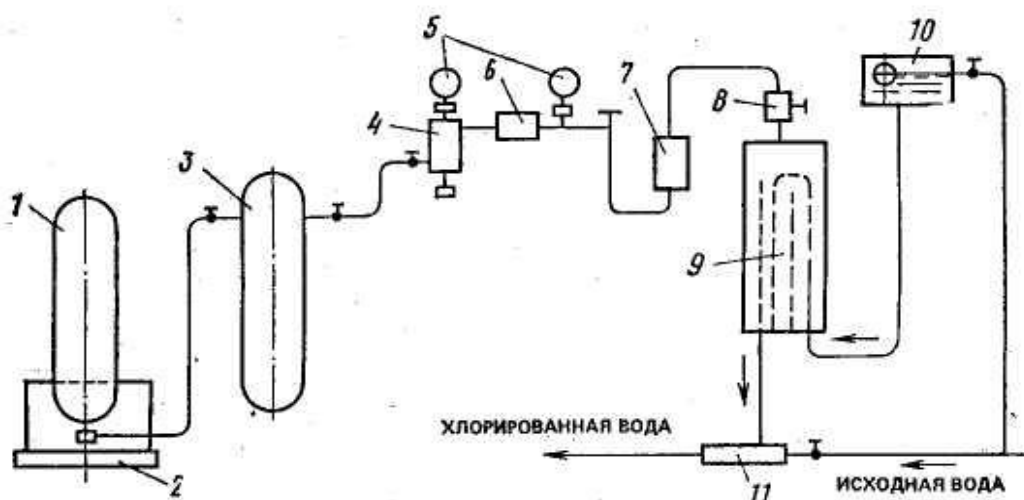


Рис. 10.2. Схема работы вакуумного хлора

1 и 3-расходный и промежуточный баллоны; 2- контрольные весы;  
4-фильтр со стекловатой; 5-манометры; 6-редукционный клапан;  
7-ротаметр; 8- регулирующий вентиль; 9-смеситель;  
10- регулирующий бачок; 11 – эжектор

Сжиженный хлор поставляется на водоочистные станции в баллонах (при расходе хлора до 50 кг/час) или в контейнерах-бочках (при расходе хлора более 50 кг/час). Основные характеристики баллонов и контейнеров приведены в таблице 10.2.

Определяется требуемое количество одновременно подключаемых баллонов или бочек:

$$n = \frac{Q_x}{S_6}, \text{ шт.} \quad (10.5)$$

где  $Q_x$  – суточная потребность хлора, кг/сут.

Таблица 10.2

### Основные характеристики емкостей с хлором

| Вид емкости | Объем, л | Вес сжиженного хлора в емкости, кг | Вес пустой емкости, кг | Съем хлора с 1 емкости, $S_6$ , кг/час. |
|-------------|----------|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|
| Баллоны     | 20       | 25                                 | 24,5                   | 0,5-0,7                                 |
|             | 25       | 32,5                               | 29,5                   |                                         |
|             | 30       | 37,5                               | 34                     |                                         |
|             | 35       | 45                                 | 40                     |                                         |
|             | 40       | 50                                 | 43,5                   |                                         |
|             | 50       | 62                                 | 53                     |                                         |
|             | 80       | 100                                | 90                     |                                         |
| Контейнеры  | 400      | 500                                | 415                    | 12,7                                    |
|             | 800      | 1000                               | 815                    | 19,0                                    |
|             | 1000     | 1250                               | 1010                   | 21,6                                    |

По величине требуемой производительности по хлору ( $Q_x$ ) подбирается марка вакуумного хлоратора по таблице 10.3. При количестве рабочих хлораторов до 2 предусматривается один резервный, а при большем количестве – два резервных.

Таблица 10.3

### Технические характеристики вакуумных хлораторов

| Производительность по хлору, $Q_x$ , кг/час | Марка хлоратора | Диаметр подводящего патрубка, мм | Габариты, мм |
|---------------------------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------|
| 0,008-0,4                                   | ЛК-10М          | 25                               | 530*230*60   |
| 0,5-3,0                                     | ЛОНИИ-100       | 25                               | 830*650*160  |
| 0,5-5,0                                     | ЛК-11           | 25                               | 500*200*125  |
| 1-5,0                                       | ЛОНИИ-100       | 25                               | 830*650*160  |
| 1-5,4                                       | ЛК-10С          | 25                               | 530*230*160  |
| 2-10                                        | ЛОНИИ-100       | 50                               | 830*650*160  |
| 2-25                                        | ЛК-106          | 50                               | 800*340*200  |
| 1,8-25,4                                    | ЛК-12           | 100                              | 760*280*350  |
| 5-100                                       | ЛК-10у          | 100                              | 1230*640*300 |

### 10.3. Обеззараживание воды озонированием

Озон - один из наиболее сильных окислителей. Озон получают из атмосферного воздуха в аппаратах – озонаторах путем воздействия на воздух «тихого» электрического разряда, сопровождающегося выделением озона. Перед введением в воду озона готовится озоновоздушная смесь. Схема установки для озонирования приведена на рис. 10.3.

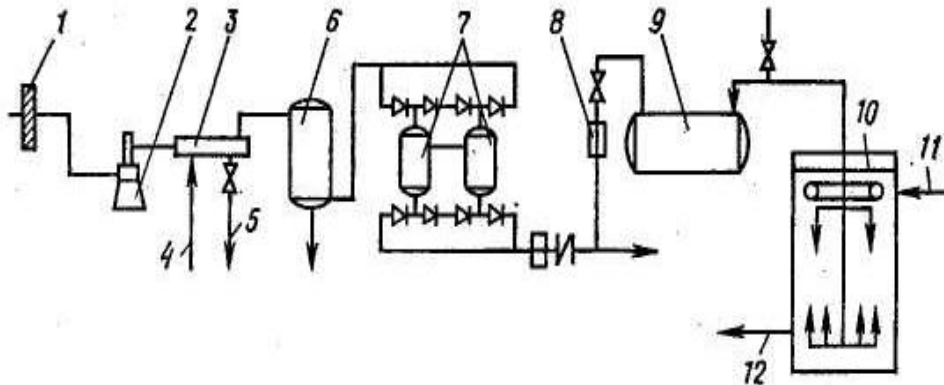


Рис. 10.3. Озонаторная установка: 1-фильтр; 2-компрессор; 3-охлаждающее устройство; 4 и 5- подача и отвод охлаждающей воды; 6 -осушка воздуха; 7 - воздухонагреватель; 8 - измеритель; 9 - озонатор; 10 смеситель; 11 и 12 - подача исходной и отвод озонированной воды

Дозу озона для обеззараживания подземных вод следует принимать 0,75-1,0 мг/л, для поверхностных вод после фильтрования 1-3 мг/л. Иногда для обеззараживания поверхностных вод перед подачей их на водоочистные сооружения вводят дополнительную дозу озона - 1мг/л.

Количество озона, необходимое для озонирования, определяется по формуле:

$$Q_0 = Q \cdot D_0 / 1000, \text{ кг/час}, \quad (10.6)$$

где  $Q$  - производительность водоочистной станции, м<sup>3</sup>/час;

$D_0$  – доза озона, мг/л.

По величине  $Q_0$  подбирается марка озонатора по таблице 10.4 и принимается количество рабочих озонаторов.

Таблица 10.4

Технические характеристики озонаторов

| Производительность по озону, кг/час. | Марка озонатора   | Расход воздуха, м <sup>3</sup> /час | Мощность, кВт |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------|
| 0,045                                | В-085-08-1-Л-0,1  | 6                                   | 0,8           |
| 0,25                                 | ОП-2              | 20                                  | 5             |
| 0,47                                 | ОП-3              | 40                                  | 7             |
| 1,0                                  | ОП-5              | 80                                  | 20            |
| 1,6                                  | В-24-25-1-1-Л-0,1 | 120                                 | 25            |
| 1,7                                  | ОП-121            | 140                                 | 36            |
| 3,2                                  | ОПТ-315           | 260                                 | 160           |
| 6,0                                  | ОПТ-510           | 420                                 | 250           |
| 2,0                                  | ОП-6              | 160                                 | 90            |
| 7,5                                  | В-175-165-1-Л-0,1 | 600                                 | 160           |

Требуемая производительность компрессора определяется по формуле:

$$Q_k = q_v \cdot N, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (10.7)$$

где  $q_v$  – расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$N$  – количество рабочих озонаторов, шт.

Бассейн смешения озона с водой представляет собой контактную камеру, в которой обеспечивается противоток или параллельные потоки воды и озонородной смеси.

Необходимая площадь контактной камеры в плане определяется по формуле:

$$F_{\text{л}} = \frac{q \cdot T}{n \cdot H}, \text{ м}^2, \quad (10.8)$$

где  $q$  – расход озонируемой воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$T$  – продолжительность контакта озона с водой, принимается 5-10 мин;

$N$  – количество контактных камер, принимается не менее двух;

$H$  – глубина слоя воды в контактной камере, принимается 4,5-5,0 м.

Размеры контактных камер в плане принимаются ближе к квадрату.

### Расчет эжектора

В некоторых случаях целесообразно для подачи и смешения озонородной смеси с обрабатываемой водой использовать эжекторы. Схема эжектора представлена на рис. 10.4.

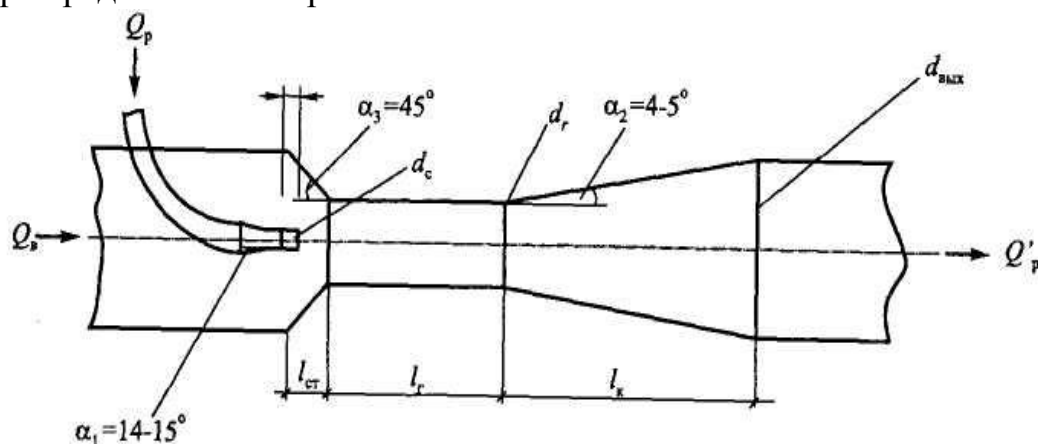


Рис. 10.4. Эжектор

Определяется объемный коэффициент пуска по выражению:

$$U = \frac{Q_v}{Q_p}, \quad (10.9)$$

где  $Q_v$  – объемный расход подсасываемой озонородной смеси,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q_p$  – объемный расход рабочей среды обрабатываемой воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

По графику на рис. 10.5 при  $\frac{d_z}{d_c} = 1,75$  определяется соотношение:

$$\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = A, \quad (10.10)$$

где  $d_r$  – диаметр камеры смешения (горловина эжектора);

$d_c$  – диаметр выходного сечения сопла эжектора.

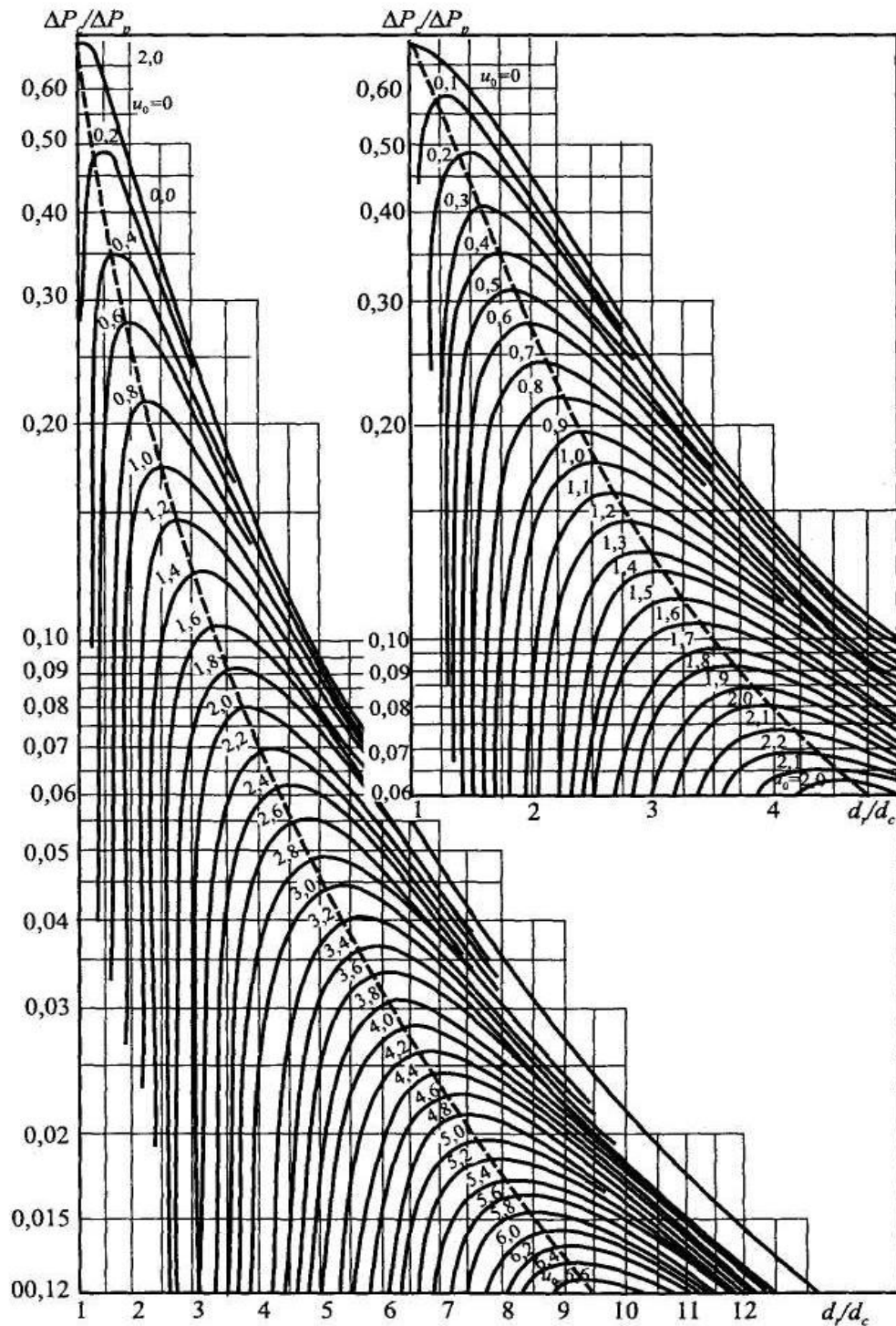


Рис. 10.5. Безразмерные рабочие характеристики  $\Delta P_c / \Delta P_p$  водовоздушных эжекторов, построенные по методике Е.Л.Соколова и Н.М.Зингера

Величина  $\Delta P_c$  определяется по формуле:

$$\Delta P_c = P_c - P_n, \text{ МПа}, \quad (10.11)$$

где  $\Delta P_c$  – давление смеси сред на выходе из эжектора;

$\Delta P_n$  – давление озонородушной смеси после озонатора (0,06-0,1 МПа).

Величину  $\Delta P_p$  определяют по уравнению:

$$\Delta P_p = P_p - P_n, \text{ МПа}, \quad (10.12)$$

$P_p$  – давление рабочей среды перед эжектором, МПа.

Затем определяют  $\Delta P_c$  и  $P_c$ .

$$\Delta P_c = \Delta P_p \cdot A, \text{ МПа}, \quad (10.13)$$

$$P_c = \Delta P_c \cdot P_n, \text{ МПа}. \quad (10.14)$$

При давлении  $P_c$  объем газообразной среды на выходе из эжектора определяется по формуле:

$$Q'_g = \frac{Q_g \cdot (P_n + P_a)}{(P_c + P_a)}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (10.15)$$

где  $P_a$  – атмосферное давление (0,1 МПа).

Общий расход смеси сред на выходе из эжектора определяется по формуле:

$$Q'_p = Q_p + Q'_g, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (10.16)$$

Диаметр сопла эжектора определяется по формуле:

$$d_c = \left\{ \frac{4Q_p}{\rho \cdot f \left( \frac{2\Delta P_p}{c} \right)^{0,5}} \right\}^{0,5}, \text{ м}, \quad (10.17)$$

где  $f$ -величина, принимаемая 0,95;

$\rho$  – плотность рабочей среды.

Диаметр камеры смешения определяется по выражению:

$$d_z = 1,75d_c, \text{ м}. \quad (10.18)$$

Длина свободной струи составит:

$$l_{cm} = 3,12 \cdot d_c \left( \sqrt{0,083 + 0,76 \cdot U_0} - 0,29 \right), \text{ м}. \quad (10.19)$$

Длина струи на входе в камеру смешения определяется по формуле:

$$d_{cm} = 3,4 \cdot d_c \left( \sqrt{0,083 + 0,76 \cdot U_0} \right), \text{ м}. \quad (10.20)$$

Диаметр входного трубопровода подачи жидкости при скорости  $V \leq 2\text{ м/с}$  определяется по формуле:

$$d_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\rho \cdot V}}, \text{ м.} \quad (10.21)$$

Диаметр выходного трубопровода смеси газ-жидкость определяется по формуле:

$$d_{\text{вых}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p'}{\rho \cdot V}}, \text{ м.} \quad (10.22)$$

Диаметр патрубка озоновоздушной смеси равен:

$$d_{\text{оз}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{оз}}}{\rho \cdot V_{\text{оз}}}}, \text{ м,} \quad (10.23)$$

где  $V_{\text{в}}$  – скорость движения газовой среды, принимается 15-20 м/с.

Длина камеры смешения определяется по формуле:

$$l_z = (6 - 10) \cdot d_z, \text{ м,} \quad (10.24)$$

длина конуса:

$$l_k = (6 - 7) \cdot (d_{\text{вых}} - d_z), \text{ м,} \quad (10.25)$$

длина сопла:

$$l_c = (0,8 - 0,9) \cdot d_c, \text{ м.} \quad (10.26)$$

#### 10.4. Обеззараживание воды ультрафиолетовым облучением

Ультрафиолетовое облучение принимается для обеззараживания подземных вод, имеющих коли-индекс не более 1000 ед/л, содержание железа не более 0,3 мг/л не содержащих коллоидных и взвешенных веществ, способных поглощать или рассеивать ультрафиолетовые лучи.

При производительности водоочистной станции до 30 м<sup>3</sup>/ч принимаются преимущественно безнапорные установки с непогружным источником излучения. При большей производительности – напорные установки с погружным источником излучения. Характеристики серийно выпускаемых промышленностью бактерицидных установок приведены в таблице 10.5.

Таблица 10.5

##### Характеристики бактерицидных установок

| Производительность, м <sup>3</sup> /ч | Марка установки | Тип установки | Рабочее положение | Тип ламп | Кол-во ламп | Потребляемая мощность, кВт |
|---------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------|----------|-------------|----------------------------|
| До 3                                  | ОВ-III          | Непогр.       | Гориз.            | БУВ-60П  | 1           | 0,06                       |
| 3-5                                   | ОВ-1П           | Погр.         | любое             | ДБ-60    | 1           | 0,06                       |
| 50-70                                 | ОВ-50           | Погр.         | Гориз.            | ДТП-2500 | 1           | 2,5                        |
| 60-90                                 | ОВ-АХК-1        | Погр.         | Гориз.            | ПРК-7м   | 2-3         | 2-6                        |
| 50-70                                 | ОВ-III-РКС      | Погр.         | Гориз.            | РКС-2,5  | 1           | 6                          |
| 150-200                               | ОВ-III-РКС      | Погр.         | Гориз.            | РКС-2,5  | 3           | 18                         |
| 150-200                               | ОВ-150          | Погр.         | Гориз.            | ДПТ-250  | 3           | 7,5                        |

При проектировании и расчете бактерицидной установки вначале определяется требуемая мощность потока бактерицидного облучения по формуле:

$$F_6 = \frac{Q_{\text{час}} \alpha \cdot \kappa \cdot \lg \left( \frac{P}{P_0} \right)}{1563 \xi \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}, \text{ Вт}, \quad (10.27)$$

где  $Q_{\text{час}}$  – расчетный расход обеззараживаемой воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\alpha$  – коэффициент поглощения, принимается для артезианских вод  $0,1 \text{ см}^{-1}$ , для родниковых, грунтовых и инфильтрационных  $0,15 \text{ см}^{-1}$ , для очищенной воды из поверхностных источников  $0,3 \text{ см}^{-1}$ ;

$\kappa$  – коэффициент сопротивляемости облучаемых бактерий, принимается  $2500 \text{ мкм} \cdot \text{Вт} \cdot \text{с}/\text{см}^2$ ;

$P$  – коли-индекс воды до облучения, ед/л;

$P_0$  – коли-индекс воды, который должен быть после облучения, для питьевой воды принимается  $< 3 \text{ ед/л}$ ;

$\eta_1$  – коэффициент использования бактерицидного потока, для установок с непогружными источниками принимается  $0,75$ ; с погружными  $0,9$ ;

$\eta_2$  – коэффициент использования бактерицидного облучения, принимается  $< 0,9$ .

Схема бактерицидной установки с погружными источниками излучения приведена на рис. 10.6.

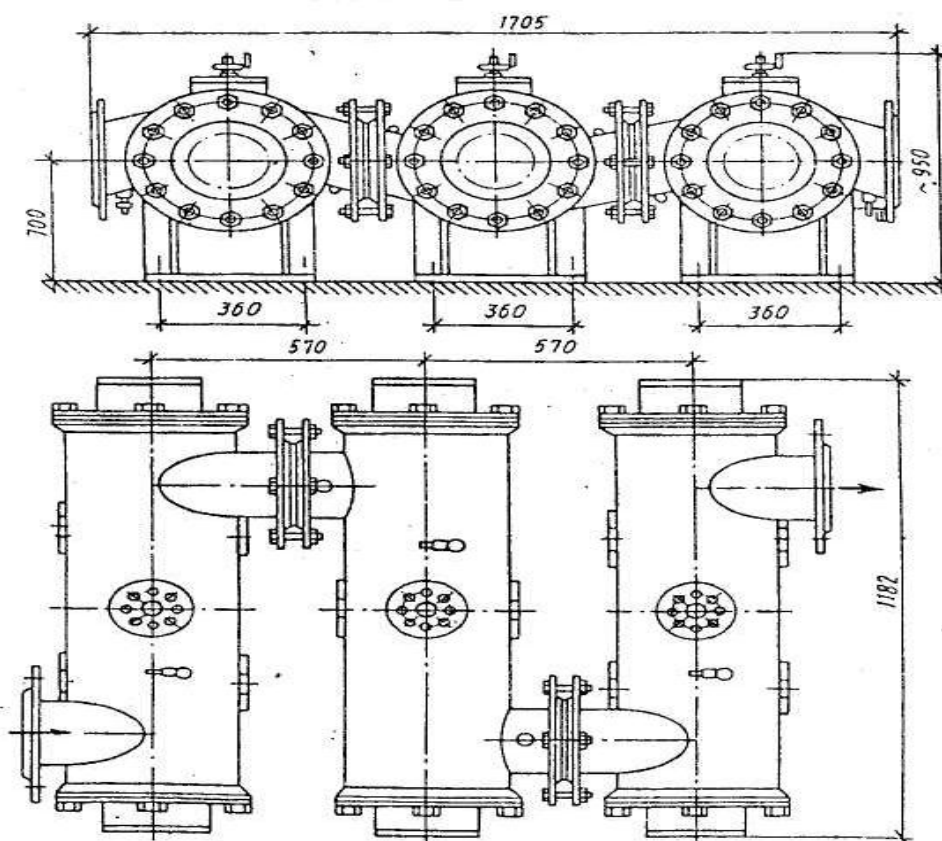


Рис.10.6. Бактерицидная установка с погружными источниками излучения

Потребное количество ламп, используемых в одной установке, определяется по формуле:

$$N = \frac{F_6}{F_{\text{л}}} \quad , \text{ шт.}, \quad (10.28)$$

где  $F_{\text{л}}$  – расчетный бактерицидный поток одной лампы, принимаемый из таблицы 10.6.

Количество рабочих бактерицидных установок следует определять исходя из их производительности. Максимальное количество не более пяти и одна резервная.

Таблица 10.6

**Расчетный бактерицидный поток одной лампы**

| Тип лампы        | Марка   | Бактерицидный поток, $F_{\text{л}}$ , Вт | Напряжение, В | Примечание    |
|------------------|---------|------------------------------------------|---------------|---------------|
| Аргонно-ртутная  | БУВ-15  | 1,2                                      | 127           | Непогруж.уст. |
|                  | БУВ-30  | 3,2                                      | 220           |               |
|                  | БУВ-30П | 2,5                                      | 127           |               |
|                  | БУВ-60П | 6,0                                      | 220           |               |
| Ртутно-кварцевая | ДБ-60   | 6,0                                      | 220           | Погруж.уст.   |
|                  | ДТП-250 | 125                                      | 220           |               |
|                  | ПРК-7М  | 50                                       | 220           |               |
|                  | РКС-2,5 | 125                                      | 220           |               |

### 10.5. Обеззараживание воды ультразвуковыми волнами

Обеззараживание воды ультразвуком можно применять как самостоятельный метод при мутности воды до 50 мг/л и любой цветности на установках небольшой производительности, а также как вспомогательный метод для повышения эффективности хлорирования воды. В обоих случаях проточная емкость оборудуется ультразвуковой установкой (рис. 10.7).

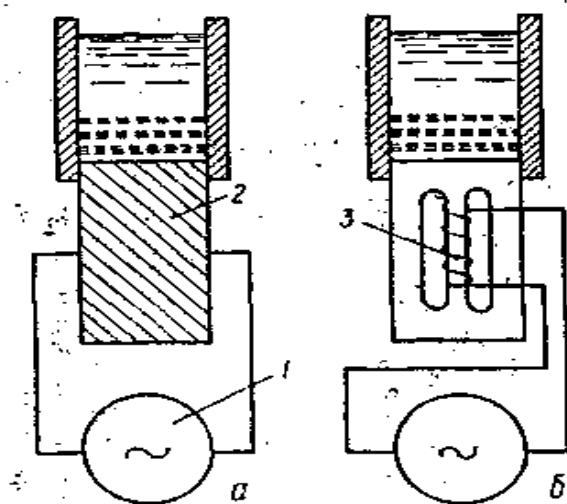


Рис. 10.7. Ультразвуковые установки:

а - пьезометрическая;  
б - магнитострикционная;  
1 - высокочастотный генератор; 2 - кварц или пьезокерамика, 3 - катушка возбуждения

Для ультразвукового обеззараживания требуется генератор ультразвуковых колебаний, имеющий номинальную мощность 10 кВт и рабочую частоту колебаний не менее 20 кГц. Скорость потока воды через проточную емкость должна быть не более  $V_n = 0,2 \text{ м/с}$ , а толщина слоя в проточной емкости  $h_c = 0,1 \text{ м}$ ; Ширина проточной емкости принимается в пределах  $b = 0,2 - 0,5 \text{ м}$ . Таким образом производительность одной ультразвуковой установки равна:

$$Q_y = 3600 \cdot b \cdot h_c \cdot V_n, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (10.29)$$

Требуемое количество установок:

$$N_y = Q_{\text{час}} / Q_y, \text{ шт.} \quad (10.30)$$

При применении ультразвукового облучения в качестве вспомогательного метода для интенсификации процесса хлорирования воды величину  $V_n$  можно увеличить до 0,4 м/с, а дозу хлора уменьшить до 0,05 мг/л.

Расход электроэнергии на обеззараживание ультразвуком 1 м<sup>3</sup> воды составляет 2 - 2,5 кВт-часа.

## 11. Специальные методы обработки воды

### 11.1. Проектирование сооружений для умягчения воды.

#### Выбор способа умягчения

Выбор способа зависит от показателей качества исходной воды, требований к умягченной воде и местных условий (наличия реагентов, площадей, экономических соображений и др.).

Общие характеристики различных способов умягчения приведены в таблице 11.1.

Таблица 11.1

#### Общие характеристики способов умягчения воды

| Способы умягчения                    | Требования к исходной воде |                |                 | Пределы возможного снижения жесткости, мг - экв/л |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------|-----------------|---------------------------------------------------|
|                                      | Общая жесткость, мг-экв/л  | Мутность, мг/л | Температура, °С |                                                   |
| Реагентный без подогрева             | 5-35                       | >500           | 10-20           | 0,5-1                                             |
| Реагентный с подогревом              | 5-35                       | >500           | 80-90           | 0,2 - 0,4                                         |
| Na-катионирование одноступенчатое    | >15                        | >8             | 30-40           | 0,03 0, 05                                        |
| Na-катионирование двухступенчатое    | 8-14                       | >8             | 30-40           | 0,01                                              |
| H-Na-катионирование параллельное     | >3,5                       | >8             | 30-40           | 0,03                                              |
| H-Na-катионирование последовательное | >3,5                       | >8             | 30-40           | 0,03                                              |

При выборе способа следует учитывать, что в зависимости от требований к жесткости умягченной воды возможны два варианта распределения потоков исходной воды:

- а) когда весь объем воды направляется на умягчительную установку;
- б) когда только часть воды направляется на умягчительную установку, а затем потоки умягченной и неумягченной воды смешиваются друг с другом.

При варианте «б» количество воды, подлежащей умягчению, в процентах от общего количества исходной воды определяется по формуле:

$$q_y = \frac{100(J_1 - J_2)}{J_1 - J_3}, \%, \quad (11.1)$$

где  $J_1$  – общая жесткость исходной воды, мг-экв/л;

$J_2$  – требуемая жесткость умягченной воды, мг-экв/л;

$J_3$  — жесткость воды на выходе из умягчительной установки, мг-экв/л.

### Расчет реагентных способов умягчения воды

При умягчении воды, предназначенной для хозяйственно-питьевых нужд, применяются два реагентных метода:

- а) известковый - с добавлением  $\text{CaO}$  или  $\text{Ca(OH)}_2$ ;
- б) известково-содовый - с добавлением  $\text{CaO}$  и  $\text{NaCO}_3$ .

Для подготовки воды в промышленных целях применяют едконатриевый ( $\text{NaOH}$ ), содово-едконатриевый ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$ ), известково-едконатриевый ( $\text{CaO} + \text{NaOH}$ ), фосфатный ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ), бариевый ( $\text{BaCO}_3$ ) методы.

При известковом методе доза извести определяется в зависимости от соотношения между концентрацией в воде кальция ( $\text{Ca}$ ) и карбонатной жесткости ( $J_K$ ):

- при  $\text{Ca}/2 > J_K$

$$D_u = 28 \left( \frac{\text{CO}_2}{22} + J_K + \frac{D_K}{l_K} + 0,3 \right), \text{ мг/л}, \quad (11.2)$$

- при  $\text{Ca}/2 < J_K$

$$D_u = 28 \left( \frac{\text{CO}_2}{22} + 2J_K - \frac{\text{Ca}}{20} + \frac{D_K}{l_K} + 0,5 \right), \text{ мг/л}, \quad (11.3)$$

где  $\text{CO}_2$  — концентрация в воде двуокиси углерода, мг/л;

$\text{Ca}$  – содержание в воде кальция, мг/л;

$D_K$  – доза коагулянта в расчете на безводный продукт, мг/л (при предварительной коагуляции воды);

$l_K$  – эквивалентная масса активного вещества в коагулянте (табл.5.1.).

При известково-содовом методе доза извести определяется по формуле:

$$D_u = 28 \left( \frac{CO_2}{22} + Ж_{\kappa} + \frac{Mg}{12} + \frac{D_{\kappa}}{l_{\kappa}} + 0,5 \right), \text{ мг/л.} \quad (11.4)$$

Доза соды определяется по формуле:

$$D_c = 53 \left( Ж_{\text{нк}} + \frac{D_{\kappa}}{l_{\kappa}} + 1,0 \right), \text{ мг/л,} \quad (11.5)$$

где  $Mg$  – содержание в воде магния, мг/л;

$Ж_{\text{нк}}$  – некарбонатная жесткость воды, мг/л.

Реагентное умягчение воды обычно осуществляется в вихревых реакторах (рис. 11.1).

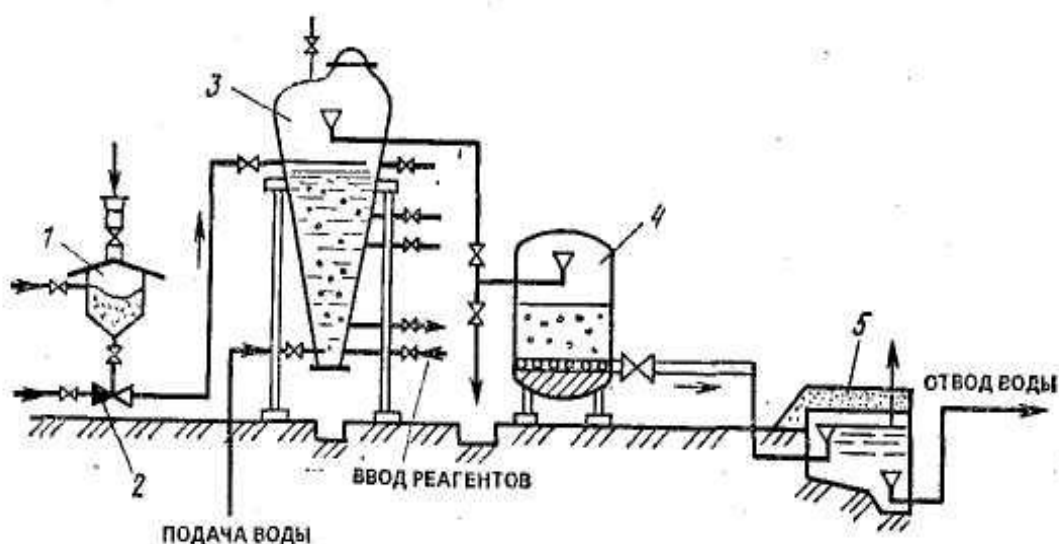


Рис. 11.1. Водоумягчительная установка с вихревым реактором:  
1- бункер с контактной массой; 2 - эжектор; 3- вихревой реактор;  
4- скорый фильтр; 5- резервуар умягченной воды

Диаметр нижнего сечения реактора рекомендуется принимать 0,5 м. Следовательно, площадь нижней части реактора равна  $f_n = 0,283 \text{ м}^2$ . Скорость движения воды в нижней части реактора определяется по формуле:

$$V_n = \frac{q}{f_n}, \text{ м/с,} \quad (11.6)$$

где  $q$  - расход воды, приходящийся на один реактор,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Угол конусности реактора принимается в пределах:  $\alpha = 15 - 20^\circ$ .

Скорость восходящего движения воды ( $V_B$ ) на уровне водоотводящих устройств принимается 0,004 - 0,006 м/с.

Площадь верхнего сечения реактора определяется по формуле:

$$f_{\text{в}} = \frac{q}{V_{\text{н}}}, \text{м}^2. \quad (11.7)$$

Диаметр верхнего сечения реактора:

$$D_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4f_{\text{в}}}{\pi}}, \text{м}. \quad (11.8)$$

Высота реактора:

$$h_{\text{р}} = \frac{(d_{\text{в}} - d_{\text{н}}) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}{2}, \text{м}. \quad (11.9)$$

Нижняя часть реактора загружается контактной массой из молотого известняка или мраморной крошки с крупностью зерен 0,2-0,3 мм.

Высота загрузки принимается  $0,5 h_{\text{р}}$ .

Диаметр реактора на высоте верха загрузки:

$$D = \left( h_{\text{з}} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^2 + d_{\text{н}}, \text{м}. \quad (11.10)$$

Площадь поверхности загрузки:

$$f_{\text{з}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{з}}^2}{4}, \text{м}^2. \quad (11.11)$$

Требуемый объем контактной массы:

$$W_{\text{з}} = \frac{h_{\text{з}} (f_{\text{з}} - \sqrt{f_{\text{н}} f_{\text{з}}} + f_{\text{н}})}{3}, \text{м}^3. \quad (11.12)$$

Скорость входа воды в реактор принимается 0,8-1,0 м/с.

Для задержания взвеси, выделяющейся в реакторе, обработанную в нем воду направляют после реактора в осветлители со взвешенным осадком, а затем на скорые фильтры. При количестве образовавшейся взвеси менее 12 мг/л осветлители со взвешенным осадком не предусматриваются.

### **Расчет умягчения воды на одноступенчатых Na-катионитовых установках**

При Na-катионировании происходит обмен ионов Ca и Mg на ионы Na. Этот процесс зависит от многих факторов: свойств катионитов, состава исходной воды, условий технологического процесса и других. Основные технологические характеристики катионитов, применяемых для умягчения воды, приведены в таблице 11.2.

Таблица 11.2

**Технологические характеристики катионитов**

| Катионит                  | Диаметр зерен, мм | Насыпная масса, т/м <sup>3</sup> |                  | Коэффициент набухания | Динамическая обменная емкость, г·гэкв/м <sup>3</sup> |
|---------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------------------------|
|                           |                   | воздушно-сухого                  | набухшего в воде |                       |                                                      |
| Сильнокислотные катиониты |                   |                                  |                  |                       |                                                      |
| Сульфоуголь I сорта       |                   |                                  |                  |                       |                                                      |
| Мелкий                    | 0,25-0,7          | 0,55                             | 0,42             | 1,32                  | 570                                                  |
| Крупный                   | 0,3-1,5           | 0,60                             | 0,47             | 1,28                  | 570                                                  |
| Сульфоуголь II сорта      |                   |                                  |                  |                       |                                                      |
| Мелкий                    | 0,25-0,7          | 0,55                             | 0,42             | 1,32                  | 580                                                  |
| Крупный                   | 0,3-1,5           | 0,60                             | 0,47             | 1,28                  | 530                                                  |
| КУ – 1                    | 0,3-1,2           | 0,74                             | 0,44             | 1,60                  | 650                                                  |
| КУ – 2                    | 0,3-1,2           | 0,71                             | 0,50             | 1,42                  | 1700                                                 |
| КУ – 3                    | 0,3-1,2           | 0,73                             | 0,25             | 2,92                  | 400                                                  |
| Слабокислотный катионит   |                   |                                  |                  |                       |                                                      |
| КБ - 4                    | 0,3-0,8           | 0,50                             | 0,40             | 1,20                  | 2800<br>(при Нр 9,5)                                 |

Схема установки для одноступенчатого Na-катионирования приведена на рис. 11.2. К Na-катионитам относятся все виды сульфоугля.

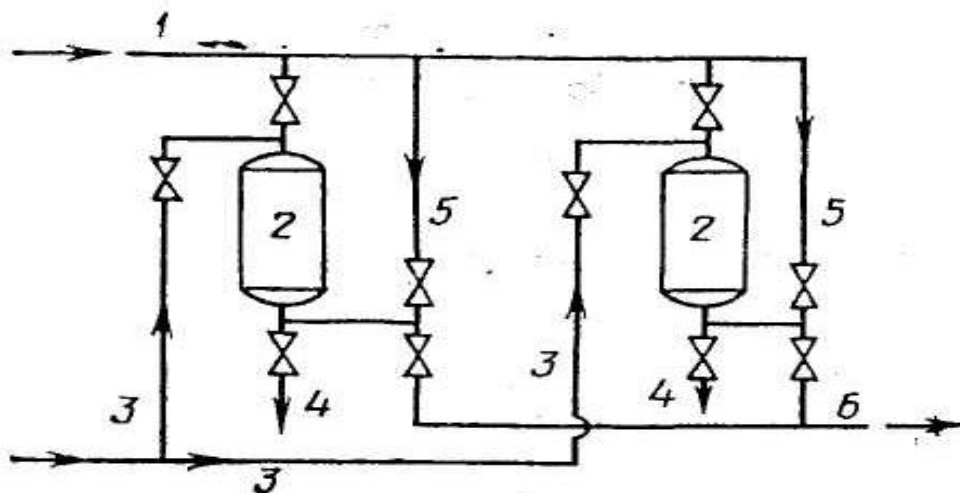


Рис. 11.2. Схема установки умягчения воды Na-катионированием

1 – жесткая вода; 2 – фильтры; 3 – регенерационный раствор соли;  
4 – сброс в дренаж; 5 – вода на взрыхление катионита; 6 – умягченная вода

Величина рабочей обменной емкости Na-катионита определяется по формуле:

$$E_{Na} = \alpha \cdot \beta \cdot E_q - 0,5 \cdot q_{уд} \cdot Ж_1, \text{ г-экв/м}^3, \quad (11.13)$$

где  $\alpha$  – коэффициент эффективности регенерации Na-катионита. Он принимается в зависимости от принятого удельного расхода поваренной соли на регенерацию по таблице 11.3;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий снижение обменной емкости катионита вследствие частичного задержания катионов Na. Он принимается в зависимости от отношения концентрации натрия в исходной воде ( $C_{Na}$ ) к жесткости исходной воды ( $J_1$ ) по таблице 11.4.;

$E_q$  – динамическая обменная емкость катионита, г.экв./м<sup>3</sup>;

$q_{уд}$  – удельный расход воды на отмывку катионита, принимаемый для сульфогля 4м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионита.

Таблица 11.3

**Удельный расход поваренной соли на регенерацию катионита**

| Удельный расход поваренной соли на регенерацию катионита, г на г-экв. динамической обменной емкости | 100  | 150  | 200  | 250  | 300  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| $\alpha$                                                                                            | 0,62 | 0,74 | 0,81 | 0,86 | 0,90 |

Таблица 11.4

**Коэффициент, учитывающий снижение обменной емкости вследствие частичного задержания катионов**

| $C_{Na}/J_1$ | 0,01 | 0,05 | 0,1  | 0,5 | 1    | 5    | 10  |
|--------------|------|------|------|-----|------|------|-----|
| $\beta$      | 0,93 | 0,88 | 0,83 | 0,7 | 0,65 | 0,54 | 0,5 |

Объем катионита в одноступенчатых фильтрах определяется по формуле:

$$W_K = \frac{24QJ_1}{n_p E_{Na}}, \text{ м}^3, \quad (11.14)$$

где  $Q$  – часовой расход умягченной воды, м<sup>3</sup>/час;

$n_p$  – число регенераций каждого фильтра в сутки, принимается  $n_p=1-3$ ;

$J_1$  – общая жесткость исходной воды, мг-экв/л.

Общая площадь катионитовых фильтров определяется по формуле:

$$F = \frac{W_K}{H_K}, \text{ м}^2, \quad (11.15)$$

где  $H_K$  – высота слоя катионита в фильтре, м.

Величина  $H_K$ , а также остальные технические характеристики Na-катионитовых фильтров принимаются по таблице 11.5. При этом следует учитывать, что количество рабочих фильтров должно быть не менее двух и один резервный.

Таблица 11.5

**Технические характеристики Na-катионитовых фильтров**

| Площадь фильтра, м <sup>2</sup> | Диаметр, мм | Высота слоя катионита, Н <sub>к</sub> , м | Строительная высота, мм | Диаметр подводящего патрубка, мм |
|---------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 0,38                            | 700         | 2,0                                       | 3200                    | 40                               |
| 0,38                            | 700         | 1,8                                       | 3000                    | 40                               |
| 0,78                            | 1000        | 2,0                                       | 3600                    | 50                               |
| 1,76                            | 1500        | 2,0                                       | 3950                    | 80                               |
| 3,1                             | 2000        | 2500                                      | 4870                    | 125                              |
| 5,3                             | 2600        | 2500                                      | 5195                    | 150                              |
| 7,0                             | 3000        | 2500                                      | 5460                    | 150                              |
| 9,0                             | 3400        | 2500                                      | 5724                    | 200                              |

**Расчет умягчения на двухступенчатых Na-катионитовых фильтрах**

На двухступенчатых Na-катионитовых фильтрах исходная вода сначала подается на фильтры первой ступени, а затем на фильтры второй ступени. Расчет фильтров первой ступени производится так же, как для одноступенчатых фильтров.

Методика расчета фильтров второй ступени в основном такая же, как для фильтров первой ступени. Следует учитывать, что в формулы 11.13, 11.15 вместо  $J_1$  следует подставлять величину  $J_2$  – жесткость умягченной воды после фильтров первой ступени. Технические характеристики фильтров второй ступени принимаются по таблице 11.6.

Таблица 11.6

**Технические характеристики Na-катионитовых фильтров второй ступени**

| Площадь фильтра, м <sup>2</sup> | Диаметр, мм | Высота слоя катионита, Н <sub>к</sub> , м | Строительная высота, мм | Диаметр подводящего патрубка, мм |
|---------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 0,78                            | 1000        | 1,5                                       | 2917                    | 80                               |
| 1,76                            | 1500        | 1,5                                       | 3303                    | 125                              |
| 3,1                             | 2000        | 1,5                                       | 3620                    | 150                              |
| 5,3                             | 2600        | 1,5                                       | 4000                    | 200                              |
| 7,0                             | 3000        | 1,5                                       | 4370                    | 250                              |

**Расчет умягчения воды на параллельных H-Na катионитовых фильтрах**

Схема установки для параллельного H-Na-катионирования приведена на рис. 11.3.

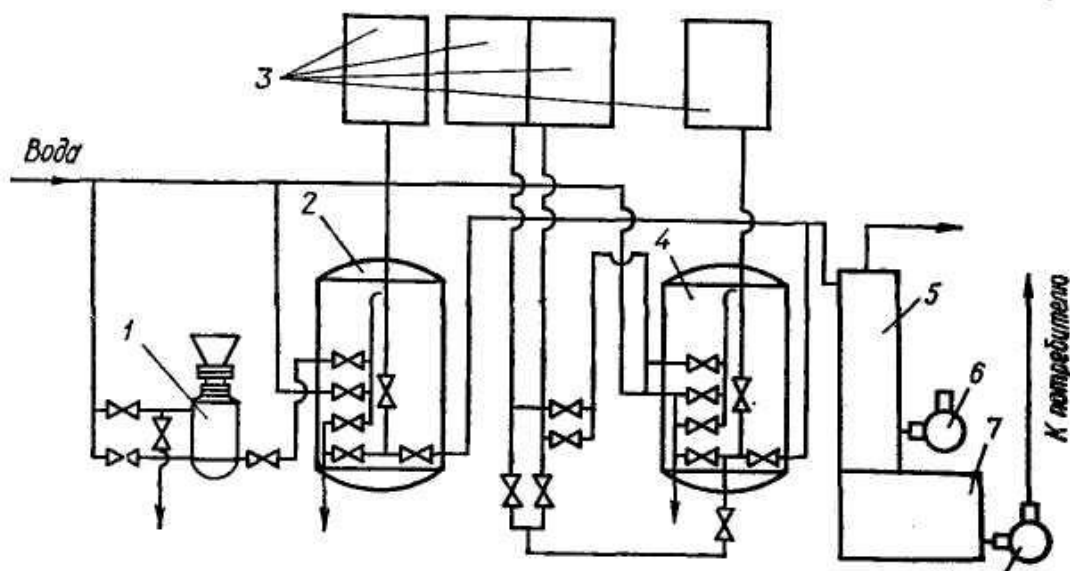


Рис. 11.3. Схемы установок умягчения воды параллельным H- и Na-катионированием: 1 – солерастворитель; 2, 4 – H-Na-катионитовые фильтры; 3 – баки для раствора кислоты и воды для взрыхления загрузки; 4 – декарбонизатор; 5 – дегазатор; 6 – вентилятор; 7 – сборный бак; 8 – насос; 9 – промежуточный бак.

Общий часовой расход воды делится на два потока.

Расход воды, подаваемый на H-катионитовые фильтры, определяется по формуле:

$$q_1 = \frac{Q(\text{Щ}_o - \text{Щ}_y)}{A + \text{Щ}_o}, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (11.16)$$

где  $\text{Щ}_o$  – щелочность исходной воды, г-экв/м<sup>3</sup>;

$\text{Щ}_y$  – требуемая щелочность умягченной воды, г-экв/м<sup>3</sup>;

A – суммарное содержание в умягченной воде анионов сильных кислот (сульфитов, хлоридов, нитратов и т.д.), г-экв/м<sup>3</sup>;

Расход воды, подаваемой на Na – катионитовые фильтры:

$$q_2 = q - q_1, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (11.17)$$

Величина рабочей обменной емкости H – катионитовых фильтров определяется по формуле:

$$E_H = \lambda_1 E_g - 0,5q_{\text{уд}}C_K, \text{ г-экв/м}^3, \quad (11.18)$$

где  $\lambda_1$  – коэффициент эффективности регенерации H –катионита, определяется по таблице 11.7;

$C_K$  – общее содержание в воде катионов кальция, магния, натрия и калия, г-экв/л;

$q_{\text{уд}}$  – удельный расход воды на отмывку катионита после регенерации, принимается 4- 5 м<sup>3</sup> воды на 1 м<sup>3</sup> катионита.

Таблица 11.7

|                                                                    |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Удельный расход серной кислоты<br>на регенерацию катионита, г-экв. | 50   | 100  | 150  | 200  |
| $\lambda_1$                                                        | 0,68 | 0,85 | 0,91 | 0,92 |

Объем катионита в Н – катионитовых фильтрах определяется по формуле:

$$W_{\kappa} = \frac{24q_1(\mathcal{K}_1 + C_{Na})}{n_p E_H}, \text{ м}^3, \quad (11.19)$$

где  $C_{Na}$  – концентрация в воде натрия, г-экв/м<sup>3</sup>.

Общая площадь Н – катионитовых фильтров определяется по формуле 11.15.

Основные технические характеристики Н – катионитовых фильтров приведены в таблице 11.8.

Таблица 11.8

#### Технические характеристики Н – катионитовых фильтров

| Площадь<br>фильтра, м <sup>2</sup> | Диаметр, мм | Высота слоя<br>катионита, Н <sub>к</sub> ,<br>м | Строительная<br>высота, мм | Диаметр<br>подводящего<br>трубопровода |
|------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| 0,78                               | 1000        | 2,0                                             | 3597                       | 50                                     |
| 1,76                               | 1500        | 2,0                                             | 3924                       | 80                                     |
| 3,1                                | 2000        | 2,5                                             | 4870                       | 125                                    |
| 5,3                                | 2600        | 2,5                                             | 5195                       | 150                                    |
| 7,0                                | 3000        | 2,5                                             | 5460                       | 150                                    |
| 9,0                                | 3400        | 2,5                                             | 5724                       | 200                                    |

Na – катионитовые фильтры рассчитываются по методике, приведенной в данном пособии. При этом в формулу 11.14 вместо величины Q подставляется величина  $q_2$ .

#### Расчет умягчения воды на последовательных Н – Na катионитовых фильтрах

При последовательном Н – Na катионировании весь объем воды, определенный по методике, изложенной выше, подается сначала на Н – катионитовые фильтры. Их расчет также ведется по методике, приведенной в данном пособии. При этом в формулу 11.14. подставляется величина Q.

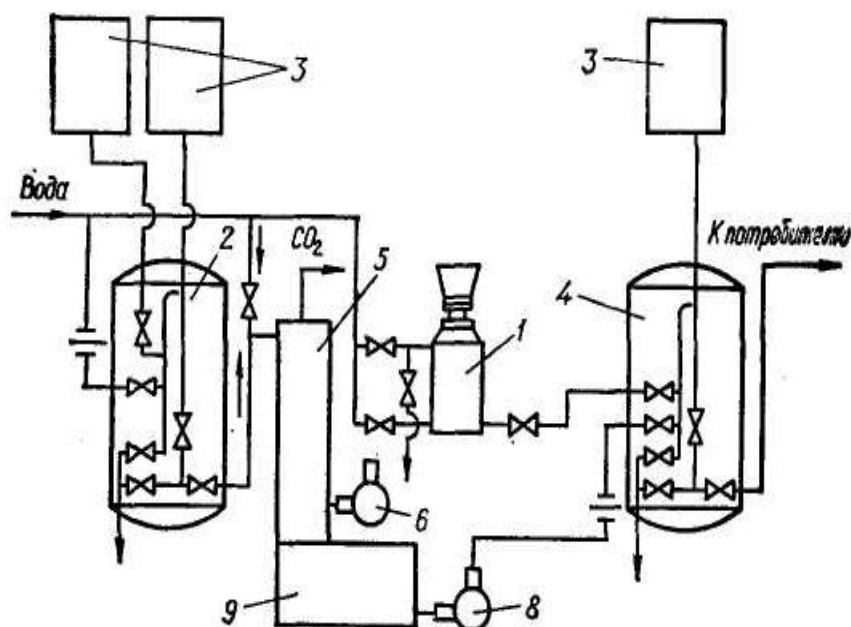


Рис. 11.4. Схемы установки умягчения воды последовательным Н- Na-катионированием:

1 – солерастворитель; 2, 4 – Н- Na-катионитовые фильтры;  
3 – баки для раствора кислоты и воды для взрыхления загрузки;  
4 – декарбонизатор; 5 – дегазатор; 6 – вентилятор;  
7 – сборный бак; 8 – насос; 9 – промежуточный бак

### Регенерация катионитовых фильтров

Интенсивность подачи воды для взрыхления катионита принимается при крупности зерен 0,5 – 1,1 мм.  $CO_B = 4 \text{ м}^3/\text{с м}^2$ , при крупности зерен 0,8 – 1,2 мм:  $CO_B = 5 \text{ м}^3/\text{с м}^2$ . Продолжительность взрыхления:  $t_B = 20 - 30$  мин. Расход воды на рыхление одного катионитового фильтра:

$$q_{\text{в}} = \frac{CO_{\text{в}} f \cdot t_{\text{в}} \cdot 60}{1000}, \text{ м}^3, \quad (11.20)$$

где  $f$  – площадь одного фильтра,  $\text{м}^2$ .

Взрыхление производится неумягченной водой. Объем бака для суточного запаса этой воды:

$$W = q_{\text{в}} \cdot N \cdot n, \text{ м}^3, \quad (11.21)$$

где  $N$  – количество фильтров;

$n$  – количество регенераций одного фильтра за сутки, принимается 2 -3.

Регенерацию Na - катионитовых фильтров производят раствором поваренной соли.

Расход соли на одну регенерацию:

$$P_{\text{с}} = \frac{f \cdot Na \cdot E_{Na} \cdot a}{1000}, \text{ кг}, \quad (11.22)$$

где  $a$  – удельный расход соли на 1 г рабочей обменной емкости, принимается для фильтров первой ступени 100 – 150 г-экв/м<sup>3</sup>, для фильтров второй ступени 150 – 300 г-экв/м<sup>3</sup>.

Суточный запас соли:

$$P_{c.сут} = P_c \cdot N \cdot n, \text{ кг/сут.} \quad (11.23)$$

Концентрацию регенерационного раствора поваренной соли принимают 5-8 %.

Регенерацию Н – катионитовых фильтров производят 1 – 1,5 % раствором серной кислоты. Этот раствор фильтруется со скоростью  $V_p = 10$  м/час. Расход концентрированной серной кислоты на регенерацию 1 фильтра определяется по формуле:

$$P_k = \frac{f \cdot H_k \cdot E_h \cdot a_1}{1000}, \text{ кг,} \quad (11.24)$$

где  $a_1$  – удельный расход кислоты для регенерации катионита, принимается 50 – 200 г/г-экв.

Суточный запас кислоты:

$$P_{k.сут} = P_k \cdot N \cdot n, \text{ кг/сут.} \quad (11.25)$$

Отмывка катионитовых фильтров производится умягченной водой.

Удельный расход отмывной воды (в) принимается 5–6 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионита.

Требуемый объем отмывной воды для одного фильтра:

$$W_0 = v \cdot f \cdot H_k, \text{ м}^3. \quad (11.26)$$

Объем бака для суточного запаса отмывной воды:

$$W_{\phi} = W_0 \cdot N \cdot n, \text{ м}^3. \quad (11.27)$$

Отмывная вода фильтруется через загрузку со скоростью 10 м/час.

## 11.2. Проектирование сооружений для опреснения и обессоливания воды. Выбор метода

При опреснении воды содержание солей должно быть снижено до величины, делающей воду пригодной для питьевых целей ( $P < 1000$  мг/л). Обессоливание должно обеспечивать более полное удаление солей до величин, установленных техническими требованиями. Выбор метода опреснения или обессоливания рекомендуется производить, используя данные, приведенные в таблице 11.9.

Выбор метода удаления солей

| Солесодержание в исходной воде, мг/л | Требуемое солесодержание после очистки, мг/л | Название метода                     |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1500 – 2000                          | 0,1 – 20                                     | Ионный обмен                        |
| 1500 - 15000                         | ≤ 500                                        | Электродиализ                       |
| <10000                               | 0,5 – 50                                     | Дистилляция                         |
| ≥ 40000                              | 10 – 1000                                    | Обратный осмос<br>(гиперфильтрация) |

При выборе метода следует учитывать, что возможно удаление солей из всего объема обрабатываемой воды, либо из части этого объема с последующим перемешиванием всего объема. В этом случае количество воды, подлежащей опреснению в % от общего объема, определяется по формуле:

$$q_0 = \frac{100(O_1 - O_2)}{O_1 - O_3}, \%, \quad (11.28)$$

где  $O_1$  – солесодержание в исходной воде, мг/л;

$O_2$  – требуемое содержание солей в воде после опреснения,

$O_3$  – содержание солей на выходе из опреснительной установки, мг/л.

### Расчет ионообменных установок

Вода, подаваемая на ионообменные установки, должна содержать взвешенных веществ не более 8 мг/л, цветность – не более 30 град, перманганатную окисляемость - не более 7 мг О/л, хлоридов и сульфатов – не более 5 мг – экв / л.

Могут применяться одно- двух- и трехступенчатые схемы ионообменных установок. При одноступенчатой схеме содержание солей снижается до 20 мг/л, при двухступенчатой до 0,5 мг/л, при трехступенчатой до 0,1 мг/л.

Схема одноступенчатой установки для ионообменного обессоливания воды приведена на рис. 11.5.

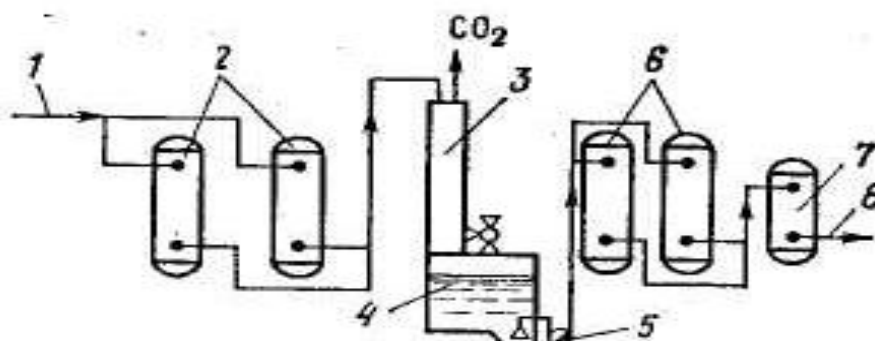


Рис. 11.5. Схема одноступенчатой ионообменной установки для частичного обессоливания воды: 1-подача исходной воды, 2 – водород-катионитовые фильтры; 3-дегазатор; 4- промежуточный резервуар; 5-насос; 6 – анионитовые фильтры; 7- буферный натрий-катионитовый фильтр; 8-отвод обессоленной воды

Методика расчета Н – катионитовых фильтров приведена в данном пособии. При этом следует принимать удельный расход серной кислоты 100 г на 1 г - экв поглощения катионита, марки КУ – 2.

Общая площадь фильтрования анионитовых фильтров определяется по формуле:

$$F_a = \frac{Q_{сут}}{n_p T_1 V_1}, \text{ м}^2, \quad (11.29)$$

где  $Q_{сут}$  – суточная производительность водоочистной установки,  $\text{м}^3/\text{сут}$  (с учетом собственных нужд);

$n_p$  – число регенераций анионита за сутки, принимается 1 – 2;

$V_1$  – расчетная скорость фильтрования, принимается 4 – 30 м/час;

$T_1$  – продолжительность работы фильтра между регенерациями, час.

$$T_1 = \frac{24}{n_p} - \tau_p, \text{ час}, \quad (11.30)$$

где  $\tau_p$  – общая продолжительность всех операций по регенерации фильтров, принимается  $\tau_p = 5$  час.

Технические характеристики анионитовых фильтров и Н – катионитовых фильтров II и III ступеней приведены в таблице 11.10. По данным таблицы 11.10. принимается количество анионитовых фильтров.

Таблица 11.10

**Технические характеристики анионитовых фильтров и Н – катионитовых фильтров II и III ступеней**

| Площадь фильтра, $\text{м}^2$ | Диаметр, мм | Высота слоя загрузки, мм | Строительная высота, мм | Диаметр подводящего патрубка, мм |
|-------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 0,78                          | 1000        | 1,5                      | 2922                    | 80                               |
| 1,76                          | 1500        | 1,5                      | 3308                    | 125                              |
| 3,1                           | 2000        | 1,5                      | 3620                    | 150                              |
| 5,3                           | 2600        | 1,5                      | 4000                    | 200                              |
| 7,0                           | 3000        | 1,5                      | 4370                    | 250                              |

Схема двухступенчатой установки для ионообменного обессоливания воды приведена на рис. 11.6.

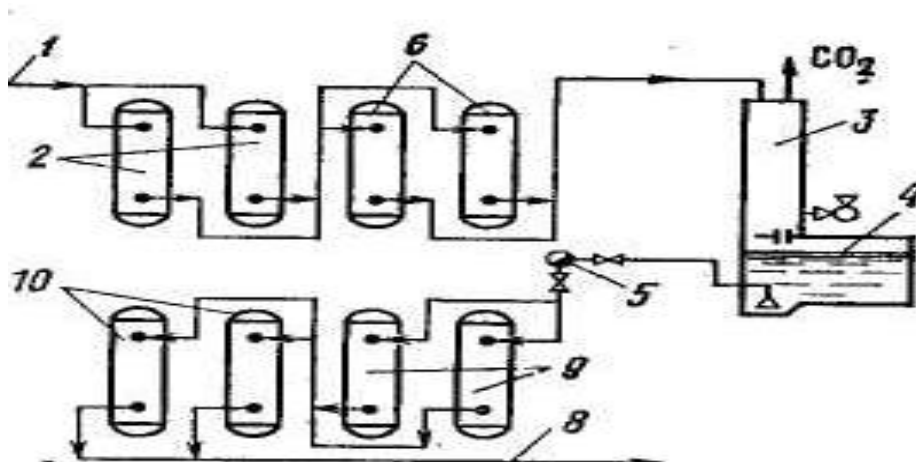


Рис. 11.6. Схема установки для обессоливания воды ионитами с двухступенчатым Н-катионированием:

1-подача исходной воды, 2-водород-катионитовые фильтры; 3-дегазатор;  
4- промежуточный резервуар; 5-насос; 6 – анионитовые фильтры; 7- буферный натрий-катионитовый фильтр; 8-отвод обессоленной воды

Скорость фильтрования на анионитовых фильтрах II и III ступеней принимается в пределах:  $V_1 = 15 - 25$  м/час. Загрузка анионитовых фильтров II и III ступеней производится сильноосновными анионитами.

Регенерация анионитовых фильтров I ступени производится 4%-ным раствором кальцинированной соды; II и III ступеней – 4%-ным раствором едкого натра.

Схема дегазатора (для удаления  $\text{CO}_2$ ) приведена на рис. 11.7.

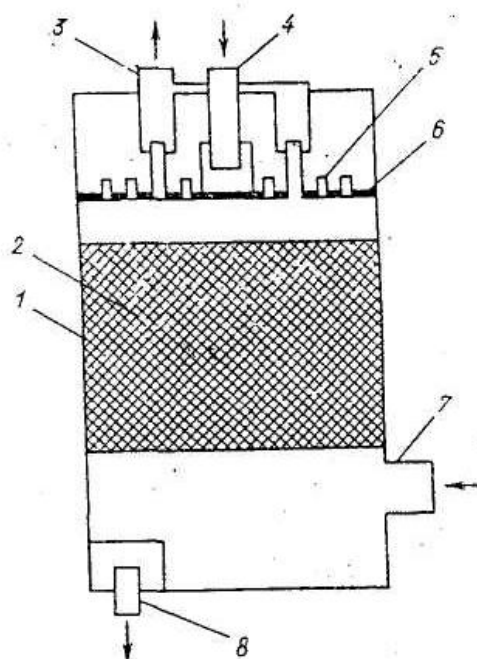


Рис.11.7. Схема дегазатора:

1-цилиндрический бак; 2-объем, занятый насадками; 3-отвод газа в атмосферу;  
4-подача исходной воды; 5-распределительные сопла; 6-перегородка; 7-подача воздуха;  
8-гидравлический затвор для отвода воды из дегазатора

Насадки выполняют из керамики (пропускная способность  $q_n=60$  м<sup>3</sup>/час) или из деревянных хорд ( $q_n=40$  м<sup>3</sup>/час). Требуемое количество рабочих дегазаторов определяется по формуле:

$$N_p = \frac{Q_{\text{час}}}{q_n}, \text{ шт.} \quad (11.31)$$

Толщина слоя насадок принимается в зависимости от количества  $\text{CO}_2$  в воде, подаваемой в дегазатор и от вида принятых насадок по таблице 11.11.

Таблица 11.11

### Толщина слоя насадок в дегазаторе

| Содержание $\text{CO}_2$ в воде,<br>г/м <sup>3</sup> | Толщина слоя насадок в дегазаторе, м |            |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------|
|                                                      | керамические                         | деревянные |
| 50                                                   | 3                                    | 4          |
| 100                                                  | 4                                    | 5,2        |
| 150                                                  | 4,7                                  | 6          |
| 200                                                  | 5,1                                  | 6,5        |
| 250                                                  | 5,5                                  | 6,8        |
| 300                                                  | 5,7                                  | 7          |

### Расчет электродиализной установки

Вода, подаваемая на электродиализные установки, должна содержать взвешенных веществ  $\leq 1,5$  мг/л; цветность  $\leq 20^0$  ПКШ; пермарганатную окисляемость  $\leq 5$  мгО/л; железа  $\leq 0,05$  мг/л; марганца  $\leq 0,05$  мг/л;  $\text{VO}_2 \leq 3$  мг/л; брома  $\leq 0,4$  мг/л.

Выбор типа (марки) электродиализной установки производится по величине расхода исходной воды, пользуясь таблицами 11.12 и 11.13.

Таблица 11.12

### Технические характеристики электродиализаторов малой и средней производительности (до 400 м<sup>3</sup>/сут.)

| Производительность,<br>м <sup>3</sup> /сут. | Марка       | Расход электроэнергии, кВт час |                                    | Максимальная потребляемая мощность, кВт |
|---------------------------------------------|-------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                             |             | на 1 кг удаленной соли         | на 1 м <sup>3</sup> очищенной воды |                                         |
| 2,5 – 3,0                                   | Родник 1    | 0,2 – 0,3                      | -                                  | -                                       |
| 3,8 – 5,0                                   | ЭМОУ-5      | -                              | 16 – 34                            | -                                       |
| 7,2                                         | ЭД-60       | 1,4                            | -                                  | -                                       |
| 24                                          | ЭД-1        | 1,4                            | -                                  | -                                       |
| 30                                          | ЭХО-500х200 | -                              | -                                  | 123                                     |
| 50                                          | ЭДУ-50      | 1,0                            | -                                  | 20                                      |
| 50                                          | ЭДУП-50     | 1,0                            | -                                  | -                                       |
| 200                                         | ЭДУ-300     | -                              | 3,82                               | -                                       |

Таблица 11.13

### Технические характеристики электродиализаторов большой производительности (более 400 м<sup>3</sup>/сут.)

| Производительность, м <sup>3</sup> /сут. | Марка    | Сила тока, А | Напряжение, В | Степень опреснения за один проход, %, Sc |
|------------------------------------------|----------|--------------|---------------|------------------------------------------|
| 500                                      | ЭДУ-500  | 30           | 500           | 25                                       |
| 1000                                     | ЭДУ-1000 | 90           | 500           | 35                                       |
| 2000                                     | ЭДУ-2000 | 300          | 1000          | 50                                       |
| 3000                                     | ЭДУ-3000 | 400          | 1000          | 45                                       |
| 6000                                     | ЭДУ-4000 | 600          | 1000          | 48                                       |

Электродиализные установки бывают порционного и непрерывного действия (рис. 11.8).

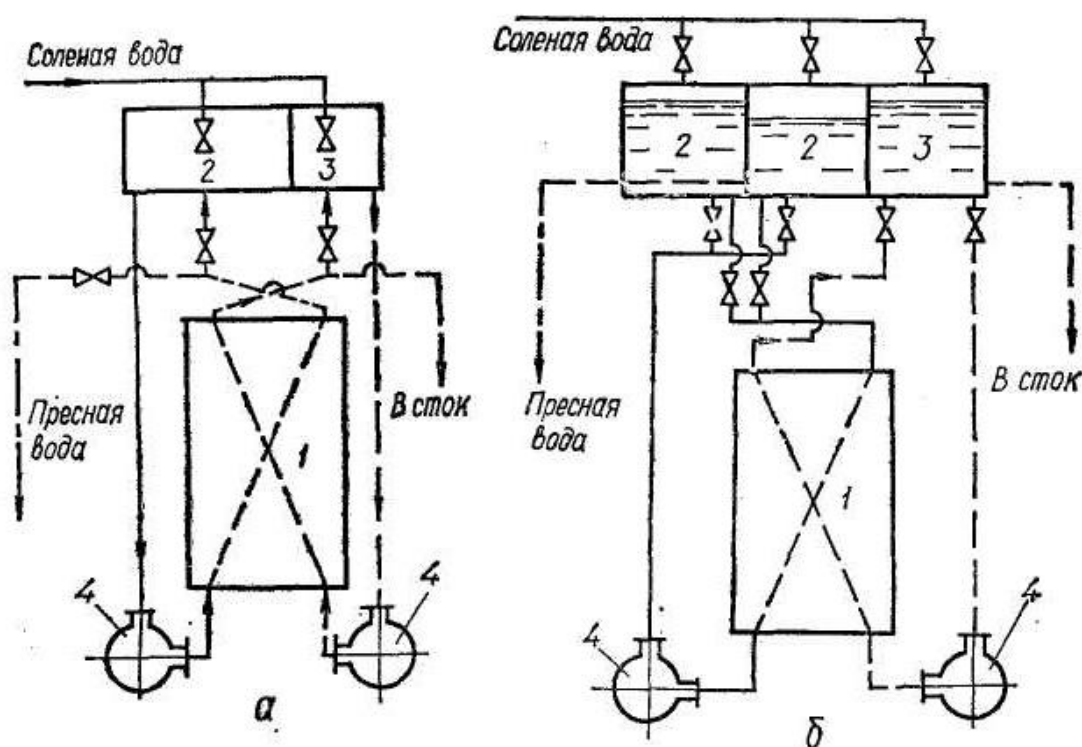


Рис. 11.8. Схема порционной (а) и непрерывно действующей (б) циркуляционных электродиализных установок:  
1 – ванна; 2 – рабочие баки; 3 – баки для рассола; 4 – насосы для рассола и диализа

По общей производительности опреснительной станции  $Q_0$ , м<sup>3</sup>/сут принимается марка установок (таблицы 11.12 и 11.13) и их количество в каждой ступени.

Определяется коэффициент предельного снижения солесодержания диализата:

$$a_c = \frac{100 - S_c}{100}, \quad (11.32)$$

где  $S_c$  - степень опреснения за один проход, %, принимается по таблице 11.13, а при отсутствии данных в пределах  $a_c = 25 - 35\%$ .

Назначается число ступеней опреснения  $Z$  по схеме:

$$C_u \rightarrow a_c C_u \rightarrow a_c^2 C_u \dots a_c^z C_u \rightarrow Con, \quad (11.33)$$

где  $C_u$  - солесодержание в исходной воде, мг/л, а также после 1, 2 и  $z$  ступени;  $Con$  - требуемое солесодержание опресненной воды.

При расчете каждой ступени проверяется условие:

$$a_c^z C_u \leq Con. \quad (11.34)$$

## Проектирование дистилляционной установки

Дистилляция заключается в нагреве воды до образования пара, который затем конденсируется. По характеру теплоиспользования дистилляционные установки подразделяются на одноступенчатые и многоступенчатые. Схема одноступенчатой дистилляционной установки приведена на рис. 11.9.

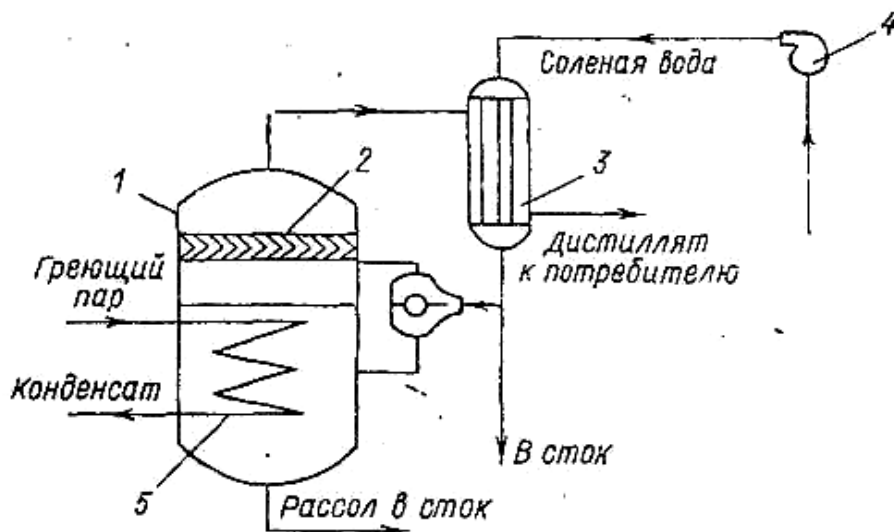


Рис. 11.9. Принципиальная схема одноступенчатого дистилляционного аппарата:

1 – корпус; 2 – сепаратор; 3 – конденсатор;  
4 – насос охлаждающей воды; 5 – нагревательный элемент

Многоступенчатые дистилляционные установки представляют собой несколько последовательно работающих одноступенчатых установок. Промышленность выпускает большое количество дистилляционных установок различных марок, рассчитанных на различную производительность. Поэтому проектирование опреснительных станций на базе дистилляционных установок заключается в выборе наиболее экономичной марки, обеспечивающей требуемую производительность. При этом следует учитывать, что удельный расход электроэнергии в современных дистилляционных установках составляет 3,5 – 4,5 кВт·часа на одну тонну дистиллята, причем с повышением содержания солей в исходной воде стоимость опреснения увеличивается весьма незначительно.

## Проектирование гиперfiltrационной установки

Процесс опреснения воды гиперfiltrацией заключается в фильтровании опресненной воды через полупроницаемые мембраны, задерживающие растворенные в воде соли. Давление, при котором обеспечивается процесс гиперfiltrации, должно быть от 5 мПа до 10 мПа в зависимости от содержания солей в исходной воде.

Схема гиперfiltrационной установки приведена на рис. 11.10.

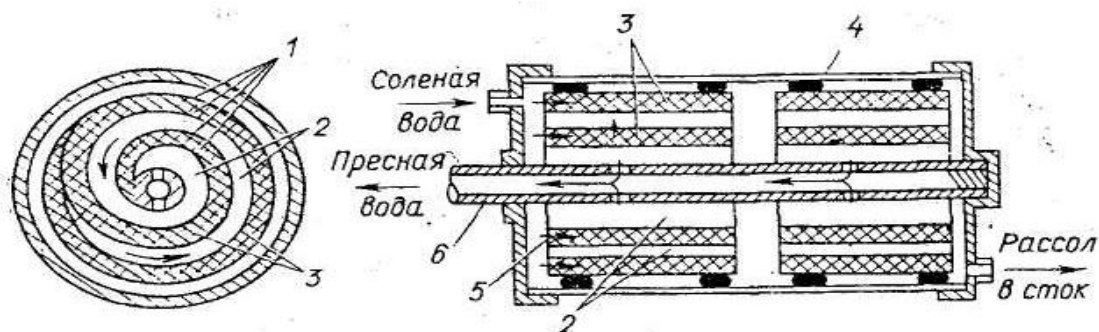


Рис. 11.10. Схема гиперфльтрационной установки:

- 1 – ацетилцеллюлозные мембраны; 2 – пространство для отвода пресной воды;  
3 – пространство для подвода соленой воды; 4 – кожух; 5 – водонепроницаемая стенка;  
6 – перфорированная труба

Основные характеристики гиперфльтрационных мембран приведены в таблице 11.14, гиперфльтрационных аппаратов - в таблице 11.15.

Проектирование гиперфльтрационной установки заключается в выборе марки мембраны, определении в зависимости от требуемой производительности общей площади поверхности мембран, выборе марки гиперфльтрационного аппарата и определении расчетного количества аппаратов.

Таблица 11.14

#### Характеристики гиперфльтрационных мембран

| Производительность в сутки, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> | Марка мембраны | Селективность, % | Пористость, % |
|------------------------------------------------------------|----------------|------------------|---------------|
| 0,15                                                       | МГА-100        | 97,5             | 75            |
| 0,25                                                       | МГА-95         | 95               | 75            |
| 0,35                                                       | МГА-90         | 90               | 75            |
| 0,60                                                       | МГА-80         | 80               | 75            |

Таблица 11.15

#### Характеристики гиперфльтрационных аппаратов

| Марка аппарата    | Производительность одного аппарата, м <sup>3</sup> /сут |
|-------------------|---------------------------------------------------------|
| Фильтр-пресс УГ-1 | 1                                                       |
| ВНИИСС-2          | 2                                                       |
| ВНИИСС-3          | 3                                                       |
| НИИХИММАШ         | 40                                                      |

### 11.3. Проектирование сооружений для обезжелезивания воды

Присутствие железа в воде крайне нежелательно. Длительное употребление воды с содержанием железа более 0,3 мг/л может привести к развитию различных заболеваний. В частности, железо способно накапливаться до токсической концентрации в органах и тканях, включая суставы, печень, эндок-

ринные железы и сердце. Кроме того, вода с высоким содержанием железа приобретает желто-бурую окраску, металлический привкус, неприятный запах. Такая вода практически непригодна для технического и питьевого применения. Поэтому воду с повышенным содержанием железа необходимо обезжелезивать [29, 30, 31].

Как правило, железо присутствует в естественных водах в различных формах:

- двухвалентные ионы железа, растворимые в воде ( $\text{Fe}^{2+}$ );
- трехвалентные ионы железа, растворимые только в очень кислой воде ( $\text{Fe}^{3+}$ );
- нерастворимая гидроокись трехвалентного железа  $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ ;
- окись трехвалентного железа, присутствующая в виде частиц ржавчины из труб;
- в комбинации с органическими соединениями или железными бактериями. Железные бактерии часто живут в воде, содержащей железо. По мере размножения, эти бактерии могут образовывать красно-коричневые наросты, которые могут забивать трубы и снижать напор воды. Разлагающаяся масса этих железных бактерий может быть причиной неприятного запаха и вкуса воды, а также появления пятен.

### **Выбор способа обезжелезивания**

Существует много различных методов обезжелезивания подземных вод. По классификации Г.И.Николадзе [29] их можно разделить на две основные группы: безреагентные (физические) и реагентные (с применением окислителей). Из применяемых в настоящее время безреагентных методов обезжелезивания воды перспективными являются: вакуумно-эжекторная аэрация и фильтрование; упрощенная аэрация и фильтрование; "сухая фильтрация"; фильтрование на каркасных фильтрах; аэрация и двухступенчатое фильтрование.

К реагентным относятся следующие методы: упрощенная аэрация – окисление - фильтрование; напорная флотация с известкованием и последующим фильтрованием; известкование - отстаивание в тонкослойном отстойнике и фильтрование; фильтрование через модифицированную загрузку; электрокоагуляция; катионирование.

Обезжелезивание поверхностных вод можно осуществлять только реагентными методами.

Классификация традиционных способов обезжелезивания и условия их применения приведены в таблице 11.16.

**Классификация традиционных способов обезжелезивания  
и условия их применения**

| №                                                                                                                                                                                                     | Метод обезжелезивания                                                                                              | Область применения                                                                                                                                                                                                           | Состав сооружений                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Безреагентные методы: $pH_{исх} \geq 6,7$ ; щелочность (Щ) $\geq 1,5$ мг-экв/л; перманганатная окисляемость (ПО) $< 9,5$ мг $O_2$ /л; Fe (III) $< 10\%$ Feобщ; $CO_2 < 80$ мг/л; $H_2S \leq 2,0$ мг/л |                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |
| 1                                                                                                                                                                                                     | Фильтрация на каркасных фильтрах                                                                                   | Feобщ до 5 мг/л<br>Fe(II) в карбонатной или бикарбонатной форме до 3 мг/л,<br>Q до 1000м <sup>3</sup> /сут                                                                                                                   | Оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания; скорый каркасно-засыпной фильтр                                                                 |
| 2                                                                                                                                                                                                     | «Сухая» фильтрация                                                                                                 | Feобщ до 5 мг/л                                                                                                                                                                                                              | Оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания; скорый фильтр                                                                                   |
| 3                                                                                                                                                                                                     | Упрощенная аэрация с одноступенчатым фильтрованием                                                                 | Feобщ до 10 мг/л, F(II) - 70%,<br>$E \geq +100$ мВ;<br>$J > +0,05$ для воды после аэрации<br>Fe <sup>2</sup><br>$Щ \geq 1+—$<br>28<br>ограниченное применение при наличии органики и аммонийного азота<br>$a \geq 0,10-0,20$ | Бак-аэратор или устройство для свободного излива воды; скорый фильтр; оборудование для обеззараживания воды                                                |
| 4                                                                                                                                                                                                     | Упрощенная аэрация с двухступенчатым фильтрованием                                                                 | Feобщ от 10 до 20мг/л                                                                                                                                                                                                        | Бак-аэратор или устройство для свободного излива; скорые фильтры I и II ступеней; оборудование для обеззараживания воды                                    |
| 5                                                                                                                                                                                                     | Вакуумно-эжекционная аэрация с фильтрованием через загрузку большой грязеёмкости                                   | Feобщ от 10 до 30 мг/л;<br>ПО $< 9,5$ мг $O_2$ /л; $H_2S$ до 10 мг/л                                                                                                                                                         | Вакуумно-эжекционный аппарат; скорый фильтр; оборудование для обеззараживания воды                                                                         |
| 6                                                                                                                                                                                                     | Вакуумно-эжекционная аэрация с тонкослойным отстаиванием или осветлением в слое взвешенного осадка и фильтрованием | Feобщ $> 20$ мг/л или при наличии $H_2S$ от 1 до 5 мг/л, $pH \geq 6,4$                                                                                                                                                       | Вакуумно-эжекционный аппарат; отстойник с тонкослойными модулями (осветлитель со взвешенным осадком); скорый фильтр; оборудование для обеззараживания воды |
| 7                                                                                                                                                                                                     | Обезжелезивание в пласте                                                                                           | Feобщ до 5 мг/л,<br>Mn(II) до 0,4 мг/л, $pH \geq 5$                                                                                                                                                                          | Устройства и оборудование для подсоса воздуха и закачки части воды в водоносный горизонт                                                                   |

| Реагентные методы: низкие значения pH, высокая перманганатная окисляемость, нестабильность воды |                                                                                                                   |                                                                                                             |                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8                                                                                               | Фильтрация через модифицированную загрузку                                                                        | Fe <sub>общ</sub> до 12 мг/л, Fe(II) в карбонатной или сернокислой форме до 10 мг/л; ПО до 15 мг/л          | Скорый фильтр с модифицированной загрузкой; оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания воды                                           |
| 9                                                                                               | Упрощенная аэрация с обработкой сильным окислителем и фильтрованием через зернистую загрузку большой грязеемкости | Fe <sub>общ</sub> до 18 мг/л, Fe(II) в карбонатной или сернокислой форме до 15 мг/л; ПО до 15 мг/л          | Аэратор; реагентное хозяйство; контактный фильтр КФ-5; оборудование для обеззараживания воды                                                         |
| 10                                                                                              | Известкование, напорная флотация с последующим фильтрованием                                                      | Fe <sub>общ</sub> более 15 мг/л, Fe(II) в карбонатной или сернокислой форме более 10 мг/л; ПО более 15 мг/л | Реагентное хозяйство; флотатор; оборудование для подготовки водовоздушной смеси и обеззараживания воды; скорый фильтр                                |
| 11                                                                                              | Аэрация, известкование, тонкослойное отстаивание и фильтрование                                                   | та же, что и в п. 10, pH $\geq$ 7                                                                           | Аэратор; реагентное хозяйство; камера хлопьеобразования встроенная в отстойник; скорый фильтр; оборудование для обеззараживания воды                 |
| 12                                                                                              | Электрокоагуляция с барботированием, тонкослойное отстаивание и фильтрование                                      | та же, что и в п. 10 при Q < 200 м <sup>3</sup> /сут                                                        | Электрокоагулятор; тонкослойный отстойник с камерой хлопьеобразования; скорый фильтр; оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания воды |
| 13                                                                                              | Катионирование                                                                                                    | При необходимости одновременного обезжелезивания и умягчения воды                                           | Катионитовые фильтры; оборудование для подготовки регенерационного раствора                                                                          |

Многообразие методов обезжелезивания воды исключает их равноценность в отношении надежности, технологичности, экономической целесообразности, простоты, области применения и т. п., поэтому они имеют свои плюсы и минусы.

Среди существенных недостатков традиционных технологий очистки воды от железа можно выделить:

- ограниченную область применения;
- значительные колебания качества очищенной воды;
- большие габариты и ресурсоемкость оборудования;
- значительные затраты электроэнергии;
- использование больших количеств дорогостоящих химических реагентов, а также необходимость в организации их хранения и приготовления.

Безреагентные методы очистки воды обладают рядом преимуществ по сравнению с реагентными [29, 32, 33, 34]:

- не используют в процессе своей работы химические окислители (марганцовку, гипохлорит), окисление двухвалентного железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ) происходит либо естественной, либо принудительной аэрацией кислородом воздуха;
- промывные воды могут сливаться в любой вид септиков;
- отсутствуют затраты на реагенты в процессе работы системы;
- вода, прошедшая очистку безреагентным методом, лучше по органолептическим качествам, чем вода, очищенная реагентными способами.

Однако имеются и существенные недостатки:

- при фильтрации больших потоков (производительность от  $3\text{ м}^3/\text{час}$ ) требуется увеличение объема аэратора-дегазатора в безнапорных системах, а в напорных – использование дорогих компрессоров большой производительности;
- низкий уровень надежности в общей работе безреагентной системы методом "напорной" аэрации (компрессором) при продолжительных нагрузках и работе в пиковых режимах из-за ограниченного объема и времени контакта воды с кислородом воздуха. Системы, основанные на методе "безнапорной" аэрации, таких недостатков лишены.

Несмотря на явные преимущества безреагентных методов обезжелезирования, существует ряд условий, при которых без реагентных методов обойтись невозможно.

Выбор способа обезжелезирования, а также расчетных параметров сооружений и доз реагентов производят на основании результатов технических изысканий, выполненных непосредственно у источника водоснабжения. Для предварительных расчетов выбор схемы рекомендуется производить по таблице 11.17.

Таблица 11.17

**Рекомендации по выбору технической схемы обезжелезирования воды**

| Виды вод      | Технологическая схема                                                | Условия применения                                                                                                                                             |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Подземные     | Упрощенная аэрация-фильтрование                                      | Общее железо до 10 мг/л, в том числе двухвалентное - не менее 70%; pH – не менее 6,8; щелочность более $(1+\text{Fe}^{2+}/28)$ ; сероводород – не более 2 мг/л |
|               | Аэрация на специальных устройствах-фильтрование                      | То же, но двухвалентное железо более 70%                                                                                                                       |
|               | Введение реагентов-окислителей-фильтрование                          | Общее железо более 10 мг/л; pH – менее 6,8; сероводород – более 2 мг/л                                                                                         |
| Поверхностные |                                                                      | Мутность не более 30 мг/л; цветность – не более 50 град.                                                                                                       |
|               | Обработка воды с применением коагулянтов и подщелачивающих реагентов | Схема такая же, как для осветления и обесцвечивания воды; дозы щелочи увеличены                                                                                |

## Упрощенная аэрация

Упрощенная аэрация представляет собой свободный излив воды в карман или центральный канал открытых фильтров с высоты 0,5 – 0,6 м. При применении напорных фильтров предусматривается ввод воздуха в подающий трубопровод из расчета 2 л воздуха на 1 г закисного железа. Если в воде присутствует свободная углекислота более 40 мг/л и сероводород – более 0,5 мг/л, то свободный излив воды предусматривается в промежуточную емкость, устанавливаемую перед фильтрами. В этом случае ввод воздуха в трубопровод не предусматривается.

## Аэрация на специальных установках

В качестве специальных устройств-аэраторов рекомендуется использовать дегазаторы. Схема дегазатора приведена на рис.11.7.

## Введение реагентов-окислителей

В качестве реагентов-окислителей применяют хлор и перманганат калия.

Доза хлора для обезжелезивания определяется по формуле:

$$D_x = 0,7 \cdot Fe^{+2}, \text{ мг/л.} \quad (11.35)$$

Доза перманганата калия равняется содержанию в воде двухвалентного железа:

$$D_n = Fe^{+2}, \text{ мг/л.} \quad (11.36)$$

Ввод реагентов - окислителей производят в подающий трубопровод перед фильтрами.

## Фильтры для обезжелезивания воды

Конструкции фильтров для обезжелезивания воды следует принимать аналогично фильтрам для осветления воды.

При использовании упрощенной аэрации характеристика фильтрующего слоя и расчетная скорость фильтрования принимаются по таблице 11.18. Для водоочистных станций производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч можно принять один фильтр. При большей производительности количество фильтров должно быть не менее двух.

### Характеристика фильтрующего слоя и расчетная скорость фильтрования при использовании упрощенной аэрации

| Характеристики фильтрующих слоев при обезжелезивании воды упрощенной аэрацией |                                |                                 |                            |                               | Расчетная скорость фильтрования, м/ час |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|
| Минимальный диаметр зерен, мм                                                 | Максимальный диаметр зерен, мм | Эквивалентный диаметр зерен, мм | Коэффициент неоднородности | Толщина фильтрующего слоя, мм |                                         |
| 0,8                                                                           | 1,8                            | 0,9 – 1,0                       | 1,5 – 2,0                  | 1000                          | 5 – 7                                   |
| 1                                                                             | 2                              | 1,2 – 1,3                       | 1,5 – 2,0                  | 1200                          | 7 - 10                                  |

*Примечание:* при наличии в воде сероводорода принимаются меньшие значения скорости фильтрования.

### Обезжелезивание поверхностных вод

Обезжелезивание поверхностных вод предусматривается одновременно с их осветлением и обесцвечиванием. При этом доза извести определяется по формуле:

$$D_u = 28 \left( \frac{CO_2}{22} + \frac{Fe^{+2}}{28} + \frac{D_k}{l_k} \right), \text{ мг/л,} \quad (11.37)$$

где  $CO_2$  – содержание свободной окиси углерода в исходной воде, мг/л;

$Fe^{+2}$  – содержание двухвалентного железа в исходной воде, мг/л;

$D_k$  – доза коагулянта, мг/л;

$l_k$  – эквивалентная масса коагулянта, мг/мг-экв.

### Новая технология обезжелезивания подземных вод

Для решения указанных выше проблем целесообразно в дальнейшем отказаться от использования типовых высокочрезвычайно затратных, громоздких и плохо управляемых станций обезжелезивания и приступить к разработке и внедрению новой малозатратной безотходной нанотехнологии обезжелезивания подземных вод. Такая технология разработана в ВоГТУ [35].

Основными задачами, которые были поставлены при выполнении данной разработки, являлись:

- повышение надежности процесса обезжелезивания воды;
- обеспечение гарантированного качества очищенной от железа воды независимо от количества ионов железа в исходной воде;
- расширение возможностей применения за счет компактности оборудования;
- обеспечение гибкого автоматического управления;
- попутное получение ценного продукта – гидроксида железа;
- уменьшение строительных и эксплуатационных затрат.

Предлагаемая технология включает окисление двухвалентного железа кислородом с последующим отделением образующегося гидроксидного осадка трехвалентного железа. Процесс осуществляется при ламинарном движении воды снизу вверх через емкость с электродами в постоянном электрическом поле со скоростью, регулируемой с учетом изменения температуры исходной воды и требований к содержанию железа в очищенной воде при градиенте потенциала не более 2 В/см. Высота параллельно расположенных электродов в емкости определяется по формуле:

$$L = \frac{R \cdot v_{\text{лам}}}{v_{\text{Fe}}} \cdot K, \quad (11.38)$$

где  $L$  – высота электродов;

$R$  – расстояние по горизонтали между электродами;

$v_{\text{лам}}$  – скорость ламинарного движения воды через емкость;

$v_{\text{Fe}}$  – горизонтальная составляющая скорости движения ионов железа, соответствующая минимальной температуре воды;

$K$  – коэффициент запаса.

Отделение образующегося гидроксидного осадка трехвалентного железа производится пропусканием потока промывной воды снизу вверх со скоростью не менее 0,9 м/сек без воздействия электрического поля.

При движении воды в постоянном электрическом поле происходит перенос ионов двухвалентного и трехвалентного железа к катоду благодаря их носительной подвижности [36]. Такие свойства ионов железа позволяют производить обезжелезивание воды при ее ламинарном движении снизу вверх через емкость в постоянном электрическом поле. Ламинарный режим движения воды снизу вверх позволяет свести до минимума влияние выделяющихся пузырьков газа на движение ионов железа от анода к катоду, что является одним из факторов, обеспечивающих повышение надежности процесса обезжелезивания воды. Регулирование скорости ламинарного движения воды снизу вверх с учетом изменения температуры исходной воды и требований к качеству очищенной воды также способствует повышению надежности процесса обезжелезивания воды и обеспечивает гарантированное качество очищенной от железа воды независимо от количества ионов железа в исходной воде.

Для гарантированного обеспечения требуемого качества воды на выходе из камеры обезжелезивания начальную скорость движения воды вдоль катода рекомендуется устанавливать на основе минимальной предельной подвижности 26,7 см<sup>2</sup>/г-экв (при низких температурах), а дальнейшее гибкое регулирование скорости движения воды снизу вверх – по непрерывно измеряемым показателям содержания общего железа на выходе из камеры. Это также способствует повышению надежности процесса обезжелезивания и обеспечению гарантированного качества очищенной от железа воды.

Примерные расчеты для различных условий показали, что при оптимальных соотношениях между внутренним радиусом камеры и ее длиной эта

длина может находиться в пределах от 1 до 1,5 метров в зависимости от требуемого общего расхода воды и принятого количества камер.

Таким образом, реализация предлагаемой технологии возможна на компактных (малогабаритных) установках, что расширяет возможности применения данного способа обезжелезивания воды.

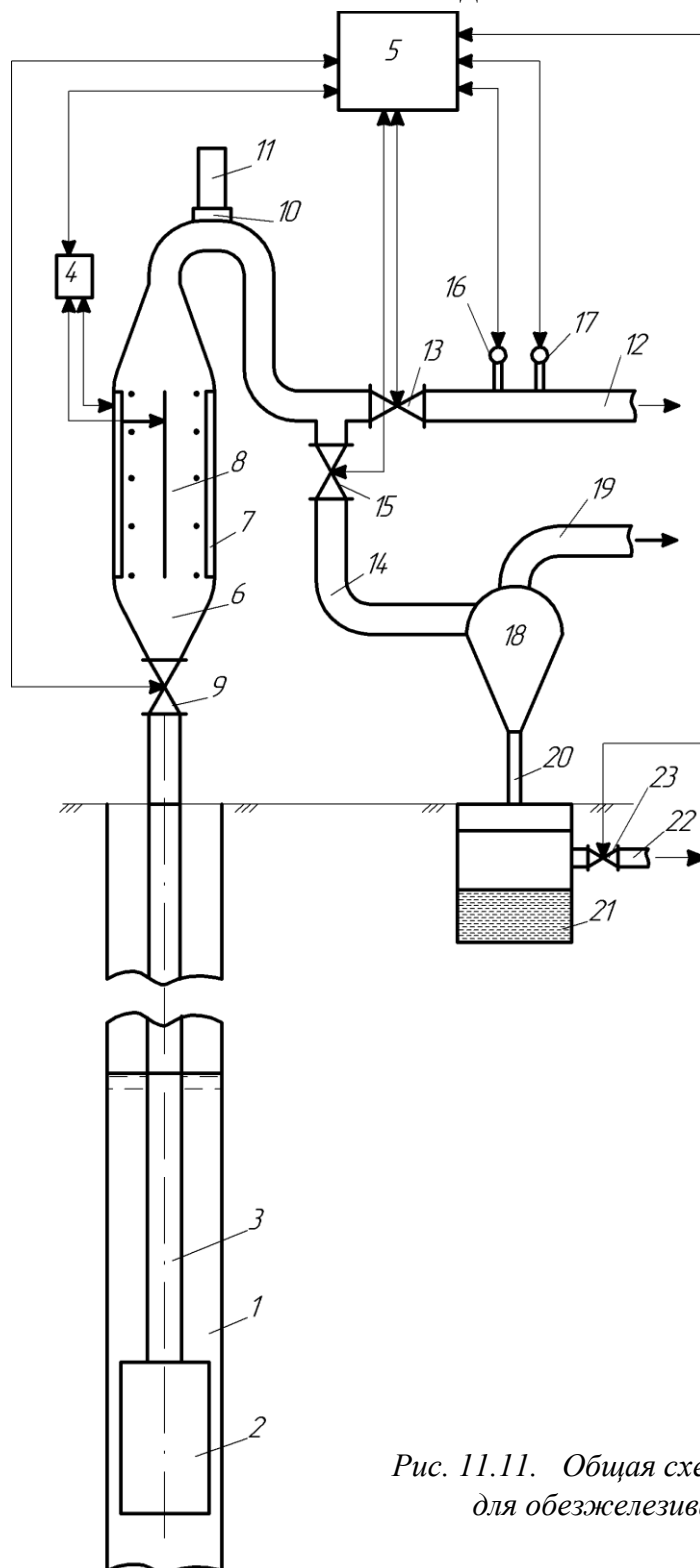


Рис. 11.11. Общая схема устройства для обезжелезивания воды

На рис. 11.11 приведена общая схема устройства для обезжелезивания воды. Устройство содержит водозаборную скважину 1 с расположенным в ней

электронасосом 2 и водоподъемной трубой 3, источник постоянного тока 4, блок управления 5, не менее двух корпусов цилиндрической формы 6 из диэлектрика, на внутренней поверхности которых расположены неполяризующиеся аноды в виде спирали 7, а в центре – железные катоды в виде круглых железных стержней 8, к входам в корпуса подсоединены электрифицированные задвижки 9, соединенные с подающей трубой насоса 3, в верхних частях корпусов расположены воздушные вантузы 10, соединенные с вентиляционными трубами 11.

Кроме того, на выходах из корпусов расположены трубы для отвода чистой воды 12 с электрифицированными задвижками 13 и отвода промывной воды 14 с электрифицированными задвижками 15, причем на трубе отвода чистой воды 12 расположены датчик расхода воды 16 и датчик содержания в воде железа 17, а труба промывной воды подсоединена к тангенциальному входу гидроциклона 18, верхний выход которого соединен с трубой сброса промывной воды 19 в канализацию, а нижний выход 20 направлен в емкость для утилизации гидроксида железа 21, которая оборудована трубой для выпуска верхнего слоя воды 22 с электрифицированной задвижкой 23. Блок управления 5 соединен проводниками с источником постоянного тока 4, всеми электрифицированными задвижками, датчиком расхода и датчиком содержания в воде железа, а источник постоянного тока 4 соединен также проводниками с катодами и анодами.

Устройство для обезжелезивания воды работает следующим образом.

В соответствии с технологическим регламентом эксплуатации устройства в блок автоматического управления 5 введены следующие уставки:

- суточный график обеспечения расходов очищенной воды, подаваемой потребителям;
- периодичность переключений с режимов обезжелезивания на режимы промывки и обратно;
- максимальная допустимая величина остаточного содержания железа в очищенной воде;
- начальная скорость движения воды снизу вверх в корпусах цилиндрической формы 6, определяется на основании предварительно проведенных исследований;
- промежуток времени между сбросом суспензии, содержащей гидроксид железа, в емкость для утилизации 21 и открытием задвижки 22;
- алгоритмы управления всеми электрифицированными задвижками составляются по результатам предпусковых испытаний.

Перед началом работы закрыты все электрифицированные задвижки и отключен источник постоянного тока 4. После включения **насоса 2** ? по сигналу блока управления 5 включается источник постоянного тока 4, подающий разности потенциалов на катоды и аноды, а также последовательно осуществляется открытие задвижек 9 и 13. В начальный период во всех корпусах

обеспечиваются режимы обезжелезивания воды. На основании сигналов датчиков расхода 16 и содержания в воде железа 17 в дальнейшем обеспечивается включение и отключение корпусов задвижками, а также гибкое регулирование задвижек 9 и 13 для обеспечения требуемого качества воды на выходе из корпусов. При переключении одного корпуса на режим промывки закрывается задвижка 13, открывается задвижка 15 и регулируется открытие задвижки 9 для пропуска через корпус 6 расхода промывной воды. Промывная вода с частицами гидроксида железа поступает в гидроциклон 18, откуда основной объем промывной воды сбрасывается в канализацию по трубе 19, а суспензия, содержащая частицы гидроксида железа, поступает по трубе 20 в емкость для утилизации 21. В этой емкости частицы гидроксида железа оседают на дно, после чего по команде блока управления 5 открывается задвижка 23 и верхний слой промывной воды сбрасывается в канализацию по трубе 22. Все операции по автоматическому управлению устройства для обезжелезивания воды выполняет блок управления 5.

По сравнению с традиционными станциями обезжелезивания данная установка обладают следующими преимуществами:

1. Высокая надежность процесса обезжелезивания воды за счет гибкого автоматического управления.
2. Гарантированное качество очищенной от железа воды независимо от количества ионов железа в исходной воде.
3. Расширение возможностей применения за счет компактности оборудования: появляется возможность устанавливать устройства на каждой водозаборной скважине, при этом отпадает необходимость строительства дорогостоящих водоочистных сооружений с насосными станциями и водоводами, подающими исходную воду на эти станции и отводящими очищенную воду для подключения к сети потребителей.
4. Значительное снижение строительной стоимости устройства за счет его малых габаритов и возможности расположения в существующих павильонах над скважинами.
5. Уменьшение эксплуатационных затрат за счет полной автоматизации, отсутствия необходимости в использовании расходных материалов (реагенты, мембраны, растворимые электроды) и минимальных затрат электроэнергии на очистку (градиент потенциала 2 В/см, сила тока от 0,01 до 0,07 А).
6. Безотходная технология: попутное получение ценного продукта – гидроксида железа, который является дорогостоящим каталитическим сорбентом нового поколения.

### **Методика проектирования камеры обезжелезивания воды**

Главным элементом устройства для обезжелезивания воды является корпус (камера) из диэлектрика, в который входят катод и анод. Схема камеры показана на рис. 11.12.

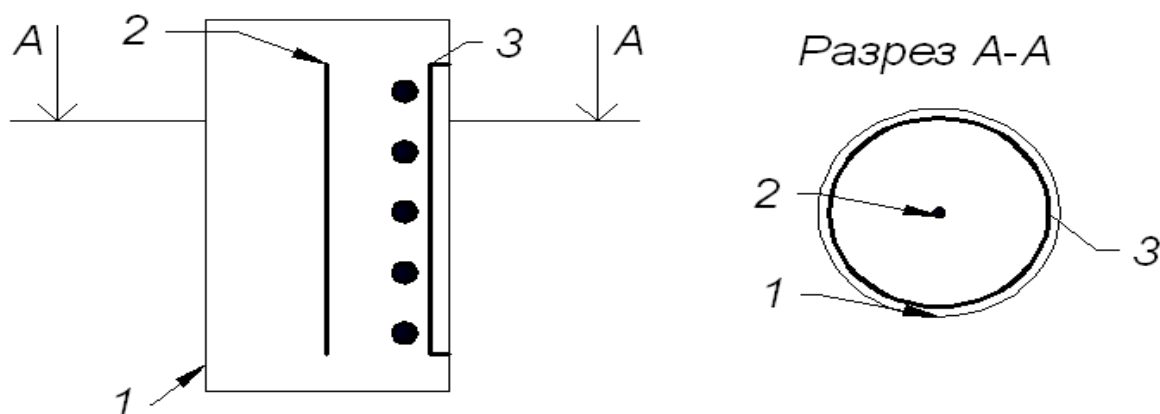


Рис. 11.12. Камера для обезжелезивания воды:  
1 – корпус из диэлектрика, 2 – катод, 3 – анод

Целью проектирования камеры обезжелезивания воды является определение диаметра и высоты корпуса, а также размеров катода, при котором будут полностью удаляться ионы железа.

Исходные данные для расчета:

1. Производительность скважины,  $Q$ , м<sup>3</sup>/сут.;
2. Ламинарная скорость движения воды,  $v_{лам.}$ , рекомендуется принять 0,001 м/с;
3. Подвижность ионов железа,  $i = 106 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^2 \text{ кг-экв-1}$ ;
4. Постоянная Фарадея,  $F = 96485,3383 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$ .

Площадь поперечного сечения камеры определяется по формуле :

$$S = \frac{Q}{v_{лам.}} . \quad (11.39)$$

Скорость движения  $v_{Fe}$  иона в растворе пропорциональна напряженности приложенного электрического поля  $E$  [В.м-1]:

$$v_{Fe} = u_i \cdot E . \quad (11.40)$$

Коэффициент пропорциональности  $u_i$  называется абсолютной подвижностью иона.

Произведение абсолютной подвижности иона на постоянную Фарадея называется подвижностью иона  $i$ :

$$i = u_i \cdot F . \quad (11.41)$$

Напряженность электрического поля определяется по формуле:

$$E = \frac{U}{d} , \quad (11.42)$$

где  $d$ -расстояние между электродами;

$U$ - разность потенциалов между электродами.

На движение ионов железа в камере влияют две скорости: скорость движения воды и скорость оседания ионов железа на катод 2 (см. рис. 11.13)

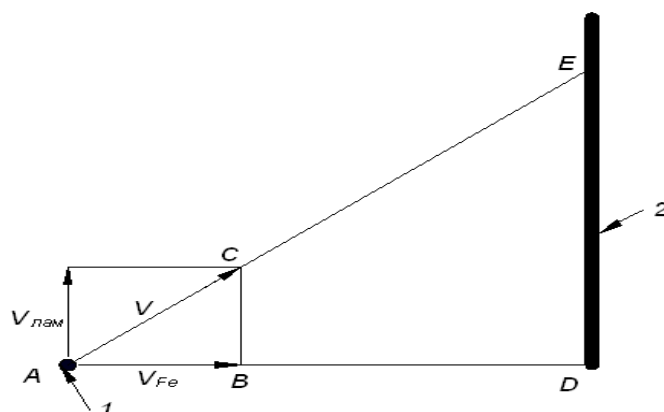


Рис. 11.13

Длина катода определяется из подобия треугольников  $\triangle ABC$  и  $\triangle ADE$ :

$$\frac{AB}{AD} = \frac{BC}{DE} \quad (11.43)$$

#### 11.4. Проектирование сооружений для очистки воды от бора

Соединения бора относятся к сильнодействующим токсичным веществам. При непродолжительном употреблении внутрь бора в повышенных концентрациях возникает раздражение желудочно-кишечного тракта. При длительном воздействии соединений бора нарушение процессов пищеварения приобретает хронический характер (развивается так называемый "борный энтерит"), возникает и борная интоксикация, которая может поразить печень, почки, центральную нервную систему [37].

Существует несколько традиционных методов удаления бора, таких как: осаждение и соосаждение в виде труднорастворимых соединений; сорбция неорганическими сорбентами; сорбция ионитами, в том числе селективными по бору; мембранная технология; обратный осмос; электродиализ. Все они имеют такие недостатки, как высокая стоимость, большие эксплуатационные затраты, требуется наличие лабораторий и обслуживающего персонала. Именно поэтому водоочистные сооружения для удаления бора встречаются крайне редко. Кроме того, известны способы удаления из воды ионов бора, заключающиеся в образовании и последующем осаждении твердого осадка в виде малорастворимого соединения в процессе химической реакции при добавлении соответствующих реагентов [38]. Эти способы являются трудоемкими и сложными по следующим причинам:

- низкие скорости фильтрования при отделении от воды осадка;

- получаемые осадки, как правило, малоконцентрированы по бору, не обладают постоянством состава и нуждаются в дополнительной переработке;
- исключается повторное использование осадителей.

Известны также способы удаления из воды ионов бора, основанные на мембранных технологиях [40]. Основным недостатком этих способов является то, что в отношении бора имеется ограничение для исходной воды: бор  $\leq 1,5$  ПДК.

Для решения указанных выше проблем в ВоГТУ разработана новая малозатратная технология очистки воды от бора и боратов, основанная на использовании способности перемещаться ионов бора под воздействием постоянного электрического поля в режиме электрофореза [41]. При таких условиях обеспечивается гарантированное качество очищенной воды независимо от количества ионов бора в исходной воде; расширение возможностей применения способа за счет компактности оборудования; обеспечение гибкого автоматического управления, уменьшение строительных и эксплуатационных затрат.

Предлагаемая технология включает направленное ламинарное движение очищаемой воды, а удаление бора осуществляется в постоянном электрическом поле при градиенте потенциала в пределах от 2 до 5 В/см со скоростью, регулируемой с учетом изменения температуры исходной воды и требований к содержанию бора в очищенной воде. Вода протекает через емкость, располагаемую под углом от  $30^0$  до  $45^0$  вверх и имеющую пятиугольное поперечное сечение с параллельно расположенными инертными электродами, в верхней части емкости производится непрерывное удаление пузырьков газа, а затем движение воды разделяется на два потока, первый из которых, содержащий очищенную от ионов бора воду, направляется по горизонтально расположенной трубе к потребителю, а второй, содержащий увеличенное в процессе очистки количество ионов бора, направляется по наклоненной вниз под углом от  $15^0$  до  $30^0$  трубе меньшего диаметра в сток, причем соотношение площадей поперечного сечения между горизонтально расположенной трубой и трубой меньшего диаметра составляет от 1:10 до 1:3, а минимальная длина параллельно расположенных электродов  $L$  определяется по формуле:

$$L = (P \times V_{\text{лам}}) / V_{\text{б}}, \quad (11.44)$$

где  $V_{\text{лам}}$  - скорость ламинарного движения воды в емкости;

$V_{\text{б}}$  - составляющая скорости движения ионов бора, направленная перпендикулярно от верхнего электрода к противоположно заряженному по отношению к удаляемым ионам бора нижнему электроду;

$P$  - расстояние по перпендикуляру между электродами.

Бор в природной воде может существовать в двух формах: катионной и анионной. В постоянном электрическом поле эти ионы обладают относительной подвижностью, величина которой может изменяться в зависимости от

температуры воды [37]. Поэтому при ламинарном движении воды в постоянном электрическом поле происходит перенос катионов бора к катоду, а борат-анионов – к аноду. При этом ионы бора обладают низким электродным потенциалом. Например, у борат-анионов электродный потенциал равен 1.7929 вольт. Кроме того, в их состав входит кислород [42]. Поэтому борат-анионы и катионы бора сами не восстанавливаются и не окисляются на противоположно заряженных электродах, а только группируются около них.

На рис. 11.14 приведена общая схема устройства для очистки воды от ионов бора. На рис. 11.15 приведено поперечное сечение корпуса из диэлектрика.

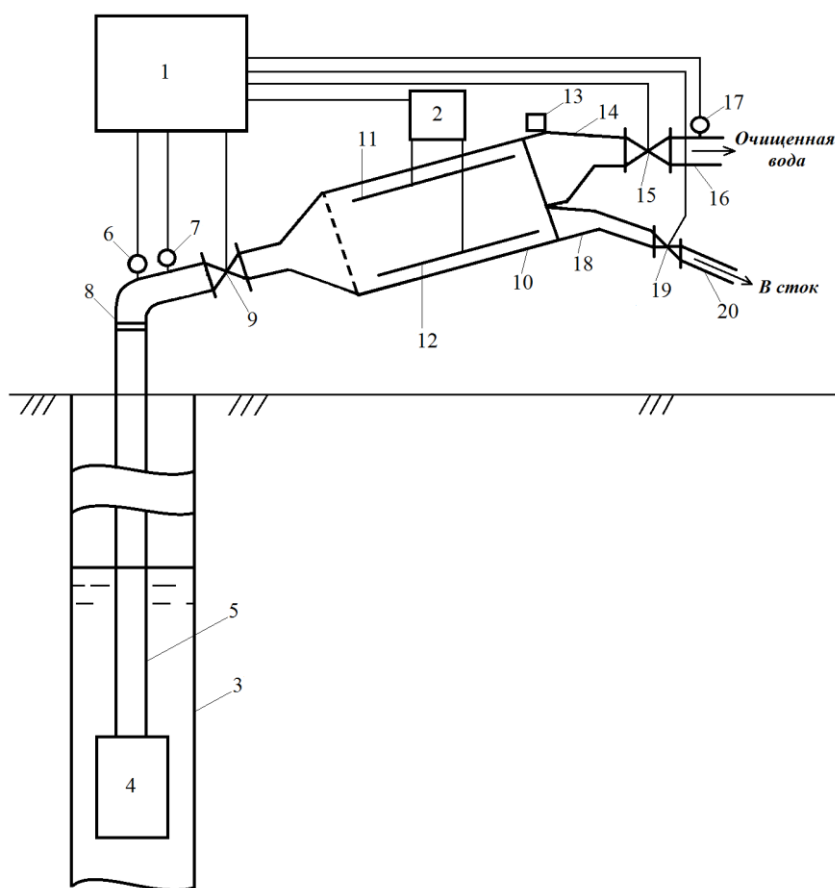


Рис. 11.14. Схема устройства для очистки воды от ионов бора

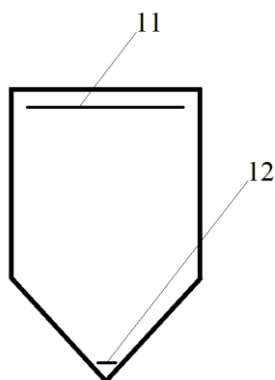


Рис. 11.15. Поперечное сечение корпуса из диэлектрика

Устройство содержит блок управления 1, источник постоянного тока 2, водозаборную скважину 3 с расположенным в ней погружным электронасосом 4 и подающей трубой 5, на верхней части которой расположены: датчик бора 6, датчик температуры воды 7 и подводящий патрубок 8, на котором имеется задвижка 9 с электрическим приводом. Патрубок 8 соединен с наклонным вверх под углом от  $30^0$  до  $45^0$  по направлению движения воды корпусом из диэлектрика 10, имеющим в поперечном сечении пятиугольную форму, на верхней плоской внутренней поверхности которого расположен инертный электрод 11, а в нижней, треугольной части - инертный электрод 12, на выходе из корпуса в верхней его части располагается воздушный вантуз 13 для удаления из воды выделяющихся на электродах газов, а затем патрубок 14, на котором имеется задвижка 15 с электрическим приводом.

С помощью патрубка 14 верхняя прямоугольная часть каждого корпуса соединена с расположенной горизонтально трубой большего диаметра 16 для отвода очищенной воды потребителю, на которой установлен датчик бора 17. Нижняя треугольная часть корпуса соединена через патрубок 18, оборудованный задвижкой 19, с электрическим приводом с трубой меньшего диаметра 20, предназначенной для отвода загрязненной воды в сток. Труба 20 расположена по отношению к трубе 16 под углом от  $15^0$  до  $30^0$  вниз. Все электрические приводы задвижек, датчики бора и температуры, источник постоянного тока и двигатель погружного электронасоса соединены проводниками с блоком управления 1.

Устройство для очистки воды от ионов бора работает следующим образом.

В соответствии с технологическим регламентом эксплуатации устройства в блок автоматического управления 1 введены следующие уставки:

- суточный график обеспечения расходов очищенной воды, подаваемой потребителям;
- максимальная допустимая величина остаточного содержания ионов бора в очищенной воде;
- начальная скорость движения воды в корпусе 10 (определяется на основании предварительно проведенных исследований);
- алгоритмы управления всеми электрифицированными задвижками (составляются по результатам предпусковых испытаний).
- предельные (минимальная и максимальная) величины градиента потенциала определяются на основании предварительно проведенных исследований.

Перед началом работы закрыты все электрифицированные задвижки и отключен источник постоянного тока 2. После включения погружного электронасоса 4 по сигналу блока управления 1 включается источник постоянного тока 2, подающий разность потенциала на инертный электрод 11 и инертный электрод 12, а также последовательно осуществляется открытие задвижек 9, 19 и 15. Затем на основании показаний датчика бора 6 и датчика температуры

воды 7 по сигналу блока управления 1 на источнике постоянного тока 2 устанавливается начальный (максимальный) градиент потенциала. В дальнейшем на основании показаний датчика бора 17 осуществляется регулирование в установленных пределах градиента потенциала. Если при таком регулировании датчик бора 17 показывает превышение установленной максимальной величины содержания бора в очищенной воде, осуществляется регулирование (уменьшение) открытия задвижки 15.

При завершении работы установки по сигналу блока управления 1 последовательно закрываются задвижки 15, 19 и 9, затем отключаются погружной электронасос 4 и источник постоянного тока 2.

В зависимости от производительности скважины возможно устройство двух и более параллельно расположенных корпусов 10.

Возможны три варианта реализации устройства для очистки воды от ионов бора:

**Вариант 1.** При необходимости удаления из исходной воды только борат-анионов в нижней треугольной части корпуса располагается инертный электрод (анод) 12, а в верхней прямоугольной части – инертный электрод (катод) 11.

**Вариант 2.** При необходимости удаления из исходной воды только катионов бора в нижней треугольной части корпуса располагается инертный электрод (катод) 12, а в верхней прямоугольной части – инертный электрод (анод) 11.

**Вариант 3.** При необходимости удаления из исходной воды всех ионов бора предусматривается последовательное расположение двух корпусов 10 (фиг.3) в первом из которых осуществляется, например, удаление борат-анионов (вариант 1), а во втором – удаление катионов бора (вариант 2). При этом, второй наклонный корпус подсоединяется к первому наклонному корпусу через патрубков 14 перед задвижкой 15.

Предлагаемая технология очистки воды от бора обладает следующими преимуществами:

1. Высокая надежность процесса удаления ионов бора из воды за счет полной автоматизации и гибкого автоматического управления.

2. Обеспечивается гарантированное качество очищенной от бора воды независимо от количества ионов бора в исходной воде.

3. Расширяются возможности применения за счет компактности оборудования: появляется возможность устанавливать устройства на каждой водозаборной скважине, при этом отпадает необходимость строительства дорогостоящих водоочистных сооружений с насосными станциями и водоводами, подающими исходную воду на эти станции и отводящими очищенную воду для подключения к сети потребителей.

4. Значительно снижается строительная стоимость устройства за счет его малых габаритов и возможности расположения в существующих павильонах над скважинами.

5. Уменьшаются эксплуатационные затраты за счет полной автоматизации, отсутствия необходимости в использовании расходных материалов (реагенты, мембраны, растворимые электроды) и минимальных затрат электроэнергии на очистку (при градиенте потенциала до 5 В/см, сила тока находится в пределах от 0,01 до 0,1 А).

### 11.5. Регулирование содержания фтора в питьевой воде.

#### Выбор способа

Фтор относится к микроэлементам, содержание которых в воде для нормальной жизнедеятельности человека должно находиться в строго определенном количестве. Малые и большие концентрации фтора в питьевой воде вредны для человеческого организма. Условия, при которых требуется регулирование содержания фтора в воде, способы регулирования и рекомендации по выбору технологической схемы и реагентов, приведены в таблице 11.19.

Таблица 11.19

#### Рекомендации по выбору технологической схемы и реагентов

| Содержание фтора в исходной воде | Способ регулирования содержания фтора | Технологическая схема                                                                                                   | Реагенты                                             | Примечания                                                           |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| до 0,4 мг/л                      | Фторирование                          | Приготовление ненасыщенного раствора в расходных баках, дозирование в воду                                              | Кремнефтористый натрий                               | При обосновании возможны другие методы                               |
| до 0,7 мг/л                      | Фторирование                          | Приготовление ненасыщенного раствора в сатураторах, дозирование в воду                                                  | Фтористый алюминий, кремнефтористоводородная кислота | При обосновании возможны другие методы                               |
| 0,4 – 0,7 мг/л                   | Фторирование                          | Дозирование в 10% раствор $Al_2(SO_4)_3$ осадка оксифторида магния                                                      | Оксифторид магния                                    | При наличии поблизости установок для обесфторив. воды оксидом магния |
| 0 – 0,7                          | Фторирование                          | Эжектирование в общий поток обрабатываемой воды раствора $Mg(OH)F$ , имеющего концентрацию не более 67 г/м <sup>3</sup> | Оксифторид магния                                    | Приготовление раствора $Mg(OH)F$ на месте                            |
| 0,7 – 1,2 мг/л                   | Не требуется                          | Не требуется                                                                                                            |                                                      |                                                                      |

|               |                                                  |                                  |                      |                                        |
|---------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------------|
| 1,2 – 1,5мг/л | Обесфторивание только для III климатической зоны | Введение оксида магния           | Оксид магния         | При обосновании возможны другие методы |
| 1,5 – 5,0мг/л | Обесфторивание                                   | Введение оксида магния           | Оксид магния         | При обосновании возможны другие методы |
|               |                                                  | Контактно-сорбционная коагуляция | Сернокислый алюминий | Сероводород до 2 мг/л                  |
| 5,0 – 15мг/л  | Обесфторивание                                   | Применение сорбентов             |                      | Сероводород до 2 мг/л                  |
| 1.5 – 15мг/л  | Обесфторивание                                   | Безотходная технология           | Оксид магния         |                                        |

### Фторирование воды

Для фторирования воды в качестве реагентов традиционно применяются кремнефтористый натрий, фтористый натрий, кремнефтористый аммоний, кремнефтористоводородная кислота.

Склады и оборудование для приготовления растворов вследствие сильной токсичности реагентов должны быть изолированы от остальных помещений. Для транспортирования реагентов необходимо предусматривать пневмоподачу с использованием эжекторов. В ВоГТУ в 2000 году закончены исследования по применению для фторирования нового реагента – осадка оксифторида магния. Этот осадок получают при обесфторивании подземных вод с использованием оксида магния. Оксифторид магния нетоксичен и легко растворяется в растворах сернокислого алюминия. Поэтому его целесообразно применять на водоочистных станциях, где для коагуляции воды используются алюминиевые коагулянты [43]. Основные сведения о фторсодержащих реагентах приведены в таблице 11.20.

Дозы традиционных фторсодержащих реагентов определяются по формуле:

$$D_{\phi} = \frac{10^4 (m \cdot a - \phi)}{K_{\phi} \cdot C_{\phi}}, \text{ г/м}^3. \quad (11.45)$$

Доза оксида магния:

$$D_{\text{м}} = \frac{10^4 (1,1 \cdot a - \phi)}{K_{\phi} \cdot D_a \cdot P}, \text{ г/м}^3, \quad (11.46)$$

где  $m$  – коэффициент, зависящий от места ввода реагента в обрабатываемую воду: перед фильтрами –  $m=1,1$ , в чистую воду –  $m=1,0$ ;

$a$  – необходимое содержание фтора в обработанной воде. Принимается в зависимости от климатического района 0,7 – 1,2 г/м<sup>3</sup>;

$\phi$  – содержание фтора в исходной воде, г/м<sup>3</sup>;

$K_{\phi}$  – содержание фтора в чистом реагенте, %

$C_{\phi}$  – содержание чистого реагента в товарном продукте, %;

$D_a$  – доза сернокислого алюминия по безводному продукту, г/м<sup>3</sup>;

$P$  – концентрация раствора сернокислого алюминия.

Таблица 11.20

### Сведения о фторсодержащих реагентах

| Название                   | Формула                     | Нормативный документ | Содержание фтора в чистом продукте, % | Содержание чистого реагента в товарном продукте, % | Общая характеристика           |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|
| Кремнефтористый натрий     | $\text{Na}_2 \text{SiF}_6$  | ОСТ 608-2-75         | 61                                    | 98                                                 | Белый порошок                  |
| Кремнефтористый аммоний    | $(\text{NH}_4)\text{SiF}_6$ | ТУ 14/0769-64        | 64                                    | 93                                                 | Белый порошок                  |
| Натрий фтористый           | $\text{NaF}$                | ГОСТ 2871-75         | 36-42                                 | 80-97                                              | Белый порошок                  |
| Фтористоводородная кислота | $\text{HF}$                 | ГОСТ 2567-73         | 66,3                                  | 98                                                 | Бесцветная прозрачная жидкость |
| Оксифторид магния          | $\text{MgOHF}$              |                      | 25                                    | 98                                                 | Белый порошок                  |

При приготовлении насыщенного раствора реагента используется схема, приведенная на рис. 11.16.

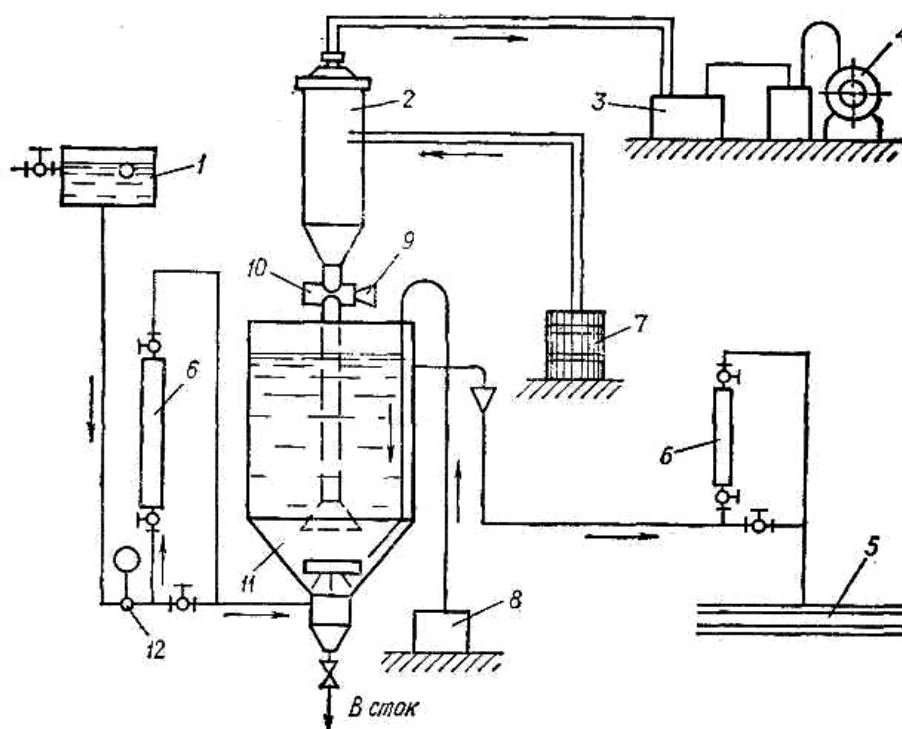


Рис. 11.16. Схема приготовления фторсодержащего раствора:

- 1- бачок постоянного уровня; 2-вакуум-бункер; 3-фильтр; 4-вакуум-насос;  
5- ввод раствора фторреагента; 6-ротаметр; 7-тара с реагентом; 8-компрессор;  
9- вентиль для регулировки загрузки реагента; 10-секторный питатель;  
11-сатуратор; 12-регулирующий вентиль

Объем растворного бака определяется по формуле:

$$W_p = \frac{Q \cdot t \cdot D_\phi}{C_1 \cdot \gamma \cdot 10000}, \text{ м}^3, \quad (11.47)$$

где  $Q$  - производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$t$  - время, необходимое для приготовления раствора, принимается 4 – 5 часов;

$C_1$  - концентрация раствора реагента, принимается в зависимости от температуры воды: для кремнефтористого натрия  $C = 0,25 - 0,5 \%$ ; фтористого натрия – 2,5 %; кремнефтористого алюминия – 7%; кремнефтористоводородной кислоты – 5%;

$\gamma$  - плотность раствора, принимается  $\gamma = 1 \text{ т/м}^3$ .

Интенсивность подачи воздуха в растворный бак принимается 8 – 10 л/с  $\text{м}^2$ .

При приготовлении насыщенного раствора реагента используются сатураторы.

Производительность сатуратора по насыщенному раствору определяется по формуле:

$$Q_c = \frac{D_\phi \cdot Q}{n \cdot p_\phi}, \quad (11.48)$$

где  $Q$  - производительность водоочистной станции,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$n$  - количество сатураторов, шт.;

$p_\phi$  - растворимость кремнефтористого натрия. Принимается в зависимости от температуры воды в пределах 4,3 – 10,3 г/л.

Объем всех сатураторов определяется по формуле:

$$W_c = \frac{Q_c \cdot t_c}{1000}, \text{ м}^3, \quad (11.49)$$

где  $t_c$  - время пребывания раствора в сатураторе, принимается не менее 5 часов.

Количество сатураторов и их технические характеристики принимаются по данным таблицы 5.12.

Перечисленные выше технологии фторирования воды обладают существенными недостатками:

- высокая токсичность реагентов, что усложняет их приготовление, хранение и дозирование;
- длительность и сложность приготовления насыщенного раствора реагента;
- низкая точность дозирования;
- большие эксплуатационные затраты.

Технология фторирования воды, заключающаяся в добавлении осадка  $\text{Mg}(\text{OH})\text{F}$  в раствор сернокислого алюминия и последующем дозировании это-

го раствора в обрабатываемую воду [44], исключает ряд недостатков. Однако, данная технология также обладает некоторыми ограничениями:

- её можно использовать только в тех случаях, когда для обработки воды применяется коагулянт – сернокислый алюминий;
- эффективность процесса фторирования воды зависит от эффективности процесса коагуляции;
- низкая точность дозирования фтора в обрабатываемую воду;
- отсутствует возможность дозирования фтора в чистую воду.

Для исключения указанных ограничений в ВоГТУ разработана новая технология фторирования воды, основанная на использовании оксифторида магния [45]. Целью данной разработки является расширение возможностей использования  $Mg(OH)F$  для фторирования воды, повышение эффективности, обеспечение необходимой точности дозирования в исходную воду, уменьшение строительных и эксплуатационных затрат.

Предлагаемая технология заключается в следующем: сначала готовят в течение 30 минут водную суспензию с 0,22% содержанием  $Mg(OH)F$ , которую направляют на 20 минут в разбавитель, откуда раствор  $Mg(OH)F$ , имеющий концентрацию не более  $67 \text{ г/м}^3$  по фтору, эжектируется в общий поток обрабатываемой воды, причем расход раствора  $Mg(OH)F$  определяют на основании контроля содержания фтора в растворе и в общем потоке обрабатываемой воды по формуле:

$$Q_p = (Q_{o.п.} \times C_f) / D_f, \quad (11.50)$$

где  $Q_p$  – расход эжектируемого раствора,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$Q_{o.п.}$  – расход общего потока обрабатываемой воды;

$C_f$  – концентрация фтора в растворе,  $\text{г/м}^3$ ;

$D_f$  – расчётная доза фтора, вводимая в общий поток,  $\text{г/м}^3$ ,  
которая определяется по формуле:

$$D_f = C_{f_{o.п.}} - C_{f_{и.в.}}, \quad (11.51)$$

где  $C_{f_{o.п.}}$  – нормативная концентрация фтора в питьевой воде,  $\text{г/м}^3$ ;

$C_{f_{и.в.}}$  – концентрация фтора в исходной воде,  $\text{г/м}^3$ .

$$Q_p = (Q_{o.п.} \times C_f) / D_f, \quad (11.52)$$

где  $Q_p$  – расход эжектируемого раствора,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$Q_{o.п.}$  – расход общего потока обрабатываемой воды;

$C_f$  – концентрация фтора в растворе,  $\text{г/м}^3$ ;

$D_f$  – расчётная доза фтора, вводимая в общий поток,  
 $\text{г/м}^3$ , которая определяется по формуле:

$$D_f = C_{f_{o.п.}} - C_{f_{и.в.}}, \quad (11.53)$$

где  $C_{f_{o.п.}}$  – нормативная концентрация фтора в питьевой воде,  $\text{г/м}^3$ ;

$C_{f_{и.в.}}$  – концентрация фтора в исходной воде,  $\text{г/м}^3$ .

Приготовление суспензии  $Mg(OH)F$  на основе исходной питьевой воды и последующее растворение её в этой же воде значительно расширяет возможности использования предлагаемого способа, так как в данном случае отсутствует необходимость «привязки» технологической схемы приготовления и дозирования фторсодержащего раствора к технологическим схемам, осуществляющим улучшение качества воды по другим показателям, таким, например, как мутность и цветность. Это создает возможности использования данного способа для фторирования всех видов питьевых вод, независимо от того, какие технологии применялись для их подготовки.

Возможность приготовления в течение 30 минут водной суспензии с 0,22% содержанием  $Mg(OH)F$  создает условия для получения за относительно короткий промежуток времени качественного фторсодержащего раствора, не содержащего побочных примесей.

Получение в течение 20 минут раствора, имеющего концентрацию не более  $67 \text{ г/м}^3$  по фтору также способствует повышению эффективности фторирования, уменьшению строительных и эксплуатационных затрат, а, кроме того, способствует обеспечению необходимой точности дозирования раствора в очищенную воду. Концентрация фторсодержащего раствора менее  $67 \text{ г/м}^3$  является вполне приемлемой для условий эксплуатации, так как максимальное содержание фтора в питьевой воде не должно превышать  $1 \text{ г/м}^3$ .

Эжектирование фторсодержащего раствора в общий поток обрабатываемой воды также способствует повышению эффективности процесса фторирования, так как в результате турбулентного движения воды и раствора после эжектора обеспечивается их равномерное перемешивание.

Контроль содержания фтора в эжектируемом растворе и в общем потоке обрабатываемой воды позволяет обеспечивать оперативное управление процессом точного дозирования фтора в воду, что также способствует повышению эффективности процесса.

Для обеспечения точного дозирования фтора в исходную воду отношение расходов в общем потоке воды  $Q_{o.п.}$  и в растворе, эжектируемом в общий поток  $Q_p$ , должно равняться отношению концентрации фтора в растворе  $C_f$  и расчётной дозы фтора  $D_f$ , вводимой в общий поток:

$$Q_{o.п.} / Q_p = D_f / C_f. \quad (11.54)$$

Отсюда:

$$Q_p = (Q_{o.п.} \times C_f) / D_f. \quad (11.55)$$

Величина  $D_f$  должна определяться по формуле:

$$D_f = C_{f_{o.п.}} - C_{f_{и.в.}}, \quad (11.56)$$

где  $C_{f_{o.п.}}$  – нормативная концентрация фтора в питьевой воде,  $\text{г/м}^3$ ;  
 $C_{f_{и.в.}}$  – концентрация фтора в исходной воде,  $\text{г/м}^3$ .

На рис. 11.17 показана схема устройства для фторирования воды.

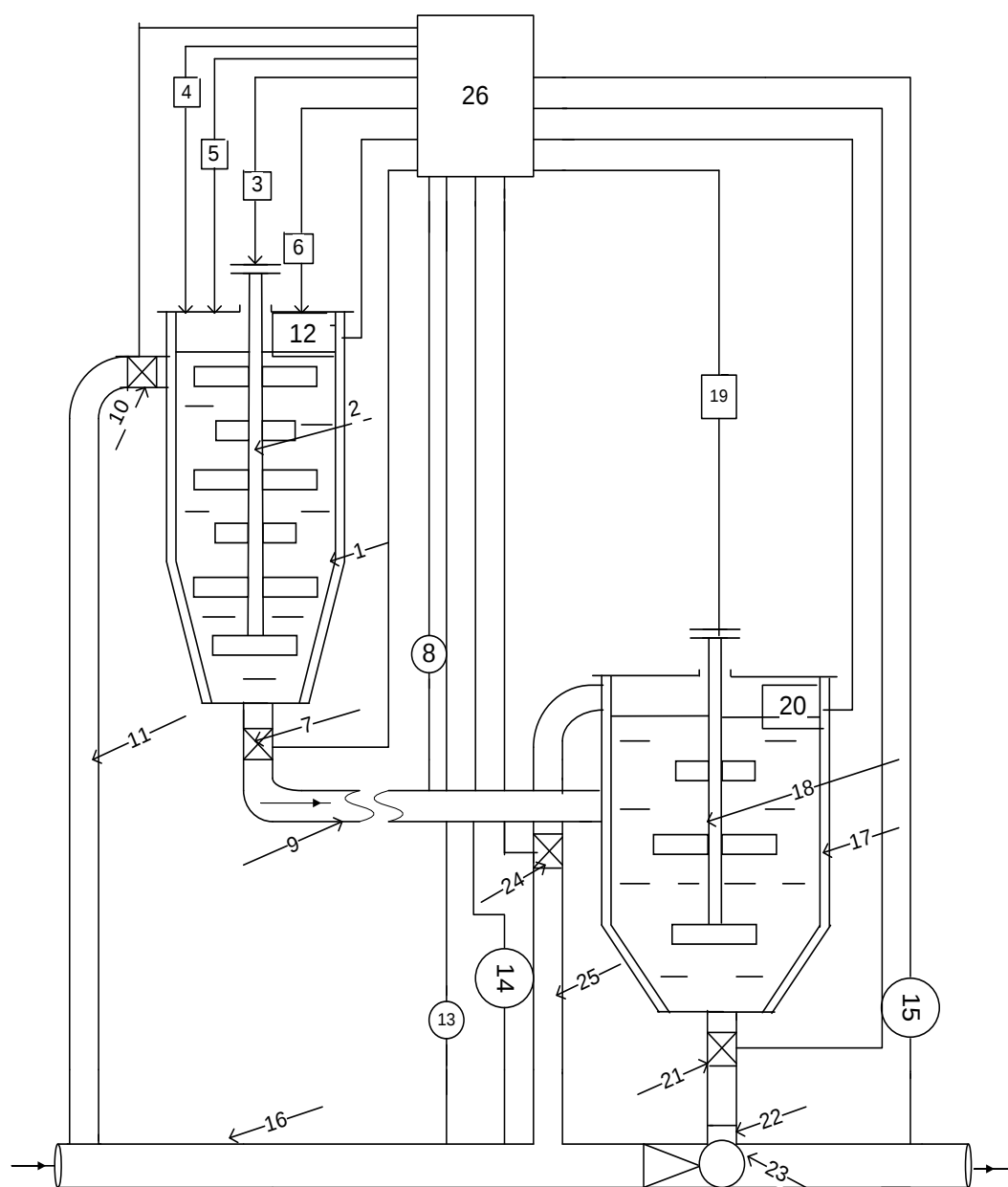


Рис. 11.17. Схема устройства для фторирования воды

Устройство содержит реактор 1, оборудованный механической лопастной мешалкой 2 с электродвигателем 3, дозатор фторида натрия 4, дозатор хлорида магния 5, дозатор гидроксида хлора 6, электрифицированную задвижку 7 и расходомер 8 на отводной трубе 9, электрифицированную задвижку 10 на трубе подачи исходной воды 11 в реактор 1, датчик уровня воды 12 в реакторе 1, расходомер 13 и датчики фтора 14 и 15 на трубе подачи исходной воды 16 в резервуар чистой воды, бак – разбавитель 17, оборудованный механической лопастной мешалкой 18 с электродвигателем 19 и датчиком уровня воды 20, электрифицированную задвижку 21 на трубе подвода раствора 22 к эжек-

тору 23, электрифицированную задвижку 24 на трубе подачи исходной воды 25 в бак – разбавитель 17 и блок автоматического управления 26.

Устройство для фторирования воды работает следующим образом. При закрытой задвижке 7 по сигналу блока автоматического управления 26 открывается задвижка 10 на трубе 11 и происходит наполнение реактора 1 исходной водой. После наполнения реактора 1 до заданного уровня в блок 26 поступает сигнал от датчика уровня воды 12 и закрывается задвижка 10. В этот момент включаются дозаторы 4, 5, и 6, а также электродвигатель 3 механической лопастной мешалки 2. После подачи в реактор 1 соответствующих доз фторида натрия, хлорида магния и гидроксида хлора дозаторы 4, 5, и 6 выключаются. Осуществляется приготовление суспензии, содержащей твердые частицы  $Mg(OH)F$ . Через промежуток времени  $T = 30$  минут, гарантирующий окончание приготовления данной суспензии, по сигналу блока 26 открываются задвижка 7 и затем задвижка 10. Подача воды в реактор сверху необходима для обеспечения скоростного режима движения суспензии, предотвращающего осаждение частиц  $Mg(OH)F$  на стенки трубы 16. Этот скоростной режим контролируется расходомером 8 на отводной трубе 9, по сигналам которого, поступающим в блок 26, регулируется открытие и закрытие задвижек 7 и 10.

По отводной трубе 9 суспензия  $Mg(OH)F$  подается в бак-разбавитель 17. Для интенсификации процесса растворения в баке-разбавителе работает механическая лопастная мешалка 18 с электродвигателем 19, управление которым осуществляется от блока 26. Для соблюдения необходимого режима растворения предусмотрена подпитка бака-разбавителя исходной водой по трубе 25 с помощью электрифицированной задвижки 24. Управление этой задвижкой осуществляется блоком 26 на основании сигналов от датчика уровня 20. Кроме того, от блока 26 осуществляется управление электродвигателем 19 лопастной мешалки 18 путем изменения числа оборотов на основании показаний датчика фтора 15. На основании анализа показаний датчиков фтора 14 и 15, а также расходомера 13 осуществляется блоком 26 управление задвижкой 21, обеспечивая поступление через трубу 22 и эжектор 23 в общий поток исходной воды (труба 16) эжектируемого расхода  $Q_p$ . Для обеспечения непрерывного дозирования фторсодержащего раствора в исходную воду в общей схеме сооружений необходимо предусмотреть два реактора и один бак-разбавитель, рассчитанный на время пребывания в нём раствора – не менее 20 минут.

Таким образом, предлагаемое устройство обладает следующими преимуществами:

- расширяются возможности использования;
- повышается эффективность процесса фторирования;
- обеспечивается необходимая точность дозирования
- фторсодержащего раствора в исходную воду;
- уменьшаются строительные и эксплуатационные затраты.

## Обесфторивание воды

Сопоставительные исследования различных способов обесфторивания воды, выполненные в ВоГТУ в период с 1996 по 2005 годы [43], показали, что наиболее удобным, безвредным и экономичным реагентом для обесфторивания воды с содержанием фтора до 5 мг/л является оксид магния.

Доза оксида магния определяется по формуле:

$$D_{\text{м}} = l \cdot [2(\Phi - 1) - Ж_{\text{Мг}}], \text{ мг/л}, \quad (11.57)$$

где  $l$  – эквивалентная масса, мг/мг-экв, равная для оксида магния 20,1 мг/мг-экв;

$\Phi$  – содержание фтора в исходной воде, мг/л;

$Ж_{\text{Мг}}$  – магниезальная жесткость воды, мг-экв/л.

Раствор оксида магния эжектируется в трубопровод, подающий воду на фильтры. Приготовление раствора осуществляется в растворяющем баке, объем которого определяется по формуле:

$$W_p = \frac{Q \cdot t \cdot D_{\text{Мг}}}{C_2 \gamma \cdot 10000}, \text{ м}^3, \quad (11.58)$$

где  $t$  – время, необходимое для приготовления раствора, принимается 0,2 – 0,3 ч;

$C_2$  – процентная концентрация раствора, принимается 8 – 15%.

Контактно-сорбционная коагуляция заключается в следующем: раствор сернокислого алюминия вводится в воду непосредственно перед ее поступлением в контактные осветлители. В первоначальный период в течение 1 - 2 часов подается повышенная доза коагулянта, равная 100 – 150 мг/л. При этом на зернах и в порах фильтрующей загрузки образуется гидроксид алюминия, который впоследствии сорбирует фтор. В период «зарядки» фильтрат отводится в отдельную емкость или сбрасывается в канализацию. Этот фильтрат можно использовать для промывки фильтрующей загрузки. После «зарядки» доза коагулянта уменьшается до 20 – 25 мг/л. В среднем на 1 мг удаляемого фтора расходуется около 80 мг сульфата алюминия.

В качестве сорбентов, через которые фильтруется вода при обесфторивании используются: активированный оксид алюминия, фосфатосодержащие магниезальные и другие сорбенты. Технология обесфторивания с помощью сорбентов примерно такая же, как технология ионообменной обработки воды.

В 2006 году в ВоГТУ были завершены работы по созданию новой безотходной технологии обесфторивания воды [46]. Схема установки для обесфторивания воды оксидом магния приведена на рис. 11.18.

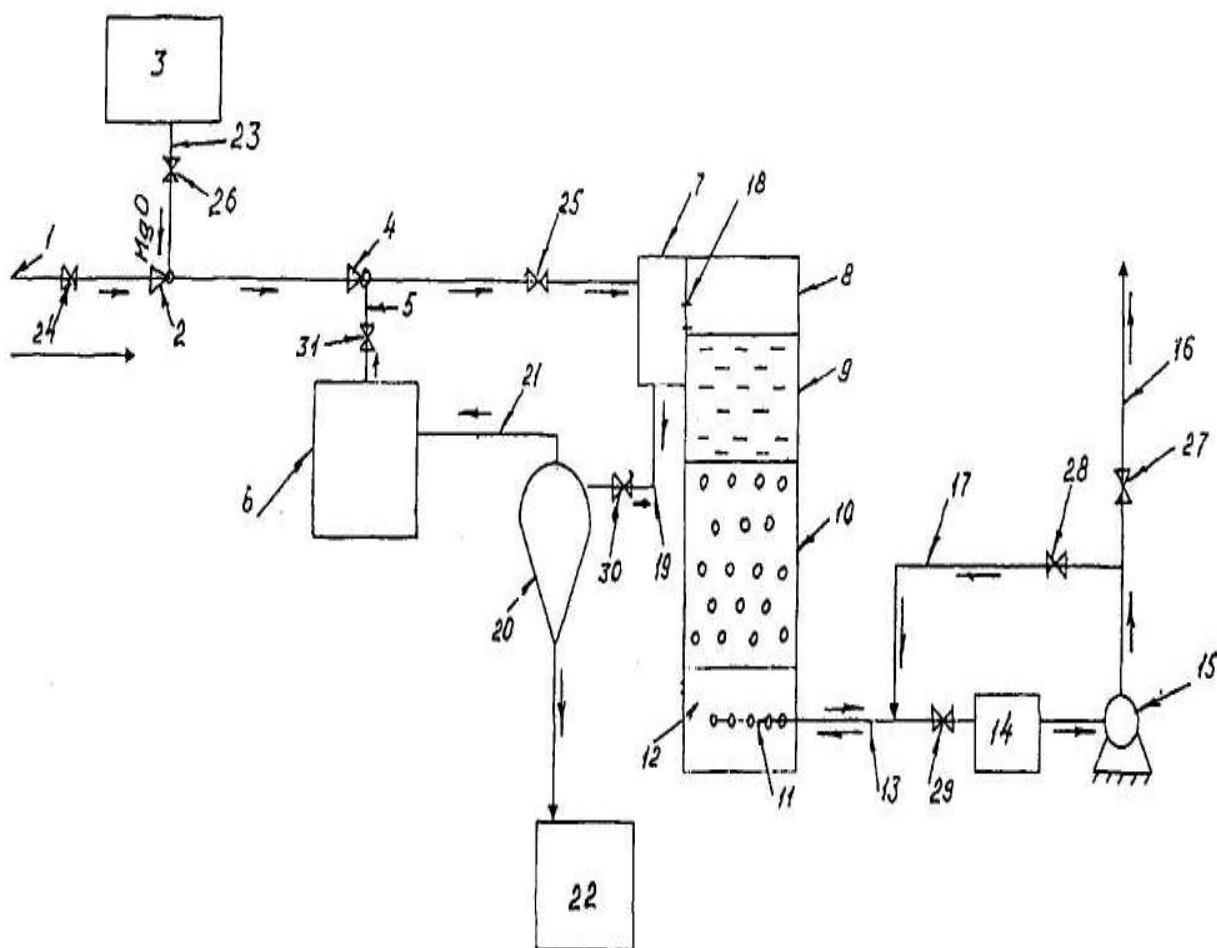


Рис. 11.18. Схема установки для обесфторивания воды оксидом магния:  
 1- подача исходной воды; 2, 4 – эжектор; 3 – емкость; 5 – всасывающая труба;  
 6 – емкость для хранения очищенной (отделенной от осадка оксифторида магния)  
 промывной воды; 7 – боковой карман скорого фильтра; 8- скорый фильтр;  
 9- надфильтровый слой воды; 10 – фильтрующий слой; 11 – дренажная система;  
 12 – подфильтровое пространство; 13 – труба отвода очищенной воды;  
 14 – трубопровод подачи воды в РЧВ; 15- патрубок насоса; 16 – трубопровод  
 подачи воды потребителям; 17 – трубопровод подачи промывной воды  
 в дренажную систему; 18 – отверстие для пропуска исходной воды; 19 – трубопровод  
 отвода промывной воды; 20 – гидроциклон; 21 – трубопровод отвода очищенной  
 промывной воды; 22- емкость для сбора осадка оксифторида магния; 24-31-задвижки

Устройство работает следующим образом.

При режиме обесфторивания открыты задвижки 24,25,26, 29 и 27. Закрыты задвижки 28 и 30. Задвижка 31 при этом режиме окрывается на время удаления очищенной промывной воды из емкости 6. Исходная вода из источника по трубе подачи исходной воды 1 проходит через эжектор 2, где в воду добавляется оксид магния из емкости 3. Затем проходит через эжектор 4, где в исходную воду периодически добавляется очищенная промывная вода из емкости 6, и поступает в боковой карман фильтра 7, откуда через отверстие 18 поступает в корпус скорого фильтра 8. Фильтрация в скором фильтре 8

осуществляется сверху вниз со скоростью не более 10 м/ч. При этом сначала в надфильтровом слое 9 происходит реакция обесфторирования воды с образованием осадка оксифторида магния. Этот осадок задерживается в порах зернистого фильтрующего слоя 10, а очищенная обесфторенная вода поступает в подфильтровое пространство 12, где с помощью дренажной системы 11 собирается и по трубе отвода очищенной воды 13 направляется в резервуар чистой воды 14. Из резервуара чистой воды 14 вода забирается насосом 15 и подается по трубе 16 потребителям.

При переходе на режим промывки сначала закрываются задвижки 26, 24, 31 (если перед режимом промывки она была открыта), 25, 29 и 27. Открываются задвижки 28 и 30. Интенсивность и продолжительность промывки принимаются по СНиП [1, табл. 23]. Промывная вода по трубам 17 и затем 13 поступает в дренажную систему 11, проходит снизу вверх через фильтрующую загрузку, взмучивает ее и выносит из загрузки осадок оксифторида магния; затем промывная вода через отверстие 18 попадает в боковой карман и оттуда по трубе 19 поступает на вход гидроциклона 20. В гидроциклоне отделившийся осадок оксифторид магния через нижний патрубок попадает в сборную емкость 22, а очищенная промывная вода по трубе 21 поступает в емкость 6, откуда с помощью трубы 5 и эжектора 4 вводится в общий поток исходной воды. После промывки закрываются задвижки 28 и 30, открываются задвижки 24, 25, 29, 27. Начинается процесс обесфторирования.

Соединение трубы подачи исходной воды с надфильтровым слоем скорого фильтра значительно упрощает конструкцию устройства, так как отпадает необходимость подачи исходной воды с введенным в нее магнийсодержащим реагентом до фильтра в осветлитель со взвешенным осадком. Кроме того, исключается необходимость устройства системы приготовления и дозирования подщелачивающего реагента для обрабатываемой воды и системы приготовления и дозирования подкисляющего реагента для обесфторенной воды. Это в свою очередь также упрощает эксплуатацию устройства, уменьшает строительные и эксплуатационные затраты.

Соединение трубы отвода промывной воды с входом гидроциклона, нижний выход которого направлен в емкость для сбора осадка оксифторида магния, а верхний выход – в емкость для сбора очищенной промывной воды, обеспечивает возможность отделения и утилизации осадка оксифторида магния для последующего его использования в качестве фторсодержащего реагента.

Соединение верхнего выхода гидроциклона с емкостью для сбора очищенной промывной воды, куда также опущена всасывающая труба, соединенная с другой стороны со штуцером эжектора, расположенного на трубе подачи исходной воды на отрезке между точками ввода магнийсодержащего реагента

и ввода этой трубы в скорый фильтр, позволяет увеличить производительность устройства, так как большая часть объема обесфторенной промывной воды ( до 90 %) возвращается в поток, поступающий на скорый фильтр. Кроме того, также способствует уменьшению эксплуатационных затрат, так как не требуется дополнительное расходование магнийсодержащего реагента на промывную воду, введенную в трубу подачи исходной воды.

Устройства обладают следующими преимуществами:

- упрощается технология;
- улучшается качество очищенной воды;
- улучшаются потребительские свойства осадка;
- увеличивается производительность;
- обеспечивается возможность отделения и утилизации осадка оксифторида магния для последующего его использования;
- упрощается эксплуатация;
- уменьшаются строительные и эксплуатационные затраты.

## **12. Основные положения компоновки водоочистных станций**

### **12.1. Повторное использование промывных вод**

На водоочистных станциях осветления, обезжелезивания и реагентного умягчения воды рекомендуется промывные воды фильтровальных сооружений частично очищать и транспортировать в смесители для повторного использования. Это делается с целью охраны природных водоисточников и сокращения расходов воды на собственные нужды водоочистных сооружений. Для улавливания песка, который выносится при промывке фильтров, предусматриваются песколовки горизонтального типа.

Скорость движения воды в песколовке принимается:  $V_n = 0,15$  м/с. Площадь живого сечения песколовки определяется по формуле:

$$f_n = q_{пром} / V_n, \text{ м}^2, \quad (12.1)$$

где  $q_{пром}$  – расход промывной воды, поступающей в песколовку,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Глубина проточной части  $h_n = 0,8 - 1,0$  м, ширина  $b_n = 0,6 - 1,0$  м.

Площадь сечения одной песколовки:

$$f_1 = h_n \cdot b_n, \text{ м}^2. \quad (12.2)$$

Требуемое количество песколовок:

$$n_n = \frac{f_n}{f_1}, \text{ шт.} \quad (12.3)$$

Глубина осадочной части песколовки принимается:  $h_o = 0,5 h_n$ . Время пребывания воды принимается:  $t_n = 30$  сек. Длина песколовки:

$$l_n = V_n \times t_n, \text{ м.} \quad (12.4)$$

Из песколовки вода направляется в усреднитель (резервуар). Его объем определяется из условия поочередной промывки всех фильтров с интервалом времени не менее 20 мин:

$$W_y = 1,2 t_n \cdot q_{\text{пром}} \cdot n_{\text{пр}} \cdot N_{\phi}, \text{ м}^3, \quad (12.5)$$

где  $t_n$  – время простоя фильтра в связи с промывкой, с.;

$n_{\text{пр}}$  – количество промывок за сутки;

$N_{\phi}$  – количество рабочих фильтров.

## 12.2. Балансовая схема ВОС

Балансовая схема составляется после определения всех расходов (потоков) воды на водоочистной станции, а также определения места ввода и расходов реагентов.

На балансовой схеме указываются направления потоков и величины расходов. Пример балансовой схемы приведен на рис. 12.1.

На основании балансовой схемы составляется плановая схема компоновки водоочистной станции.

## 12.3. Плановая схема компоновки ВОС

На плановой схеме компоновки водоочистной станции показано расположение в плане сооружений относительно друг друга с учетом их количества: трубопроводы обвязки, места расположения задвижек, направления движения основных потоков воды. При этом следует предусмотреть обводной трубопровод, трубопроводы для сброса (транспортирования) промывных вод и осадка, трубопроводы подачи реагентов, показать места ввода реагентов. Пример плановой схемы компоновки водоочистной станции приведен на рис. 12.2.



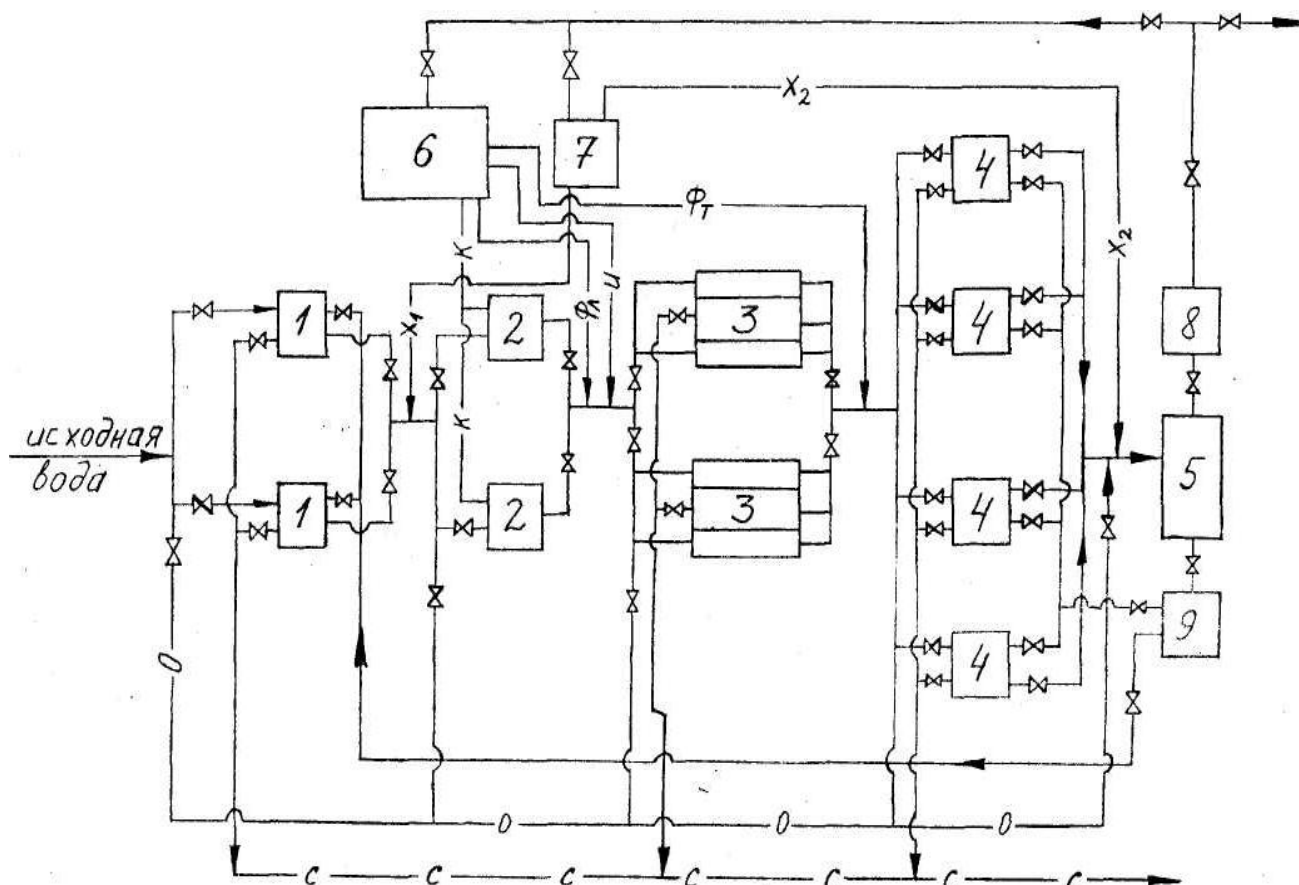


Рис. 12.2. Плановая схема компоновки водоочистой станции (пример):  
 1 - микрофильтры; 2 - смесители, 3 - осветлители со взвешенным осадком;  
 4 - скорые фильтры; 5 - РВЧ, 6 - реагентное хозяйство; 7 - хлораторная; 8 - НС - II;  
 9 - промывные насосы;  $X_1$ ,  $X_2$  - хлоропроводы; ФЛ - подача флокулянта; И - подача  
 известкового раствора; ФТ - подача фторсодержащего раствора; О - обводной  
 трубопровод; С - сброс промывных вод и осадка

#### 12.4. Высотная схема компоновки ВОС

Высотное расположение сооружений водоочистой станции должно обеспечивать движение воды самотеком от наивысшей точки технологической схемы до резервуара чистой воды.

На ней помимо отметок положения уровней воды в сооружениях и коммуникациях указываются отметки днища, фундаментов и верхних бортов основных элементов водоочистных сооружений, сооружений для повторного использования промывных вод и поверхности земли в месте их расположения.

Величины перепадов уровней воды в сооружениях и соединительных коммуникациях должны определяться расчетами.

Для предварительного высотного расположения сооружений потери напора рекомендуется принимать по таблице 12.1.

Таблица 12.1

**Потери напора в сооружениях и коммуникациях**

| Очистные сооружения и коммуникации                                                         | Потери напора, м. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>В сооружениях</b>                                                                       |                   |
| Микрофильтры и барабанные сетки                                                            | 0,4...0,6         |
| Входные камеры                                                                             | 0,3...0,5         |
| Смесители гидравлического типа                                                             | 0,5...0,6         |
| Механические смесители                                                                     | 0,1...0,2         |
| Камеры хлопьеобразования                                                                   | 0,4...0,5         |
| Флокуляторы                                                                                | 0,1...0,2         |
| Отстойники                                                                                 | 0,7...0,8         |
| Осветлители со взвешенным осадком                                                          | 0,7...0,8         |
| Скорые фильтры                                                                             | 3...3,5           |
| Контактные осветлители                                                                     | 2...2,5           |
| Медленные фильтры                                                                          | 1,5...2           |
| <b>В коммуникациях</b>                                                                     |                   |
| От микрофильтров или барабанных сеток до смесителей                                        | 0,2               |
| От смесителей до отстойников, осветлителей со взвешенным осадком и контактных осветлителей | 0,3...0,4         |
| От отстойников и осветлителей со взвешенным осадком до фильтров                            | 0,5...0,6         |
| От фильтров и контактных осветлителей до резервуара чистой воды                            | 0,5...1           |

При составлении высотной схемы за нулевую отметку принимают максимальный уровень воды в резервуаре чистой воды, который должен быть на 0,25 – 0,5 м выше поверхности земли.

Для уменьшения объемов земляных работ при строительстве водоочистной станции необходимо учитывать рельеф территории строительной площадки.

Примеры высотных схем компоновки водоочистной станции приведены на рис. 12.3.

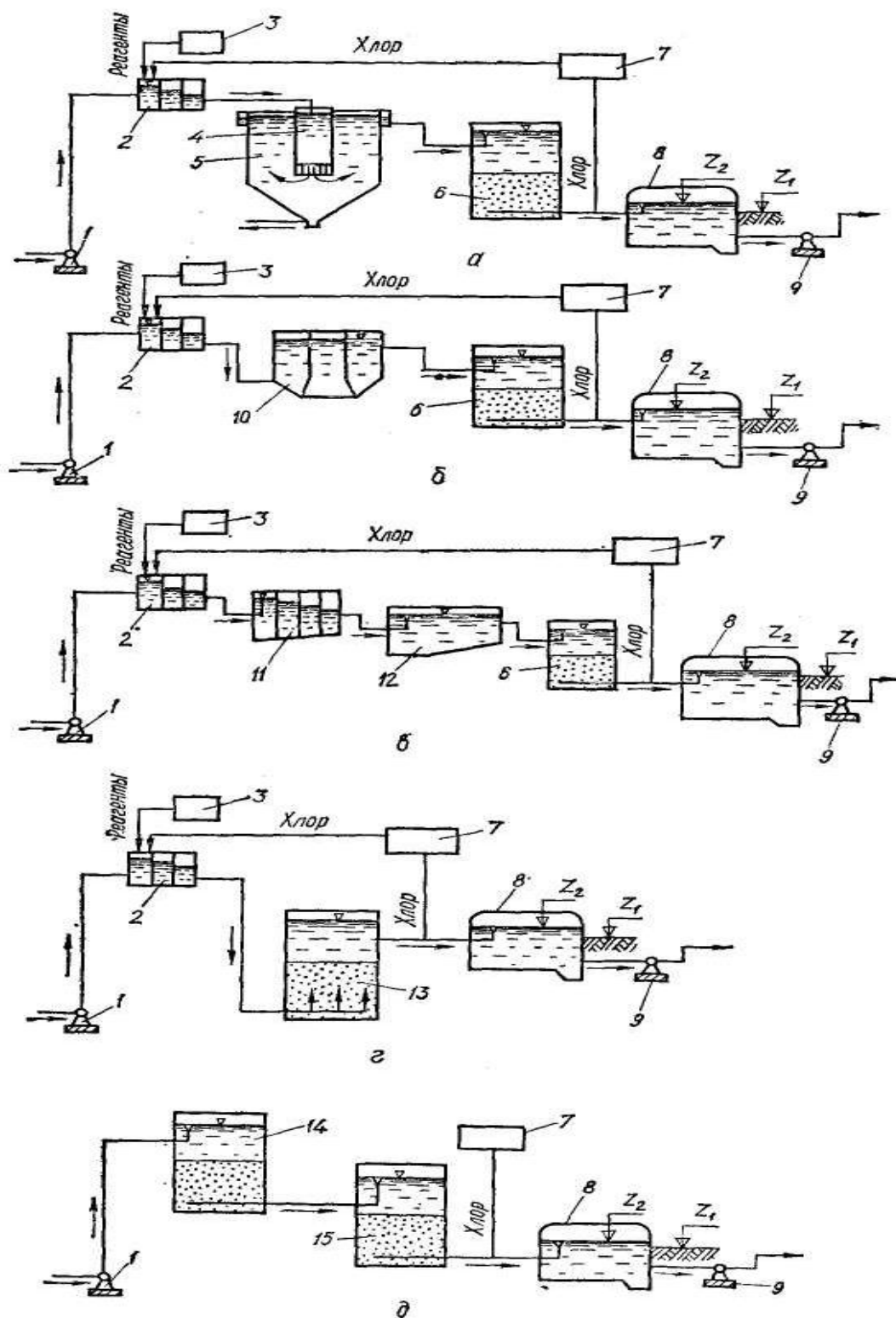


Рис. 12.3. Высотные схемы технологических сооружений водоочистных станций а — с вертикальными отстойниками и скорыми фильтрами; б — с осветлителями и фильтрами; в — с горизонтальными отстойниками и фильтрами; г — с контактными осветлителями; д — с префильтрами и медленными фильтрами; 1 — насосная станция первого подъема; 2 — смесители; 3 — реагентный цех; 4 — водоворотная камера хлопьеобразования; 5 — вертикальный отстойник; 6 — скорые фильтры; 7 — хлораторная; 8 — резервуары чистой воды; 9 — насосная станция второго подъема; 10 — осветлители со взвешенным осадком; 11 — камера хлопьеобразования; 12 — горизонтальные отстойники; 13 — контактные осветлители; 14 — префильтры; 15 — медленные фильтры

## 12.5. Распределительные и сборные устройства

Распределение воды по параллельно работающим сооружениям осуществляется делительными водосливами или дросселирующей арматурой (задвижки, шиберы и т.д.) с водомерными устройствами.

По сечению или площади отдельных сооружений вода распределяется с помощью водосливов, воронок, желобов, лотков и т.д.

Эффективность работы распределительного или сборного устройства характеризуется показателем равномерности, который определяется по формуле:

$$m = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} = \frac{\mu_1 \times \omega_1}{\mu_2 \times \omega_2} \times \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}, \quad (12.6)$$

где  $Q_{\min}$  и  $Q_{\max}$  – соответственно минимальный и максимальный расходы воды через отверстия сборной или распределительной системы;

$\mu_1$  и  $\mu_2$  – соответствующие коэффициенты расходов через эти отверстия;

$\omega_1$  и  $\omega_2$  – площади этих отверстий;

$H_1$  и  $H_2$  – напоры, под которыми происходит истечение воды из отверстий.

Обычно при проектировании сооружений показатель  $m$  принимают для параллельно работающих сооружений – не менее 0,95; для распределительных дренажных систем фильтров – 0,9 – 0,95; для осветлителей – 0,75 – 0,85; для сборных систем осветлителей и отстойников – 0,6 – 0,7; для систем отвода осадка – 0,6 – 0,8.

## 12.6. Генеральный план водоочистой станции

На генеральном плане обозначают все строения и сооружения, коммуникации, дороги, ограждения, озеленение и т.д.

По возможности все очистные сооружения, а также вспомогательные, производственные помещения и реагентное хозяйство целесообразно сконцентрировать под одной крышей или в близко расположенных зданиях.

Расходные склады хлора и аммиака должны располагаться в отдельных зданиях. Расстояние от них до помещений с постоянным пребыванием людей, а также до водоисточника должно быть не менее 30 м; если хлор хранится в баллонах или контейнерах – не менее 100 м, а при хранении хлора в танках – не менее 300 м.

Генплан очистной станции для хозяйственно-питьевого водоснабжения приведен на рис. 12.4.

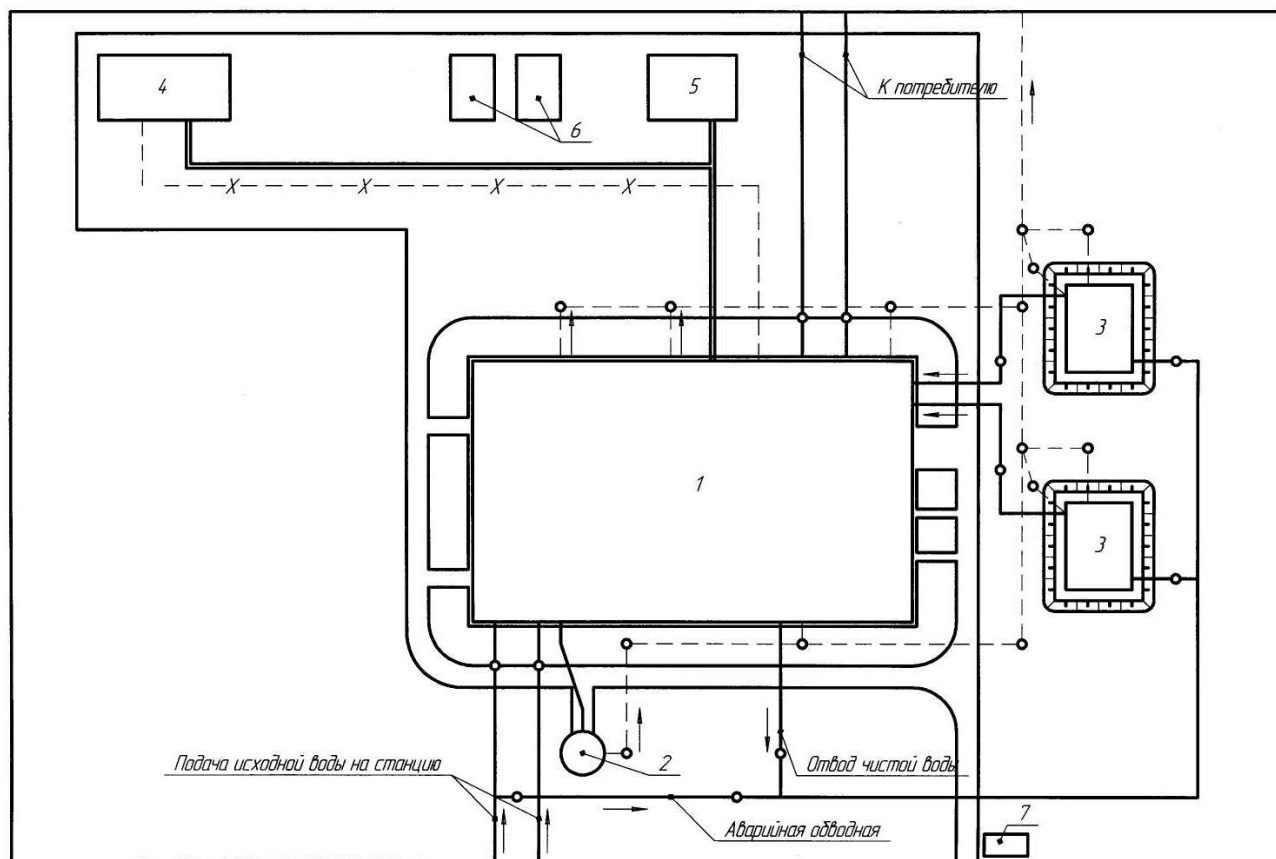


Рис. 12.4. Генплан очистной станции для хозяйственно-питьевого водоснабжения производительностью 38 728 м<sup>3</sup>/сут (М 1:1000):

- 1 - здание водоочистной станции; 2 - башина для промывной воды;  
 3 - резервуар чистой воды; 4 - хлораторная и расходный склад хлора;  
 5 - котельная; 6 - площадка для угля и золы; 7 - проходная

### 13. Зоны санитарной охраны водоочистной станции

Вокруг водоочистной станции создается зона санитарной охраны, состоящая из пояса строгого режима (1-й пояс) и санитарно-защитной полосы. Граница первого пояса должна совпадать с ограждением площадки сооружений, которое, в свою очередь, должно располагаться на расстоянии не менее 30 м от стен резервуаров чистой воды, фильтров (кроме напорных), контактных осветлителей. От стен остальных сооружений расстояние до ограждения должно быть не менее 10 м. Ограждение должно быть глухим, высотой 2,5 м. К ограждению могут примыкать только проходные и административно-бытовые здания.

На территории первого пояса запрещаются все виды строительства, за исключением реконструкции или расширения водопроводных сооружений, размещение жилых и общественных зданий, проживание людей, прокладки трубопроводов кроме тех, которые обслуживают водоочистную станцию.

Здания водоочистной станции должны быть канализованы. Должно быть обеспечено отведение поверхностных вод за пределы первого пояса. Кроме того должна быть предусмотрена сторожевая охрана, запретная зона шириной 5 – 10 м вдоль внутренней стороны ограждения, тропа наряда шириной 1 м, столбы-указатели, устанавливаемые на расстоянии не более 50 м друг от друга, охранное освещение по периметру ограждения, постовая телефонная связь и двухсторонняя электровзвонковая сигнализация.

Санитарно-защитная полоса вокруг первого пояса зоны санитарной охраны должна иметь ширину не менее 100 м. На территории этой полосы необходимо:

1. Осуществлять регулирование отведения территорий для населенных пунктов, лечебных учреждений, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также возможных изменений технологий предприятий, связанных с повышением степени опасности загрязнений водоисточников сточными водами.

2. Благоустраивать промышленные и другие предприятия, населенные пункты и отдельные здания, предусматривать организованное водоснабжение, канализирование, устройство водонепроницаемых выгребов, организацию отвода загрязненных поверхностных сточных вод и др.

3. Производить только рубки ухода за лесом и санитарные рубки леса;

4. Запрещается загрязнение территории нечистотами, мусором, навозом, промышленными отходами, размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов, минеральных удобрений и др., а также кладбищ, скотомогильников, полей ассенизации, фильтрации, навозохранилищ, силосных траншей и др.

5. Запрещается применение удобрений и ядохимикатов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чудновский, С.М. Проектирование сооружений для улучшения качества природных вод: учеб. пособие / С.М. Чудновский. - Вологда: ВоГТУ, 2001. – 147 с.
2. Чудновский, С.М. Проектирование сооружений для улучшения качества природных вод: учеб. пособие / С.М. Чудновский, О.И. Лихачева. - 2-е изд., перераб. и доп.- Вологда: ВоГТУ, 2006. – 127 с.
3. Гельфман, М. И. Коллоидная химия: 3-е изд., стер. / М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов. - СПб.: Лань, 2005. – 336 с.
4. Учебная книга по химии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://him.1september.ru/article.php?ID=200602308>
5. Пат. 2095524 Российская федерация. Установка для забора и очистки воды из поверхностных водоисточников / С.М. Чудновский, М.Г. Журба; заявитель и патентообладатель Вологодский гос. тех. ун-т. – Опубл. 10.11.97. – Бюл. № 31. - С. 5.
6. Пат. 2193631 Российская Федерация, Установка для забора и очистки воды из поверхностных источников / С.М. Чудновский, Е.С. Мозалевская, Б.С. Чудновский; заявитель и патентообладатель Вологодский гос. тех. ун-т. – Опубл. 27.11.02.– Бюл. №33. – С. 5.
7. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая: Гигиенические требования и контроль за качеством. Вода питьевая: Методы анализа. – Введ.01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 7 с.
8. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 2.1.4.1074-01. – Введ.01.01.01. – М.: Госэпидемнадзор России, 2001. – 111с.
9. ГОСТ 17.1.3.03-77. Правила выбора и оценки качества источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. – Введ. 01.01.77 – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 2 с.
10. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности /СЭВ ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1978. – 590 с.
11. Строительные нормы и правила. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02-84: введ.01.01.86. – М.: Стройиздат, 1985. – 132 с.
12. Строительные нормы и правила. Инструкция о составе разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений: СНиП 1.02.01-85: введ.01.01.85. – М.:Стройиздат,1985. – 85с.
13. Демура, М.В. Проектирование тонкослойных отстойников /М.В.Демура. – Киев: Будивельник, 1981. – 52 с.

14 Миронова, Н.Л. Применение напорной флотации для интенсификации процессов коагулирования маломутных цветных вод: Автореф. дис. канд. техн. наук:05.26.02 / Н.Л.Миронова; Вологодский гос.тех.ун-т. – Вологда, 1999. – 20 с.

15. Пат.2142419 Российская Федерация, Способ очистки маломутных цветных вод / С.М. Чудновский, Н. Л. Миронова; заявитель и патентообладатель Вологодский гос. тех. ун-т. – Оpubл.10.12.1999. – Бюл.№ 23. – С. 6.

16. Журба, М.Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой: научное издание / М.Г. Журба. –М.-Вологда :Полиграфист, 2011. – 536с.

17. Шорин, В.А. Оценка гибкости основных составляющих процесса хлопьеобразования маломутных цветных вод / В.А. Шорин, Б.С. Чудновский // Вузовская наука – региону: материалы III региональной межвузовской научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2002. – С. 142-143.

18. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами / Е.Д. Бабенков. –М.: Наука, 1977. – 356 с.

19. Пособие по проектированию автоматизации и диспетчеризации систем водоснабжения (к СНиП 2.04.02-84): утв. приказом СоюзводоканалНИИ-проекта от 5 марта 1985 г. № 4.1.– М.: Центральный институт типового проектирования, 1985. – 55 с.

20. Чудновский, С.М. Определение оптимальной дозы коагулянта по дзета-потенциалу взвешенных в воде частиц / С.М Чудновский, В.М.Ропот, Л.Л. Индричан //Мелиорация и водное хозяйство: экспресс – информация. Серия 3. Обводнение и сельскохозяйственное водоснабжение. Вып. 10. – М., 1987. – С. 12 -17.

21. Патент 2415814 Российская Федерация, Способ регулирования процесса коагуляции воды / С.М. Чудновский, Е.А. Жирихина, Н.Г Жаравина.; заявитель и патентообладатель Вологодский гос.тех.ун-т. – Оpubл.10.04.2011. – Бюл.№10. – С. 9.

22. А.С. SU 1363020. Способ седиментационного анализа дисперсных систем / С.М. Чудновский. – Оpubл. 30.12.87. – Бюл. № 48.

23. А.С. SU 1383190. Способ определения электрофоретической подвижности дисперсных частиц суспензий / С.М. Чудновский. – Оpubл. 23.03.88. – Бюл. № 11.

24. Патент 2471719 Российская Федерация. Способ регулирования процессов очистки воды в контактных осветлителях и устройство для его осуществления / С.М. Чудновский, Н.А.Кузнецова; заявитель и патентообладатель Вологодский гос.тех.ун-т. – Оpubл. 10.01.2013. – Бюл.№1. – С. 11.

25. Чудновский, С.М. Водозаборы для комплексного использования и охраны водных ресурсов:учебное пособие /С.М. Чудновский, А.В. Зенков. – Вологда:ВоГТУ, 2007. – 95 с.

26. Пат. 2095524 Российская федерация. Установка для забора и очистки воды из поверхностных водоисточников /С.М. Чудновский, М.Г. Журба: заявитель и патентообладатель Вологодский гос.тех. ун-т.– Оpubл. 10.11.97. – Бюл. № 31. – С. 5.
27. Пат. 2193631 Российская федерация. Установка для забора и очистки воды из поверхностных источников /С.М. Чудновский, Е.С.Мозалевская, Б.С. Чудновский : заявитель и патентообладатель Вологодский гос. тех. ун-т. - Оpubл. 27.11.02.– Бюл. № 33. – С. 5.
28. Патент RU 2453659. Установка для забора и очистки воды из поверхностных источников / С. М.Чудновский, А.И.Семенова, И.В.Пантюхина; заявитель и патентообладатель Вологодский гос. тех. ун-т.- Оpubл. 20.06.12. – Бюл.№ 17.
29. Николадзе, Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г.И. Николадзе.- М.: Стройиздат, 1980. - 160 с.
30. Журба, М.Г. Обезжелезивание и деманганация воды / М.Г. Журба, Ж.М. Говорова //Водоснабжение. –2005. – №2 –С. 356-365.
31. Гуринович, А.Д. Питьеовое водоснабжение из подземных источников: проблемы решения / А.Д. Гуринович. – Минск: Технопринт, 2001. – 305 с.
32. Николадзе, Г. И. Технология очистки природных вод / Г. И. Николадзе. –М.: Высшая школа, 1987. – 515 с.
33. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – Киев.: Высшая шк., 1986. - 352 с.
34. Комарчев, М.Г. Безреагентный способ удаления железа из воды / М.Г. Комарчев, Б.М. Нестеренко, Г. И. Николадзе // Водоснабжение и санитарная техника. – 1987. – № 8. – С. 25-27.
35. Курс физической химии/ под общ. ред. Я.И.Герасимова, издание второе, испр. – М.:Химия, 1973. – Т. 2. – С. 404.
36. Центр водных технологий. Передовые технологии очистки воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.water.ru>
37. Ковалев, М.П. Удаление бора из воды методом обратного осмоса [Электронный ресурс] / М.П. Ковалев, А.А. Назарова, И.А. Лавров. – Режим доступа: [http://www.mediana-filter.ru/bor\\_remove.html](http://www.mediana-filter.ru/bor_remove.html).
38. Ивлева, Г.А. Барьерные функции технологий подготовки подземных вод для хозяйственно-питьевых целей / Г.А. Ивлева, Л.С. Алексеев // Водоснабжение и санитарная техника.– 2007. – №9. – Ч. 2. – С.33-38.
39. Лурье, Ю.Ю. Справочник по аналитической химии: справочное издание / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1989. – С. 279.
40. Прончева, Л.Е. Регулирование содержания фтора при подготовке природных вод /Л.Е.Прончева // Сборник научных трудов ВоПИ. – Вологда,1998. – С. 118-120.

41. Патент на изобретение РФ № 2181700 Способ фторирования воды / Л.Е. Прончева, Г.А. Тихановская, С.М.Чудновский. – Оpubл. 27.04.02. – Бюл.№12.

42. Патент на изобретение РФ № 2452692. Способ фторирования воды и устройство для его осуществления/ С. М Чудновский, Г.А. Тихановская, Л.М. Воропай, Е.А. Хазова. Заявитель и патентообладатель Вологодский гос. тех. ун-т. – Оpubл. 10.06.2012. – Бюл. №16.

43. Патент на изобретение РФ № 2274608. Способ обесфторивания подземных вод и устройство для его осуществления / Л.Е. Прончева, Г.А Тихановская, С.М. Чудновский.– Оpubл. 27.04.02.– Бюл.№12.

44. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84). – М.: НИИ КВОВ, 1989. – 78с.

45. Методические рекомендации по обеспечению выполнения требований санитарных правил и норм СанПиН 2.1.4.599 -96 «Питьевая вода» на водопроводных станциях при очистке природных вод. – М.: Госстрой России, НИИ КВОВ, 2000. – 76с.

46. Горбачев, Е.А. Проектирование очистных сооружений водопровода из поверхностных источников: учеб.пособие /Е.А.Горбачев. – М.:АСВ, 2004. – 240 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Введение .....                                                                                              | 3         |
| <b>1. Основные термины и определения.....</b>                                                               | <b>4</b>  |
| <b>2. Методы и технологические схемы улучшения качества природных вод .....</b>                             | <b>7</b>  |
| 2.1 Теоретические основы процессов коагуляции воды .....                                                    | 7         |
| 2.2. Теоретические основы процессов отстаивания воды.....                                                   | 11        |
| 2.3. Теоретические основы процессов безреагентной напорной флотации.....                                    | 12        |
| 2.4. Теоретические основы процессов очистки воды в осветлителях со взвешенным осадком.....                  | 13        |
| 2.5. Теоретические основы процессов фильтрования воды.....                                                  | 14        |
| <b>3. Требования, предъявляемые к качеству питьевой и технической воды .....</b>                            | <b>17</b> |
| <b>4. Проектирование водоочистных сооружений для осветления, обесцвечивания и обеззараживания воды.....</b> | <b>20</b> |
| 4.1. Стадии проектирования .....                                                                            | 20        |
| 4.2. Требования к материалам, используемым для проектирования.....                                          | 20        |
| 4.3. Требования к содержанию курсового проекта .....                                                        | 20        |
| 4.4. Выбор исходных данных для курсового проектирования .....                                               | 21        |
| 4.5. Определение общей производительности водоочистной станции.....                                         | 21        |
| 4.6. Выбор методов обработки природных вод и состава сооружений .....                                       | 22        |
| <b>5. Сооружения реагентного хозяйства для осветления и обесцвечивания воды .....</b>                       | <b>28</b> |
| 5.1. Выбор реагентов, определение их доз .....                                                              | 28        |
| 5.2. Устройства для приготовления реагентов .....                                                           | 32        |
| 5.3. Склады реагентов .....                                                                                 | 40        |
| <b>6. Проектирование сооружений для предварительной очистки воды.....</b>                                   | <b>41</b> |
| 6.1. Расчет барабанных сеток и микрофильтров .....                                                          | 41        |
| 6.2. Расчет смесительных устройств .....                                                                    | 43        |
| 6.3. Расчет отстойников и камер хлопьеобразования .....                                                     | 50        |
| 6.4. Расчет осветлителей со взвешенным осадком.....                                                         | 61        |
| 6.5. Проектирование электрокоагуляторов.....                                                                | 65        |
| 6.6. Расчет напорных гидроциклонов .....                                                                    | 68        |
| 6.7. Проектирование сооружений для предварительной напорной флотации .....                                  | 69        |
| <b>7. Проектирование фильтровальных сооружений.....</b>                                                     | <b>71</b> |
| 7.1. Выбор конструкции фильтра .....                                                                        | 71        |
| 7.2. Расчет скорых однослойных открытых фильтров.....                                                       | 72        |

|                                                                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.3. Расчет скорых двухслойных открытых фильтров .....                                                                                          | 77         |
| 7.4. Расчет скорых напорных фильтров .....                                                                                                      | 78         |
| 7.5. Расчет фильтров с плавающей загрузкой (ФПЗ) .....                                                                                          | 80         |
| 7.6. Расчет крупнозернистых фильтров (КФ) .....                                                                                                 | 83         |
| 7.7. Расчет безреагентных напорных фильтров (БНФ - НИМИ) .....                                                                                  | 83         |
| 7.8. Расчет медленных фильтров (МФ) .....                                                                                                       | 84         |
| 7.9. Расчет контактных осветлителей (КО) .....                                                                                                  | 87         |
| 7.10. Расчет контактных префильтров (КП).....                                                                                                   | 88         |
| 7.11. Проектирование сооружений с установками «Струя» .....                                                                                     | 89         |
| <b>8. Гибкое управление процессами осветления и обесцвечивания воды ...</b>                                                                     | <b>90</b>  |
| 8.1. Оценка гибкости процессов осветления и обесцвечивания воды .....                                                                           | 90         |
| 8.2. Гибкое управление процессами очистки воды коагуляцией.....                                                                                 | 91         |
| 8.3 Гибкое управление процессами очистки воды на контактных<br>осветлителях .....                                                               | 94         |
| 8.4. Гибкое регулирование процессов очистки воды в технологических схемах,<br>содержащих осветлители со взвешенным осадком и скорые фильтры.... | 100        |
| <b>9. Осветление и обесцвечивание воды в водозаборно-очистных узлах...</b>                                                                      | <b>101</b> |
| <b>10. Проектирование сооружений для обеззараживания воды .....</b>                                                                             | <b>112</b> |
| 10.1. Выбор метода обеззараживания.....                                                                                                         | 112        |
| 10.2. Обеззараживание воды хлорированием .....                                                                                                  | 112        |
| 10.3. Обеззараживание воды озонированием.....                                                                                                   | 116        |
| 10.4. Обеззараживание воды ультрафиолетовым облучением.....                                                                                     | 120        |
| 10.5. Обеззараживание воды ультразвуковыми волнами .....                                                                                        | 122        |
| <b>11. Специальные методы обработки воды.....</b>                                                                                               | <b>123</b> |
| 11.1. Проектирование сооружений для умягчения воды.....                                                                                         | 123        |
| 11.2. Проектирование сооружений для опреснения и обессоливания воды ..                                                                          | 133        |
| 11.3. Проектирование сооружений для обезжелезивания воды.....                                                                                   | 140        |
| 11.4. Проектирование сооружений для очистки воды от бора.....                                                                                   | 152        |
| 11.5. Регулирование содержания фтора в питьевой воде .....                                                                                      | 157        |
| <b>12. Основные положения компоновки водоочистных станций.....</b>                                                                              | <b>168</b> |
| 12.1. Повторное использование промывных вод .....                                                                                               | 168        |
| 12.2. Балансовая схема ВОС .....                                                                                                                | 169        |
| 12.3. Плановая схема компоновки ВОС .....                                                                                                       | 169        |
| 12.4. Высотная схема компоновки ВОС.....                                                                                                        | 171        |
| 12.5. Распределительные и сборные устройства.....                                                                                               | 174        |
| 12.6. Генеральный план водоочистой станции .....                                                                                                | 174        |
| <b>13. Зоны санитарной охраны водоочистой станции.....</b>                                                                                      | <b>175</b> |
| Библиографический список .....                                                                                                                  | 177        |



Учебное издание

Семен Матвеевич Чудновский

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД**

Учебное пособие

Редактор Л.А. Перерукова

---

Подписано в печать 25.12.2013. Формат 60 × 90/16

Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл.-п.л. 11,4. Тираж экз. Заказ №

---

Отпечатано: РИО, ВоГУ 160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15