

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

*Институт горного дела и строительства*

*Кафедра санитарно-технических систем*

**Утверждаю:**

Зав. кафедрой СТС

 Р.А. Ковалев  
«30» августа 2021 г.

**Методические указания**  
**к практическим занятиям**  
**учебной дисциплины (модуля)**

***«Реагентное хозяйство систем водоснабжения и водоотведения»***

Направление подготовки: 08.03.01 – *"Строительство"*

Профиль подготовки: *"Водоснабжение и водоотведение"*

Квалификация выпускника: *бакалавр*

Форма обучения: *очная, заочная*

Тула 2021 г.

Методические указания учебной дисциплины (*модуля*) разработаны к.т.н.,  
доцентом Н.Н. Корнеевой, обсуждены на заседании кафедры санитарно-технических  
систем  
(протокол заседания кафедры № 1 от «30» августа 2021 г.)

Разработчик

---

*(личная подпись(и))*

## **Основные технологические схемы подготовки питьевой воды и выбор Составление высотной технологической схемы очистки воды**

Сочетание соответствующих технологических процессов и сооружений составляет технологическую схему улучшения качества воды. Используемые в практике водоподготовки технологические схемы можно классифицировать следующим образом: реагентные и безреагентные; по эффекту осветления; по числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них; напорные и безнапорные.

**1. Реагентные и безреагентные технологические схемы** применяют при подготовке воды для хозяйственно-питьевых целей и нужд промышленности. Указанные технологические схемы существенно различаются по размерам водоочистных сооружений и условиям их эксплуатации (рис. 1 и 2 см. лекцию 8.).

Процессы обработки воды с применением реагентов протекают интенсивнее и значительно эффективнее. Так, для осаждения основной массы взвешенных веществ с использованием реагентов необходимо 2—4 ч, а без реагентов — несколько суток. С использованием реагентов фильтрование осуществляется со скоростью 5 - 12 м/ч и более, а без реагентов — 0,1—0,3 м/ч (медленное фильтрование).

Водоочистные сооружения для обработки воды с применением реагентов значительно меньше по объему, компактнее и дешевле, но сложнее в эксплуатации, чем сооружения безреагентной схемы. Поэтому безреагентные технологические схемы (с гидроциклонами, акустическими, намывными и медленными фильтрами), как правило, применяют в небольших системах водоснабжения при цветности исходной воды до 50 град, безреагентные схемы применяют при неглубоком осветлении воды в системах водоснабжения

промышленных объектов. Для этих целей иногда используют одно отстаивание или одно фильтрование на грубозернистых фильтрах или микрофильтрах.

**2. По эффекту осветления** различают технологические схемы для полного или глубокого осветления воды и для неполного или грубого осветления. В первом случае очищенная вода соответствует требованиям питьевой воды (ГОСТ 2874—82), во втором — содержание взвеси в очищенной воде во много раз больше (до 50—100 мг/л). Обычно грубо-осветленную воду используют для охлаждения различного производственного оборудования.

Глубокому осветлению подвергают воду хозяйственно-питьевых и других производственных водопроводов, где к качеству технической воды предъявляют высокие требования. Технологию для неполного осветления воды обычно используют при подготовке технической воды.

**3. По числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них** технологические схемы подразделяют на одно-, двух- и многопроцессные. Так, усовершенствованная технологическая схема на рис. 2, б является двух-процессной, когда два основных технологических процесса — обработка воды в слое взвешенного осадка и фильтрование — осуществляются последовательно и однократно (в одну ступень). Аналогичная технологическая схема с флотатором приведена на рис. 2, г. В том случае, когда один из основных технологических процессов осуществляется дважды или более раз, технологическая схема называется двух-, трех- или многоступенчатой. Например, на рис. 2, в показана однопроцессная технологическая схема с контактными осветлителями, где основной технологический процесс — фильтрование — осуществляется дважды.

Количество технологических процессов и число ступеней каждого из них зависят от требований, предъявляемых к воде потребителем, и качества

исходно?! воды. Так, для грубого осветления воды можно ограничиться процессом осаждения, центрифугирования или только фильтрованием, а то время как при обработке высокомутных вод для хозяйственно-питьевых целей применяют осаждение в две ступени с последующим-фильтрованием в одну ступень или используют технологическую схему, предусматривающую предварительное осветление воды в гидроциклонах с последующей очисткой по технологическим схемам на рис. 11.1, а или 11.2, б.

В практике подготовки воды для нужд промышленности (ТЭС, химической и др.) применяют напорные технологические схемы с многоступенчатым фильтрованием.

**4. По характеру движения обрабатываемой воды** технологические схемы подразделяют на самотечные (безнапорные) и напорные (см. рис. 11.1). На городских и крупных промышленных водоочистных комплексах исходная вода движется по сооружениям самотеком, при этом уровень воды в каждом последующем сооружении ниже уровня в предыдущем. Разность уровней определяет напор, требуемый для преодоления гидравлических сопротивлений внутри сооружения и в коммуникациях от одного сооружения к другому. Поэтому увязка взаимного расположения отдельных очистных сооружений технологической схемы (т. е. построение высотной схемы) имеет первостепенное значение.

При напорной технологической схеме обрабатываемая вода от сооружения к сооружению движется под давлением выше атмосферного, поэтому отдельные сооружения можно располагать на одной отметке. Напорные очистные сооружения должны быть герметичными и рассчитаны на давление, развиваемое насосами. При использовании напорных технологических схем резервуары чистой воды и насосную станцию II подъема можно не устраивать. В отдельных случаях очищенная вода под напором

насосов I подъема передается непосредственно в сеть потребителей (см. рис. 1, а). Наоборот, при безнапорном движении воды по очистным сооружениям необходимы две насосные станции и резервуары чистой воды. При напорных технологических схемах значительно повышается металлоемкость водоочистных сооружений, что ограничивает их производительность.

Выбор технологической схемы улучшения качества ВОДЫ зависит не только от качества воды источника и требований потребителя, но и от количества потребляемой воды. Например, для обработки небольшого количества цветной или мутной воды не может быть рекомендована без изменения (по экономическим соображениям) основная технологическая схема. В этом случае вместо горизонтальных отстойников следует применять вертикальные, а смеситель можно заменить соплом Вентури или шайбой.

Ориентировочно технологическая схема для осветления и обесцвечивания воды до лимитов ГОСТ 2874—82 может быть выбрана по рекомендациям СНиП 2.04.02—84 «Водоснабжение, наружные сети и сооружения» (табл. 15) исходя из показателей мутности, цветности и производительности очистных сооружений с учетом требований к качеству осветленной воды. ( Таблицу привести к конкретным технологическим схемам осветления воды. Рис.1,2)

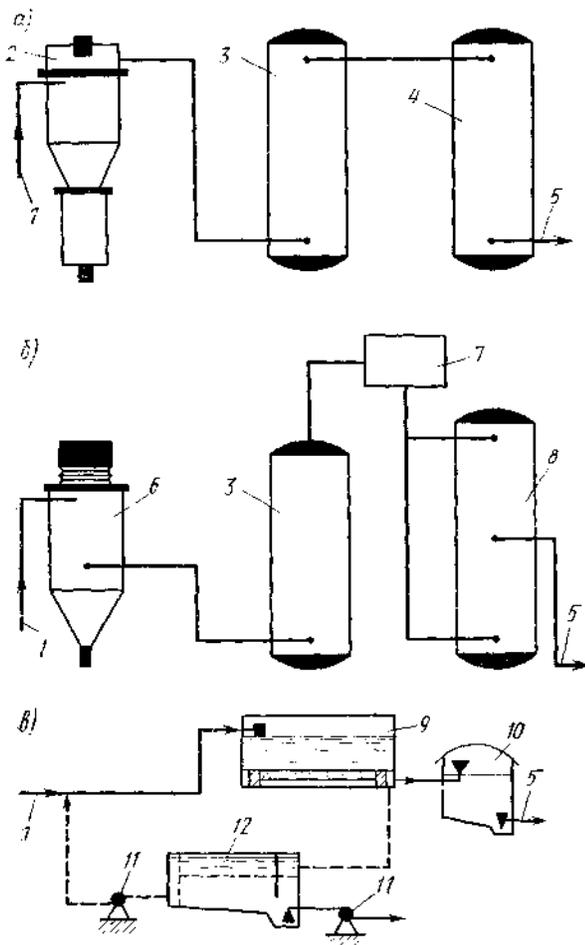
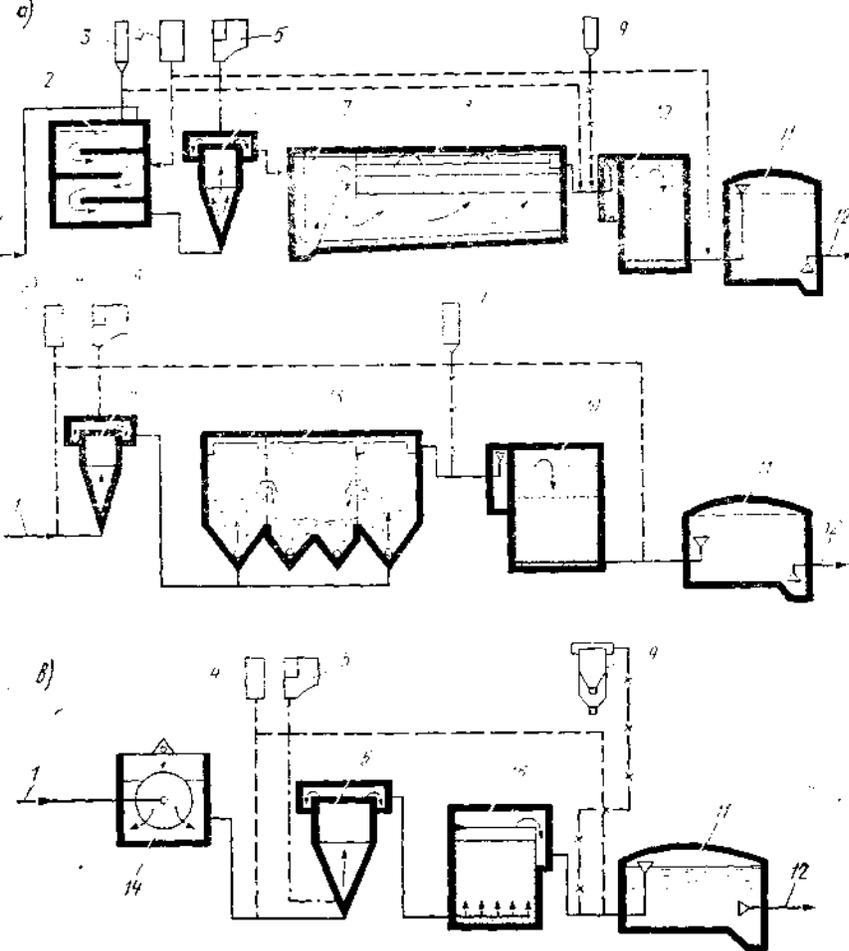


Рис.1(а,б,в). Безреагентные технологические схемы улучшения качества воды с гидроциклоном (а), акустическим фильтром (б), медленным фильтром.

1, 5 – подача исходной воды и отвод фильтрата; 2 – гидроциклон; 3 – скорый фильтр 1 ступени; 4- скорый фильтр 2-ой ступени; 6 – акустический фильтр; 7 – распределительная емкость; 8 – двухпоточный двухслойный

фильтр 2-ой ступени; 9 – медленный фильтр; 10 – РЧВ; 11 – насос; 12 – сооружения для оборота и повторного использования промывных вод.



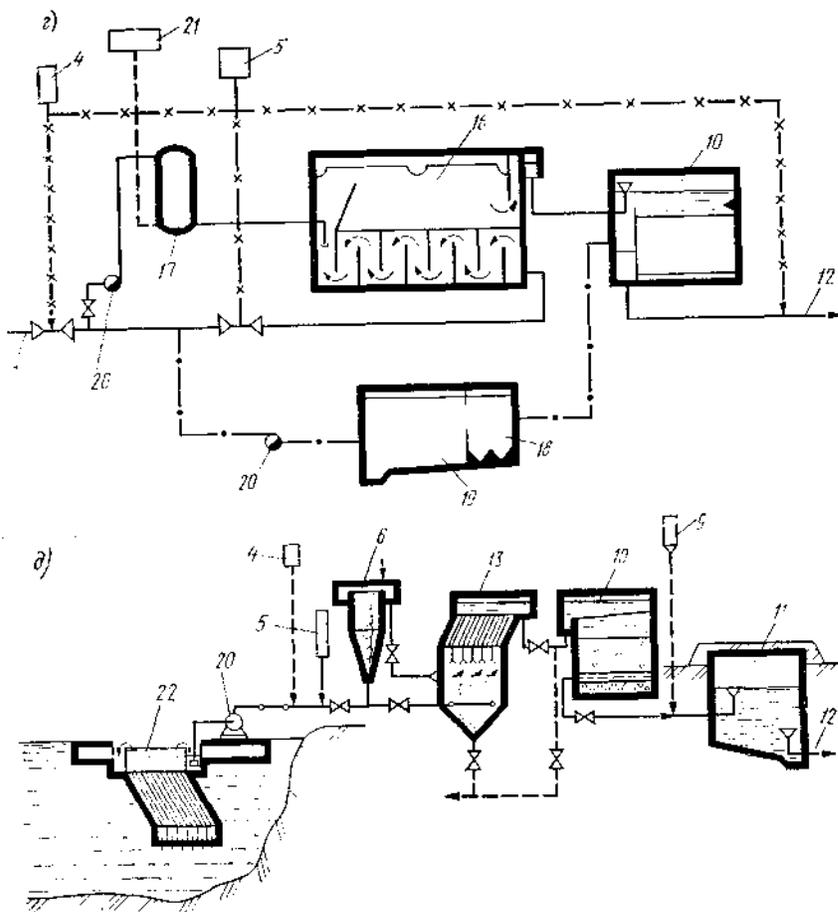


Рис. 2 (а,б,в,г,д). Реагентные технологические схемы улучшения качества воды с отстойниками (а), осветлителями со слоем взвешенного осадка (б), контактными осветлителями и микрофильтрами(в), флотаторами (г), тонкослойными отстойниками на плаву (д).

1,12 – подача исходной воды и отвод обработанной; 2 – контактный резервуар; 3 – установка углевания воды; 4 – хлораторная; 5 – баки коагулянта; 6 – вертикальный смеситель; 7 – камера хлопьеобразования; 8 – горизонтальный отстойник с тонкослойными модулями; 9 – флотаторная установка; 10 скорый фильтр; 11 – РЧВ; 13 – осветлитель во взвешенным слоем осадка; 14 - микрофильтр; 15 – контактный осветлитель; 16 – флотатор; 17 – напорный бак; 18, 19 – резервуар-

усреднитель промывных вод с песколовкой; 20 – насос; 21 – компрессор; тонкослойный отстойник на понтонах.

## 2. Определение производительности водопроводных очистных станций.

Полная производительность очистной станции  $Q_{полн}$  составляет:

$$Q_{полн} = \alpha \cdot Q_{полезн} + Q_{доп}, \quad (1.1)$$

где  $Q_{полезн}$  – полезная производительность водопроводной О.С.;

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды водопроводной О.С.

$$\alpha = 1 + n_1\alpha_1 + n_2\alpha_2 + n_3\alpha_3 + n_4\alpha_4, \quad (1.2.)$$

где  $n_1$  - количество ступеней осветления воды;

$n_2$  - количество ступеней фильтрования воды;

$n_3$  - количество ступеней дополнительной обработки воды (умягчение, обессоливание и т.д.);

$n_4$  - количество ступеней предварительного процеживания воды через микрофильтры и барабанные сетки;

$\alpha_1$  - коэффициент, учитывающий потери воды со сбросом осадка на сооружения отстаивания воды  $\alpha_1 = 0,015 \div 0,03$ ;

$\alpha_2$  - коэффициент, учитывающий потери воды при промывке фильтров,  $\alpha_2 = 0,03 \div 0,04$ ;

$\alpha_3$  - коэффициент, учитывающий потери воды на станции умягчения или обессоливания,  $\alpha_3 = 0,2 \div 0,3$ ;

$\alpha_4$  - коэффициент, учитывающий потери воды при промывке микрофильтров ( $\alpha_4 = 0,005$ ) или барабанных сеток .

$$n_2 = 2; \alpha_2 = 0,03; n_3 = 0: \alpha = 1 + 0 + 0,03 + 1 \cdot 0,07 + 1 \cdot 0,005 = 1,105$$

$Q_{доп}$  – дополнительный расход воды, проходящей через О.С. при наполнении противопожарного запаса в РЧВ

$$Q_{доп} = \frac{3,6 \cdot t_{пож} (n' \cdot q_1 + n'' \cdot q_2)}{T_{п.п.з.}}, \quad (1.3.)$$

где  $t_{пож}$  – расчетное время тушения пожара по СНиП равно-3часа;

$n'$  – расчетное количество пожаров, одновременно возникающих в населенном пункте;

$n$  - расчетное количество пожаров, одновременно возникающих на промышленном предприятии;

$q_1$  и  $q_2$  - соответственно, расходы воды на тушение одного пожара в жилой застройке и на промышленном предприятии;

$T_{н.п.з.}$  - время пополнения противопожарного запаса: для жилой застройки I категории надежности - 24ч, для промышленного предприятия - 36ч, в небольших населенных пунктах - 72ч.

$$Q_{дон} = \frac{3,6 \cdot 3(3 \cdot 40 + 1 \cdot 5)}{24} = 56,25 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$Q = Q_{пол} \cdot \alpha + Q_{дон} = 1,105 \cdot 45000 + 56,25 = 49781,25 \text{ м}^3/\text{сут};$$

## Определение расчетных доз реагентов доз реагентов.

Определение расчетных доз коагулянта.

В качестве коагулянта принимаем сернокислый алюминий, кусковой, неочищенный -  $Al_2(SO_4)_3$ .

Дозу коагулянта  $D_k$ , допускается принимать при обработке:

- мутных вод по табл. 16 СНиП 2.04.02-84; - цветных вод по формуле:

$$D_k = 4\sqrt{C}, \quad (3.1.)$$

где  $C$  – цветность обрабатываемой воды, град.

В этом случае:

При  $M = 350$  мг/л. - доза по мутности: 40 мг/л

При цветности  $C = 45$  градусов-доза по цветности: 26,8 мг/л

Для расчета принимается максимальная доза коагулянта 27 мг/л, т.к. согласно Примечанию 2 Таблицы 16 доза коагулянта для контактных префильтров и контактных фильтров принимается на 10-15 % ниже, чем по таблице.

### 4.2. Определение потребной дозы флокулянта.

В качестве флокулянта используем полиакриламид (ПАА). Дозу флокулянта следует принимать при вводе перед камерой хлопьеобразования по табл. 17 СНиП 2.04.02-84  $D_f = 0,4$  мг/л

### 4.3. Определение дозы хлорсодержащих реагентов.

Дозу хлорсодержащих реагентов при предварительном хлорировании и для улучшения хода коагуляции и обесцвечивания воды, также для улучшения санитарного состояния сооружений, следует принимать 7 мг/л (п.6.18. Для обеззараживания доза хлора принимается 2 мг/л.

Хлорсодержащие реагенты рекомендуется вводить за 1-3 минуты до ввода коагулянтов.

Хлор для обеззараживания воды вводится после фильтрования воды через РЧВ.

### 4.4. Определение потребной дозы подщелачивающего реагента.

Дозу подщелачивающего реагента  $D_{щ}$ , мг/л, необходимой для улучшения процесса хлопьеобразования, следует определять по формуле:

$$D_{щ} = K_{щ} \left( \frac{D_k}{e_k} - Щ_0 \right) + 1, \quad (4.1.)$$

где  $D_k$  – доза безводного коагулянта, мг/л;

$e_k$  – эквивалентная масса коагулянта,  $мг-экв/л$ , принимаем для  $Al_2(SO_4)_3$  равной-57;

$K_{щ}$  – коэффициент, равный для извести 28 ;

$Щ_0$  – минимальная щелочность воды,  $мг-экв/л$ ;

$D_{щ} = 28 \left( \frac{35}{57} - 1,9 \right) + 1 = -35 \text{ мг/л}$ , что говорит о том, что подщелачивания не

требуется.

При положительном ответе принимается известь, которая привозится на станцию или в виде:

- кусковой негашеной извести. Гашение с получением известкового теста производится в гасильных ямах (для станции небольшой производительности) или в аппаратах для безотходного гашения;
- извести пушенки, которая хранится на складе;
- известкового теста;
- известкового молока с известковых заводов.

## Расчет сооружений реагентного хозяйства.

Коагулирование воды осуществляется раствором сернокислого алюминия. Неочищенным кусковой сернокислый алюминий с содержанием 33,5% безводного вещества поставляется на ж/д станцию в крытых вагонах навалом ( масса нетто вагона 60т ), разгружается в а/самосвалы грузоподъемностью 5 т и доставляется на станцию очистки воды.

Принимаем мокрое хранение коагулянта как наиболее перспективное. Так как производительность очистных сооружений больше 32000 м3/сут принята к проектированию схема реагентного хозяйства с растворными баками, баками- хранилищами и расходными баками.

Суточный расход коагулянта по техническому продукту составляет

$$G_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_{\text{к}}}{10000 \cdot P_{\text{с}}} \quad \text{т/сут}$$

где

$D_{\text{к}}$  - расчетная доза коагулянта в мг/л;

$P_{\text{с}}$  - содержание безводного продукта в коагулянте, %.

$$G_{\text{сут}} = 48\,600 \times 40,5 / 10000 \times 33,5 = 4,92 \text{ т/сут.}$$

Требуемое количество ж/д вагонов, единовременно доставляющих коагулянт на станцию определяется из условия минимального и максимального времени хранения и использования, составляющего соответственно 15 и 30 суток.

Тогда требуемое количество вагонов  $N_{\text{в}}$  будет

$$N_{\text{в}} = G_{\text{сут}} \cdot T / G_{\text{ваг}}, \text{ где } G_{\text{ваг}} = 60 \text{ т - вес вагона}$$

$$N_{\text{в1}} = 4,92 \times 15 / 60 = 1,23; \quad N_{\text{в2}} = 4,92 \times 30 / 60 = 2,46$$

Единовременная доставка коагулянта на станцию осуществляется двумя вагонами общим весом 120 т со временем его использования равным

$$T = G_{\text{ваг}} \cdot N_{\text{в}} / G_{\text{сут}} = 2 \times 60 / 4,92 = 25 \text{ суток.}$$

Общий объем растворных баков и баков- хранилищ  $\Sigma W$  определяется исходя из общего веса привозимого на станцию коагулянта.

$$\Sigma W = W_{\text{р}} + W_{\text{б-х}}$$

Концентрация раствора коагулянта в растворных баках и баках-хранилищ принята  $b_p = 17\%$  ( п.6.21 СНиП 2.04.02-84\*) при плотности раствора  $\gamma_p = 1,18 \text{ т/м}^3$ .

$$\text{Тогда } \Sigma W = 100G_{\text{ваг}} \cdot N_{\text{в}} / (\gamma_p \cdot b_p) = 100 \times 60 \times 2 / (1,18 \times 17) = 598,2 \text{ м}^3$$

Объем растворного бака  $W_p$  принимаем из условия единовременной загрузки его двумя а/м грузоподъемности по 5 т. Количество растворных баков принято равное  $n_p = 3$ , количество баков-хранилищ принято  $n_{\text{б-х}} = 3$

$$W_p = 100G_{\text{а/м}} \cdot n_{\text{а/м}} / (\gamma_p \cdot b_p) = 5 \times 2 \times 100 / (1,18 \times 17) = 50 \text{ м}^3$$

Тогда объем бака-хранилища будет равен

$$W_{\text{б-х}} = (\Sigma W - W_p \cdot n_p) / n_{\text{б-х}} = (598,2 - 50 \times 3) / 3 = 149,4 \text{ м}^3$$

Время полного приготовления раствора коагулянта, включая загрузку, растворение отстаивание и перекачку в баки - хранилища принято равным 12 часам. Растворение и перемешивание коагулянта предусматривается сжатым воздухом с интенсивностью  $8 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ .

Объем расходного бака принят исходя из времени работы  $t=12$  часов, концентрации раствора  $b=8\%$  с  $\gamma=1,08 \text{ т/м}^3$  и равен

$$W = Q_{\text{сут}} \cdot t \cdot D_{\text{к}} / (10000b \cdot \gamma \cdot 24)$$

$$W = 48 \, 600 \times 12 \times 40,5 / 10000 \times 8 \times 1,08 \times 24 = 11,4 \text{ м}^3$$

К проектированию принимаем два бака емкостью по  $12 \text{ м}^3$  каждый.

## Определение параметров сооружений реагентного хозяйства.

### 1. Растворные баки

Высота раствора в растворном баке принята равной 2м, превышение кромки борта бака над раствором 0,3 м. Тогда площадь одного бака будет равна

$$F_p = W_p/H_p = 50/2 = 25 \text{ м}^2.$$

Длина бака принята равной 5м, ширина 3 м. Нижняя часть растворного бака запроектирована с наклонными стенками к внутренней стороне бака под углом  $25^\circ$  (см. примечание п.6.24 СНиП2.04.02-84\*) для чего предусматривается система гидросмыва осадка с одновременной подачей сжатого воздуха. Кусковой коагулянт выгружается из а/самосвалов на съемные колосниковые решетки из деревянного бруса с прозорами 12 мм (10-15 мм согласно СНиП).

Объем подколосниковой части (поддона)  $W_{\text{под.р.}}$  принят равным 30% от емкости растворного бака

$$W_{\text{под.р.}} = 0,3 W_p = 0,3 \times 50 = 15 \text{ м}^3$$

Тогда объем пирамидальной части поддона будет равен

$$W_{\text{пирам.}} = 1/3 S_p h_{\text{пирам}} = 1/3 S_p b \operatorname{tg} \alpha = 1/3 \times 15 \times 3 \times 0.466 = 6,9 \text{ м}^3$$

при ее высоте  $h_{\text{пирам}} = 3 \times 0.466 = 1.4 \text{ м}$ .

Высота вертикальных стенок поддона будет минимальная  $h_1 = (W_{\text{под.р.}} - W_{\text{пирам.}}) / F_p = (15 - 6,9) / 25 = 0,32 \text{ м}$   
максимальная с учетом пирамидальной части поддона  $h_2 = 0,32 + 1,4 = 1,72 \text{ м}$   
Толщина стенок растворного бака и перегородок принята 0,2 м.

Для опорожнения и сброса осадка предусматривается трубопровод диаметром 150 мм из прямка нижней части поддона.

### 2. Баки-хранилища.

Объем одного бака-хранилища принят  $150 \text{ м}^3$ . Ширина бака по конструктивным соображениям принята равной длине растворного бака, т.е. 5 м. Тогда, при длине бака-хранилища равной 9м, его высота будет 3,35 м. Общая строительная высота с учетом превышения кромки борта над уровнем раствора 0,3 м будет 3,65 м. Днища баков-хранилищ приняты с уклоном 0,01 к сбросному трубопроводу диаметром 100мм.

### 3. Расходные баки

Объем одного расходного бака принят  $12 \text{ м}^3$ . Принимаем баки следующих размеров: длина - 3м, ширина - 2м, высота раствора - 2м. Общая строительная высота 2,3 м. Днища расходных баков приняты с уклоном 0,01 к сбросному трубопроводу диаметром 100мм.

### Расчет воздуходувок и воздухопроводов.

Для интенсификации процесса растворения коагулянта и перемешивания раствора в баках хранилищах и в расходных баках предусматривается подача воздуха с интенсивностью:

- в растворных баках  $I = 8 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  (8-10  $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  согласно СНиП 2.04.02-84)
- в расходных баках и баках-хранилищах  $I = 4 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  (4-5  $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  согласно СНиП 2.04.02-84).

Растворение коагулянта производится одновременно в трех растворных баках. Перемешивание раствора коагулянта в баках -хранилищах и расходных баках производится по очереди с подачей воздуха в один бак-хранилище и один расходный бак.

Тогда расчетный расход воздуха равен

$$Q_{\text{возд}} = (3Q_{\text{р}}^{\text{в}} + Q_{\text{б-х}}^{\text{в}} + Q^{\text{в}}) 60/1000 \text{ м}^3/\text{мин}$$

$$Q_{\text{р}}^{\text{в}} = F_{\text{р}} \cdot I = 25 \times 8 = 200 \text{ л}/\text{с}$$

$$Q_{\text{б-х}}^{\text{в}} = F_{\text{б-х}} \cdot I = 9 \times 5 \times 4 = 180 \text{ л}/\text{с}$$

$$Q^{\text{в}} = F_{\text{р}} \cdot I = 2 \times 3 \times 4 = 24 \text{ л}/\text{с}$$

$$Q_{\text{возд}} = (3 \times 200 + 180 + 24) 60/1000 = 48,24 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Устанавливаем четыре воздуходувки (три рабочие и одну резервную) марки РМК-4 производительностью 16,4  $\text{м}^3/\text{мин}$  и избыточном давлении 15 м, принимаем электродвигатель мощностью 75 кВт при скорости вращения 740 об/мин.

Скорость движения воздуха  $V$  в трубопроводе диаметром 200 мм при давлении 1,5  $\text{кгс}/\text{см}^2$  определяется по формуле (должна быть в пределах 10-15 м/мин.)

$$V = W / [60 \cdot (p+1) 0,785 d^2],$$

где  $W$ - производительность воздуходувок  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$p$ - давление в воздухопроводе  $p = 1,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ;

$d$ -диаметр воздуховода в м.

Тогда  $V = 50 / [60 \cdot (1,5+1) 0,785 \times 0,2^2] = 10,6 \text{ м}/\text{мин}$ , что в допустимых пределах.

Потеря давления в воздуховоде по длине  $L=30$  м определяются по формуле

$$P_1 = 12,5 \beta G^2 L / (\gamma d^5),$$

где  $G = W 60 \gamma$  - вес воздуха, проходящего через трубопровод в один час в  $\text{кг}/\text{ч}$ ;

$L = 30$  м -длина воздуховода в м;

$\gamma$  - удельный вес сухого воздуха (см. табл. 19 В.Ф.Кожин Очистка питьевой и технической воды).  $\gamma = 1,917 \text{ кг/м}^3$  при  $p = 1,5 \text{ кгс/см}^2$  и температуре  $0^\circ \text{C}$  ;

$\beta = f(G)$  - коэффициент сопротивления (см. табл. 19 В.Ф.Кожин Очистка питьевой и технической воды).

Тогда

$$G = W \cdot 60 \cdot \gamma = 49,2 \times 60 \times 1,917 = 5659 \text{ кг/ч.}$$

$$P_1 = 12,5 \times 0,79 \times 5659^2 \times 30 / 1,917 \times 200^5 = 0,015 \text{ кгс/см}^2.$$

Потеря напора на местные сопротивления определяется

$$P_2 = 0,063 \sum \zeta \cdot V^2 / 10000 \text{ кгс/см}^2.$$

При наличии семи прямоугольных колен  $\zeta_k = 1,5$  и шести отводов  $\zeta_o = 2$  потеря напора будет

$$P_2 = 0,063 \times 22,5 \cdot 10,6^2 / 10000 = 0,016 \text{ кгс/см}^2$$

Следовательно,  $\Sigma P = 0,015 + 0,016 = 0,031 \text{ кгс/см}^2$ , или около 3% развиваемой воздухоподушкой. Ввиду небольшой величины этого давления принимается ресивер уменьшенного объема.

Кроме магистрального воздуховода диаметром 200 мм устраиваются ответвления диаметром по 100 мм, системы стояков и горизонтальных дырчатых шлангов диаметрами 50 и 38 мм, располагаемых параллельно на расстоянии 500 мм под колосниковыми решетками растворных баков и по дну баков-хранилищ и расходных баков.

Аналогичные прорезиненные армированные шланги и винипластовые трубы диаметром 100 мм применяются для перепуска раствора из растворных баков и диаметром 50 мм для отведения раствора из расходных баков.

Стенки и днища железобетонных баков покрываются кислотостойкими плитами на кислотостойкой замазке.

Подбор насосов.

Для перекачки коагулянта из растворного бака в баки-хранилища и из баков-хранилищ в расходные баки принимаются кислотостойкие насосы типа Х. Производительность насоса определена из условия перекачки коагулянта из растворного бака в бак-хранилище в течение одного часа. Принимаются два насоса (один рабочий, один резервный) марки ЗХ-9л-1 производительностью  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напором 26 м. вод. ст.

Для дозирования реагентов в обрабатываемую воду применяется насосы-дозаторы типа НД.

Расход перекачиваемого коагулянта составляет

$$q_k = Q_{\text{полн}} \cdot D_k / (10000 \cdot b \cdot \gamma \cdot 24) = 48600 \times 40,5 / 10000 \times 8 \times 1,08 \times 24 = 0,94 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Принимаем насосы марки НД 1000/10 (1 рабочий, один резервный) производительностью 1,0 м<sup>3</sup>/ч и напором 1 МПа с частотой вращения 1500 об/мин и мощностью электродвигателя 2,2 квт.

Расчет установки для растворения флокулянта ПАА.

Для интенсификации процесса коагуляции применяется синтетический флокулянт. В качестве флокулянта используется товарный гелеобразный ПАА с содержанием 8% ПАА по активной части.

На станцию ПАА привозится в бочках объемом 150 кг. Приготовление раствора флокулянта производится в здании реагентного хозяйства на установке УРП-2, объемом 2м<sup>3</sup> и производительностью 6 кг/ч по чистому продукту или 75 кг/ч по техническому продукту. Продолжительность растворения ПАА в установке составляет 40 мин, а время полного цикла приготовления раствора, включая перемешивания, отстаивание и перекачку раствора в расходные баки составляет 2 часа.

При часовом расходе ПАА на станции

$$G_{\text{ПАА}} = Q_{\text{сут}} \cdot D_{\text{ПАА}} \cdot 100 / (1000 P_c \cdot \gamma_{\text{ПАА}} \cdot 24) = 48600 \times 0,6 \times 100 / (1000 \times 8 \times 24) = 15,19 \text{ кг,}$$

где  $P_c = 8 \%$

Контрольная работа по тестам.

## Расчет вертикального смесителя

Рассчитать смеситель водопроводной очистной станции полной производительностью  $Q_{ч.полн}=2000 \text{ м}^3/\text{ч}$  или  $q_{полн}=555 \text{ л/с}$  и содержанием взвешенных веществ  $C = 600 \text{ мг/л}$ .

Ввиду возможности поступления в период паводка в исходной воде крупнодисперсных взвешенных веществ и применения в качестве коагулянта неочищенного сернокислого алюминия принят к проектированию и расчету два вертикальных вихревых смесителя квадратного сечения с пирамидальной нижней частью. Угол между наклонными стенками принят равным  $30^\circ$  (в пределах  $30 \dots 45^\circ$ ).

Обрабатываемая вода должна подаваться по трубе в нижнюю часть смесителя с входной скоростью  $1,2 \dots 1,5 \text{ м/с}$ .

Расчетный расход воды на один смеситель будет равен  $Q_{ч} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$  или  $q=277,8 \text{ л/с}$ .

Площадь горизонтального сечения верхней части смесителя

$$f_{в} = Q_{ч} / v_{в} = 1000 / 108 = 9,26 \text{ м}^2,$$

где  $v_{в}$  - скорость восходящего потока в верхней части смесителя под водосборным устройством, равная  $108 \dots 144 \text{ м/ч}$  или  $30 \dots 40 \text{ мм/с}$ .

При принятой квадратной форме верхней части смесителя в плане сторона его будет иметь размер:

$$b_{в} = \sqrt{f_{в}} = \sqrt{9,26} = 3,05 \text{ м}.$$

Трубопровод, подающий воду в нижнюю часть смесителя, принят внутренним диаметром  $500 \text{ мм}$ . Тогда, при расходе воды через смеситель  $Q_{ч}=277,8 \text{ л/с}$ , входная скорость будет равна  $v_{в} = 1,33 \text{ м/с}$ , что находится в пределах допустимой скорости  $1,2 \dots 1,5 \text{ м/с}$ .

Так как внешний диаметр подводящего трубопровода равен  $530 \text{ мм}$ , то размер в плане нижней части смесителя в месте примыкания данного трубопровода должен быть  $0,53 \times 0,53 \text{ м}$ , а площадь нижней части усеченной пирамиды составит  $f_{н} = 0,53^2 = 0,28 \text{ м}^2$ .

При принятой величине центрального угла в  $30^\circ$ , высота нижней пирамидальной части смесителя будет равна

$$h_{н} = 0,5(b_{в} - b_{н}) \operatorname{ctg} 30^\circ/2 = 0,5(3,05 - 0,53)3,733 = 4,7 \text{ м}.$$

Объем пирамидальной части смесителя будет равен

$$W = h_{н} (f_{в} + f_{н} + \sqrt{f_{в} f_{н}}) / 3 = 4,7 (6,95 + 0,28 + \sqrt{6,95 \times 0,28}) / 3 = 13,5 \text{ м}^3.$$

Полный объем смесителя будет равен

$$W = Q_{ч} t / 60 = 1000 \times 1,5 / 60 = 25 \text{ м}^3,$$

где  $t$  - продолжительность смешения реагента с водой (1...2 мин).

Объем верхней части смесителя будет равен

$$W_B = W - W_H = 25 - 13,5 = 11,5 \text{ м}^3.$$

Тогда высота верхней части смесителя будет

$$h_B = W_B / f_B = 11,5 / 9,26 = 1,24 \text{ м},$$

что соответствует требованиям СНиП 2.04.02-84\* (1...1,5 м).

Полная высота смесителя будет равна

$$h_C = h_H + h_B = 4,7 + 1,24 = 5,97 \text{ м}.$$

Сбор воды производится в верхней части смесителя периферийным лотком через затопленные отверстия. Скорость движения воды в лотке  $V_{л} = 0,6$  м/с. Вода, протекающая по лоткам в направлении бокового кармана, разделяется на два параллельных потока. Поэтому расчетный расход каждого потока будет:

$$Q_{л} = Q_{ч} / 2 = 1000 / 2 = 500 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Площадь живого сечения сборного лотка

$$\omega_{л} = 500 / (0,6 \times 3600) = 0,232 \text{ м}^2.$$

При ширине лотка  $b_{л} = 0,4$  м расчетная высота слоя воды в лотке

$$h_{л} = \omega_{л} / b_{л} = 0,232 / 0,4 = 0,58 \text{ м}.$$

Уклон лотка принят равным 0,02.

Площадь всех затопленных отверстий в стенах сборного лотка будет

$$F_o = Q_{ч} / V_o \cdot 3600 = 1000 / 1 \times 3600 = 0,277 \text{ м}^2,$$

где  $V_o = 1$  м/с - скорость движения воды через отверстия лотка.

Отверстия приняты диаметром  $d_o = 80$  мм, т.е. площадью  $f_o = 0,00503 \text{ м}^2$ .

Общее потребное количество отверстий

$$n_o = F_o / f_o = 0,277 / 0,00503 = 55 \text{ отв}.$$

Отверстия размещаются на боковой поверхности лотка на глубине 150 мм от верхней кромки лотка до оси отверстия.

При внутреннем периметре смесителя равном  $p_o = 3,05 \times 4 = 12,20$  м, шаг оси отверстий будет  $e_o = p_o / n_o = 12,2 / 55 = 222$  мм. Расстояние между отверстиями  $e_o - d_o = 222 - 80 = 142$  мм.

Из сборного лотка вода поступает в боковой карман. Размеры кармана приняты конструктивно с тем, чтобы в нижней части его разместить трубу для отвода воды. Труба принята диаметром 700 мм (наружный диаметр 720 мм), исходя из скорости движения воды в ней равной 0,71 м/с при допустимых скоростях 0,6...1 м/с..