

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

## **Очистка сточных вод промышленных предприятий**

Учебно-методическое пособие

*Электронное издание*

Красноярск  
СФУ  
2014

УДК 628.2(07)

ББК 38.761я73

О-955

Рецензент: А.Г. Лапкаев, д-р техн. наук, проф. каф. Инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности ПИ ФГАОУ ВПО СФУ

Составитель: Халтурина Тамара Ивановна

О-955 **Очистка** сточных вод промышленных предприятий: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс] / сост. Т.И. Халтурина. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – Систем. требования: РС не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.

**В учебно-методическом пособии** представлены тексты лекций по дисциплине «Очистка сточных вод промышленных предприятий». Уделено внимание рассмотрению основных вопросов водного хозяйства промышленных предприятий, общих методов и приемов очистки стоков и обработки образующихся при этом осадков.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 270800.68 «Строительство», специальности 270800.68.00.06 «Водоснабжение и водоотведение».

УДК 628.2(07)

ББК 38.761я73

Сибирский  
федеральный  
университет, 2014

Электронное учебное издание

Подготовлено к публикации Издательским центром  
БИК СФУ

Подписано в свет 18.02.2014 г. Заказ 119.  
Тиражируется на машиночитаемых носителях.

Издательский центр  
Библиотечно-издательского комплекса  
Сибирского федерального университета  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79  
Тел/факс (391)206-21-49. E-mail [rio.bik@mail.ru](mailto:rio.bik@mail.ru)  
<http://rio.sfu-kras.ru>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Охрана окружающей природной среды и рациональное использование природных ресурсов приобретает в наши дни все большее значение для предотвращения загрязнения водоемов промышленными сточными водами. В связи с разнообразием состава, свойств и расхода сточных вод промышленных предприятий необходима разработка и применение различных методов и сооружений по очистке воды и обработке осадка.

Переход на бессточные системы или системы с минимальным сбросом сточных вод может быть осуществлен путем многократного использования отработавших вод и замены водяного охлаждения на воздушное. При переводе ряда отраслей промышленности на безводные технологические процессы исключается образование сточных вод.

В настоящем учебном пособии рассмотрены вопросы очистки промышленных сточных вод и обработки осадков. Материал в нем отвечает программе курса «Очистка сточных вод» для студентов, обучающихся по направлению 270800.68 Строительство специальности 270800.68.00.06 «Водоснабжение и водоотведение».

### **ЛЕКЦИЯ 1. Классификация производственных сточных вод**

На территории промышленных предприятий образуются три категории сточных вод: производственные, бытовые и атмосферные.

Производственные сточные воды – воды, образующиеся в технологическом процессе или при добыче и обогащении полезных ископаемых, а также воды от охлаждения продуктов и агрегатов. Производственные сточные воды делятся на: условно чистые (охлаждающая вода, незагрязняющаяся в процессе производства) и загрязненные.

Бытовые сточные воды (БСВ) – это сточные воды от санитарных узлов, душевых, и др. бытовых объектов.

Атмосферные сточные воды (АСВ) – это дождевые и талые воды. При сильном загрязнении территории они могут быть загрязнены специфическими продуктами производства, взвешенными веществами минерального и органического происхождения, а также нефтепродуктами.

Производственные сточные воды делятся на две основные категории: загрязненные и незагрязненные (условно чистые).

Загрязненные производственные сточные воды содержат различные примеси и подразделяются на три группы:

1) загрязненные преимущественно минеральными примесями (предприятия металлургической, машиностроительной, рудо – и угледобывающей промышленности; заводы по производству минеральных удобрений, кислот, строительных изделий и материалов и др.);

2) загрязненные преимущественно органическими примесями (предприятия мясной, рыбной, молочной, пищевой, целлюлозно-бумажной, химической, микробиологической промышленности; заводы по производству пластмасс, каучука и др.);

3) загрязненные минеральными и органическими примесями (предприятия нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, текстильной, легкой, фармацевтической промышленности; заводы по производству консервов, сахара, продуктов органического синтеза, бумаги, витаминов и др.)

По концентрации загрязняющих веществ, производственные сточные воды разделяются на четыре группы:  $1 \div 500$ ,  $500 \div 5000$ ,  $5000 \div 30000$ , более  $30000$  мг/л.

Производственные сточные воды могут различаться по физическим свойствам загрязняющих их органических продуктов (например, по температуре кипения: менее  $120$ ,  $120 - 250$  и более  $250^\circ\text{C}$ ).

По степени агрессивности эти воды разделяют на слабоагрессивные (слабокислые с  $\text{pH} = 6 \div 6,5$  и слабощелочные с  $\text{pH} = 8 \div 9$ ), сильноагрессивные (сильнокислые с  $\text{pH} < 6$  и сильнощелочные с  $\text{pH} > 9$ ) и неагрессивные ( $\text{pH} = 6,5 \div 8$ ).

Кроме того, загрязненные производственные сточные воды классифицируются по содержанию токсичных и опасных в эпидемиологическом отношении веществ и примесей, а также по наличию концентрированных отходов производства, не подлежащих спуску в водоотводящую сеть.

Незагрязненные производственные сточные воды поступают от холодильников, компрессорных, теплообменных аппаратов.

Состав сточных вод зависит так же от технологического процесса, применяемых компонентов промежуточных изделий и продуктов, выпускаемой продукции, состава исходной свежей воды, местных условий и др.

Эффективность использования воды на промышленных предприятиях оценивается:

1. По проценту использования воды в обороте

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{ист} + Q_{об} + Q_c} \cdot 100 \Rightarrow 100\%$$

где  $Q_{ист}$ ,  $Q_{об}$  – количество воды, забираемой из источника и используемой в обороте,  $Q_c$  – количество воды, поступающей с сырьем.

В среднем  $P_{об} \cong 60\%$ , на некоторых промышленных предприятиях  $P_{об} =$  до  $90-100\%$ .

2. По рациональности использования воды источника

$$K_u = \frac{Q_{ист} + Q_c - Q_{сбр}}{Q_{ист} + Q_c} \leq 1$$

где  $Q_{сбр}$  – количество сбрасываемой воды.

В среднем  $K_u \cong 0,27$ ; на некоторых промышленных предприятиях  $K_u = 0,75-0,87$ .

3. По проценту потерь воды

$$P_{nom} = \frac{Q_{ист} + Q_c - Q_{об}}{Q_{носл} + Q_{ист} + Q_c + Q_{об}} \cdot 100 \Rightarrow 0$$

где  $Q_{носл}$  – количество воды используемой последовательно.

В среднем  $P_{nom} = 2,5$ .

Расчетные расходы производственных сточных вод определяются либо по данным технологов, либо по производительности предприятия и удельным расходам.

Суточные  $Q_{сут}$ , м<sup>3</sup>/сут, и максимально секундные  $q$ , л/с, расходы определяются по формулам:

$$Q_{сут} = N \cdot M$$

$$q = \frac{M \cdot N_{м.см}}{3,6 \cdot T} \cdot K_q$$

где  $N$  – норма водоотведения на единицу продукции или перерабатываемого сырья, м<sup>3</sup>;  $M$  и  $N_{м.см}$  – число единиц продукции или перерабатываемого сырья в сутки и в максимальную смену;  $T$  – число рабочих часов в смену;  $K_q$  – коэффициент часовой неравномерности.

Расчетные расходы бытовых вод определяются по смене с максимальным числом работающих по существующим нормам водоотведения (соответственно 25 и 45 л/см на 1 чел) для холодных и горячих цехов.

Таблица 1

Распределение расходов бытовых сточных вод на промышленном предприятии в течение смены (%)

Часы смены	1	2	3	4	5	6	7	8
В холодных цехах, $K_q = 3$	12,5	6,25	6,25	18,75	6,25	6,25	6,25	37,5
В горячих цехах, $K_q = 2,5$	12,5	8,12	8,12	15,65	8,12	8,12	8,12	31,25

Расходы душевых вод определяются числом душевых сеток (от 3 до 15 чел. на 1 д.с. в зависимости от характера производства) из условия отведения этих сточных вод в течение 45 мин. после смены и нормы водоотведения 500 л/ч на 1 д.с. На предприятиях также определяются расходы от столовых и прачечных.

Расчетные расходы дождевых и талых вод определяются в зависимости от местных производственных и климатических условий, от рельефа местности и степени благоустройства территории по известным методикам.

При выборе системы и схемы водоотведения промышленных предприятий необходимо учитывать:

1) требования к качеству воды, используемой в различных технологических процессах, и их количество;

2) количество, состав и свойства – сточных вод отдельных производственных цехов и предприятия в целом, а также режимы водоотведения;

3) возможность сокращения количества загрязненных производственных сточных вод предприятия путем совершенствования технологических процессов;

4) возможность повторного использования производственных сточных вод в системе оборотного водоснабжения или для технологических нужд другого производства;

5) целесообразность извлечения и использования ценных веществ, содержащихся в сточных водах;

6) возможность разделения производственных сточных вод для повторного использования незагрязненных вод в производстве и обработки загрязненных;

7) возможность и целесообразность совместного отведения сточных вод от нескольких близко расположенных промышленных предприятий, а также возможность комплексного решения водоотведения от промышленного предприятия и населенного пункта;

8) возможность использования в технологическом процессе очищенных бытовых сточных вод;

9) возможность и целесообразность использования производственных сточных вод для орошения сельскохозяйственных и технических культур;

10) целесообразность локальной очистки сточных вод отдельных производств и цехов;

11) самоочищающую способность водоема, условия спуска производственных сточных вод в него и необходимую степень очистки этих вод по лимитирующим показателям;

12) целесообразность применения каждого метода очистки.

При вариантном проектировании водоотводящих систем промышленного предприятия на основании технико-экономических показателей принимается оптимальное решение.

Водоотведение от промышленных предприятий, как правило, осуществляется по полной раздельной системе.

Производственные сточные воды в зависимости от вида загрязняющих веществ и их концентрации, а также от количества сточных вод и мест их образования отводятся несколькими самостоятельными потоками: слабозагрязненные, содержащие один или несколько видов загрязнений; содержащие токсичные и ядовитые вещества; кислые; щелочные; сильноминерализованные; содержащие масла и жиры, волокно, ПАВ и т.д. Незагрязненные сточные воды, как правило, объединяют в отдельный поток.

Бытовые сточные воды, образующиеся на промышленном предприятии, отводятся и очищаются отдельно, если производственные сточные воды по своему составу не требуют биологической очистки.

Совместное отведение бытовых и производственных сточных вод целесообразно, если последние загрязнены органическими веществами, деструкция которых возможна биологическим путем; при этом концентрация токсичных примесей не должна превышать предельно допустимую.

Дождевые воды с незагрязненных территорий промышленного предприятия, отводятся отдельной водоотводящей сетью или объединяются с незагрязненными производственными сточными водами и спускаются в водоем без очистки.

Дождевые воды с площадок для складирования сырья, жидкого и твердого топлива, масел, красителей и т.п., отводятся вместе с загрязненными производственными сточными водами и подлежат совместной очистке перед выпуском в водоем (рис. 1 а).

Целесообразность разделения или объединения отдельных потоков сточных вод при проектировании водоотводящих систем промышленного предприятия является одним из наиболее актуальных вопросов, от правильного решения которого зависят сметная стоимость строительства и затраты на эксплуатацию очистных сооружений, надежность охраны водоемов от загрязнения и рентабельность основного производства.

На предприятиях, где производственные сточные воды по своему составу близки к бытовым (например, предприятия пищевой промышленности), сточные воды можно отводить по двум сетям: производственно-бытовой и дождевой.

В дождевую сеть могут сбрасываться и незагрязненные производственные сточные воды (рис. 1 б). В большинстве случаев производственные сточные воды очищать совместно с бытовыми нельзя.

В этом случае следует устраивать локальные прицеховые очистные сооружения: жироловушки, маслоуловители, бензоуловители, нефтеловушки, смолоотстойники, волокноуловители, нейтрализаторы, установки по обезвреживанию сточных вод (рис. 1 в).

После локальной очистки сточные воды могут объединяться и очищаться совместно.

Разделение производственных сточных вод может быть продиктовано санитарными причинами, пожаро – и взрывоопасностью, возможностью зарастания и разрушения трубопроводов.

Не всегда целесообразно совместное отведение даже сточных вод одинакового состава, но различных по концентрации в них загрязняющих веществ. Если эти вещества представляют собой товарную ценность, то экономичнее извлекать их из наиболее концентрированных сточных вод и уже потом смешивать слабоконцентрированные сточные воды для их последующей очистки.

Раздельная очистка сточных вод предпочтительна и в том случае, если в каких-либо сточных водах загрязняющее вещество легко удаляется из воды. Целесообразно также объединение сточных вод, содержащих значительное количество механических примесей минерального происхождения, а также нефть и масла, с бытовыми сточными водами. Такое объединение усложняет технологию очистки, препятствует возможности повторного использования производственных сточных вод и извлечению из них ценных примесей. Поэтому на большинстве промышленных предприятий (металлургических, химических, нефтеперерабатывающих, целлюлозно-бумажных, пищевых) проектируется полная раздельная система водоотведения (рис. 1 г) с устройством производственных, бытовых и дождевых сетей.

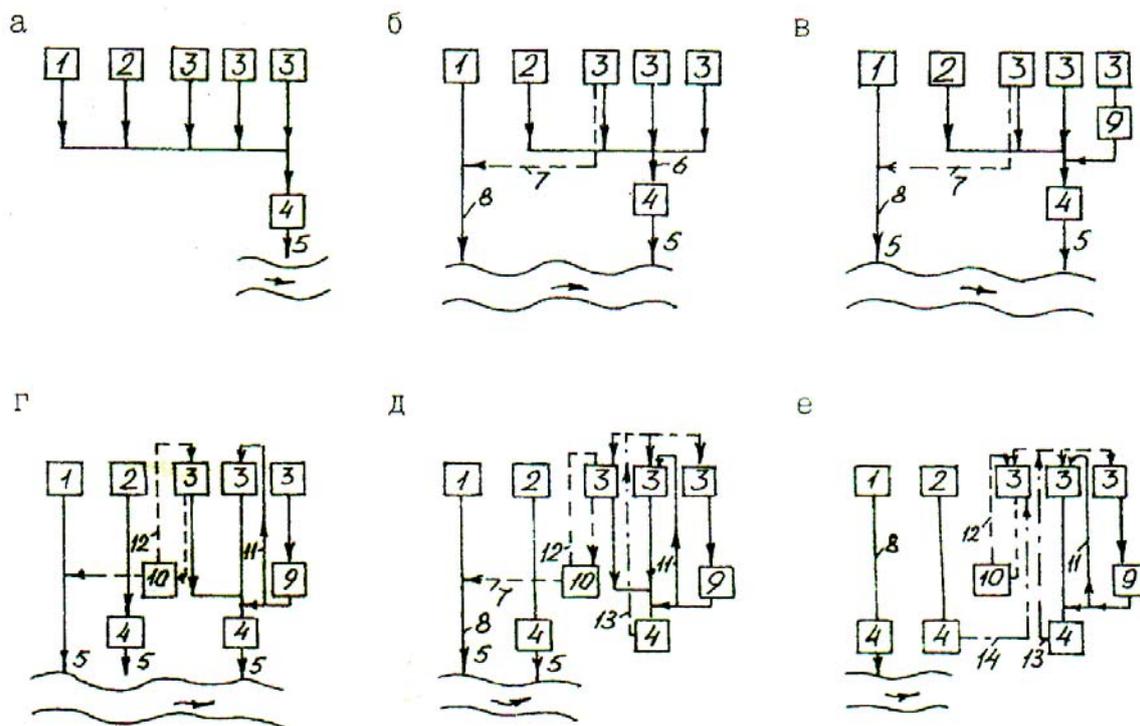


Рис. 1. Схемы водоотведения промышленных предприятий: *а* – общесплавной системы; *б* – раздельной системы с дождевой и производственно – бытовой сетями; *в* – то же, и локальными очистными сооружениями; *г* – раздельной системы с дождевой, бытовой и производственными сетями, локальными очистными сооружениями и частичным водооборотом; *д* – то же, и полным оборотом производственных сточных вод; *е* – раздельной бессточной системы водоотведения; 1 – дождевые воды; 2 – бытовые сточные воды; 3 – производственные сточные воды; 4 – очистные сооружения; 5 – выпуск в водоем; 6 – сеть бытовых и загрязненных производственных сточных вод; 7 – сеть незагрязненных производственных сточных вод; 8 – сеть дождевых вод; 9 – локальные очистные сооружения; 10 – сооружения по охлаждению незагрязненных сточных вод; 11, 12 – сеть оборотного водоснабжения соответственно после локальной очистки загрязненных и незагрязненных (после охлаждения) производственных сточных вод; 13, 14 – сеть оборотного водоснабжения после очистки соответственно загрязненных производственных и бытовых сточных вод.

В настоящее время ведущее место занимает вопрос повышения процента вод, находящихся в системе оборотного водоснабжения, с целью дальнейшего полного перехода на малоотходные и бессточные системы водоотведения (рис. 1 *д, е*). В бессточных системах промышленных предприятий в оборот включаются также и бытовые сточные воды после соответствующей очистки и доочистки, а в водоем опускаются лишь дождевые.

Схемы водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий и населенных пунктов в целях достижения наиболее экономичных и комплексных решений разрабатываются, как правило, одновременно на основании проекта районной планировки и застройки по единому генеральному плану.

В случае расположения промышленного предприятия или группы промышленных предприятий в городской черте либо в непосредственной близости от жилого массива, имеющего централизованную систему водоотведения, необходимо в первую очередь рассматривать вопрос о совместном отведении и очистке производственных и городских сточных вод. При невозможности совместной очистки следует предварительно обрабатывать производственные сточные воды либо на очистных сооружениях, расположенных на территории предприятия, либо на общих очистных сооружениях. Совместная очистка этих сточных вод, как правило, экономически целесообразна, а с санитарной точки зрения более надежна.

При значительном удалении объектов друг от друга целесообразность совместной или раздельной очистки сточных вод этих объектов определяется путем технико-экономического сравнения вариантов централизованной и децентрализованной схем водоотведения.

### **Контрольные вопросы**

1. Виды и состав сточных вод, образующихся на промышленном предприятии?
2. Как оценивается эффективность использования воды на промышленном предприятии?
3. Как определяются расчетные расходы производственных сточных вод?
4. Схемы водоотведения промышленных предприятий, и от чего зависит целесообразность разделения или объединения отдельных потоков?
5. Что необходимо учитывать при выборе системы и схемы водоотведения промышленного предприятия?
6. Когда возможно комплексное решение схемы водоотведения промышленных предприятий и населенного пункта?

### **ЛЕКЦИЯ 2. Виды приемников и условия приема производственных сточных вод**

Виды приемников производственных сточных вод: оборотные системы водоснабжения, городские системы водоотведения, водоемы, подземные горизонты, испарители.

На выбор вида приемника влияют:

- Местные условия.
- Количество, состав и свойства сточных вод.
- Техничко-экономические соображения.

Сброс сточных вод в различные приемники производится только при соблюдении ряда обязательных требований, обеспечивающих нормальное их функционирование и защиту окружающей среды. Условия приема сточных вод в городские системы водоотведения в каждом случае устанавливаются Водоканалом и органами Госсаннадзора.

Выпускаемые в городскую канализацию стоки не должны:

1. Содержать всплывающие и грубые нерастворенные осаждающиеся загрязнения, которые могут вызвать засорение труб городской сети водоотведения.
2. Оказывать разрушающее действие на материал труб и сооружений.
3. Содержать горючие вещества (бензин, нефть, масла), ядовитые, взрывоопасные смеси.

4. Иметь температуру больше  $40^{\circ}\text{C}$ .

5. Содержать опасные бактериальные загрязнения (бактерии сапа, сибирской язвы и прочие специфические болезнетворные микроорганизмы), радиоактивные загрязнения, ртуть, свинец, кадмий и другие отравляющие вещества. Перед сбросом в систему водоотведения стоки должны быть обеззаражены и обезврежены. Иногда для решения вопроса о целесообразности и условиях присоединения производственных сточных вод к городским приходится проводить специальные опыты на модельных установках.

1. Стоки, содержащие органические загрязнения или примеси, не должны создавать при их смешении с городскими стоками:

- $\text{БПК}_{\text{полн}} > 500 \text{ мг/л}$  при обычных аэротенках;
- $\text{БПК}_{\text{полн}} > 1000 \text{ мг/л}$  при аэротенках-смесителях.

2. Недопустим сброс сильноокрашенных сточных вод.

3. Запрещены залповые сбросы высококонцентрированных сточных вод.

Для обеспечения нормальной работы очистных сооружений при совместной очистке бытовых и производственных стоков смесь их должна иметь:

- температуру  $\geq 6^{\circ}\text{C}$  и  $\leq 30^{\circ}\text{C}$ ;
- $\text{pH} \geq 6$  и  $\leq 8,5$ ;
- общую концентрацию растворимых солей  $< 10 \text{ г/л}$ ;
- не должно быть нерастворимых масел, смол;
- не должно быть биологически жестких поверхностно-активных веществ;
- $\text{ХПК/БПК}_{20}$  должно быть  $< 1,5$ ;

• оптимальное содержание биогенных элементов в стоках должно быть 100:5:1, где 100 – относительное содержание  $\text{БПК}_{20}$ , 5 – азотосодержание, 1 – содержание фосфора.

При совместной биологической очистке производственных сточных вод и бытовых сточных вод механическая очистка может быть как совместной, так и раздельной. Раздельная применяется для взрывоопасных производственных сточных вод при их химической и физико-химической очистке, а также при раздельной обработке осадка.

Условия выпуска производственных сточных вод в водоемы регламентированы «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», «Правилами санитарной охраны прибрежных районов морей» Министерства здравоохранения РФ и «Санитарными правилами для речных и озерных судов РФ». Согласно конвенции по предотвращению загрязнения морей, полностью запрещается сброс в моря и океаны радиоактивных веществ, особо вредных компонентов, ртути, кадмия; при условии тщательного контроля допускается сброс цинка, меди, свинца и других тяжелых металлов.

При определении необходимого качества вод при спуске в водоем необходимо учитывать нормативы качества воды для водоемов питьевого и культурно-бытового водопользования и для водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях. Расчеты по определению условий выпуска производятся на средний расход маловодного месяца года 95% обеспеченности. Для рек с зарегулированным стоком – на гарантированный пропуск гидроузла. Для озер, морей и водохранилищ – при минимальном уровне воды.

В производственных стоках содержатся различные загрязнения и поэтому предложено оценивать суммарный эффект воздействия на санитарное состояние водоема от нескольких вредных веществ по формуле:

$$\sum_{i=1}^n C_i / C_{инпе} \leq 1$$

где  $C_i$ ,  $C_{инпе}$  – концентрация вредных веществ в воде водоема и ПДК для соответствующих веществ.

Расчеты производят по следующим показателям:

- взвешенные вещества;
- температура;
- солевой состав;
- ПДК различных элементов (металлы, азот, фосфор и др.);
- БПК<sub>20</sub>;
- радиоактивные загрязнения и т. п.

Основное уравнение материального баланса:

$$C_{ст} \cdot q + a \cdot Q \cdot C_p = (a \cdot Q + q) \cdot C_{ндк}$$

где  $C_{ст}$ ,  $C_p$  – концентрации загрязнений в сточной воде и реке, г/м<sup>3</sup>;  $C_{ндк}$  – ПДК в воде водоема после сброса сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $a$  – коэффициент смешения сточных вод с водой водоема;  $a \leq 1$ ;  $Q$ ,  $q$  – расход воды в водоеме и сточной воде, м<sup>3</sup>/с;

$$C_{ст} \leq \frac{a \cdot Q \cdot (C_{ндк} - C_p)}{q} \cdot C_{ндк}$$

Расчеты базируются на нормируемых показателях ПДК.

Допустим сбросу подлежат сточные воды со взвешенными веществами (ВВ)

$$m \cdot q + a \cdot Q \cdot b = (a \cdot Q + q) \cdot (p + b)$$

где  $m$ ,  $b$  – концентрация взвешенных веществ в сточной воде и в реке, г/м<sup>3</sup>;  $p$  – нормируемое допустимое увеличение концентрации взвешенных веществ в воде водоема, г/м<sup>3</sup>.

Для ВВ  $C_{ндк} = p + b$

$$m = p \cdot \left( \frac{a \cdot Q}{q} + 1 \right) + b$$

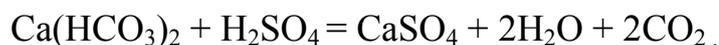
Аналогично получается формула для температуры сточных вод, подлежащих сбросу

$$T_{cm} = T_{дон} \cdot \left( \frac{a \cdot Q}{q} + 1 \right) + T_p$$

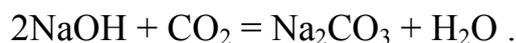
где  $T_{cm}$ ,  $T_{дон}$ ,  $T_p$  – соответственно температура сточной воды, допустимое увеличение температуры, температура воды в реке.

Для определения допустимой концентрации кислоты и щелочи в стоках необходимо учесть, что водоем обладает определенным резервом кислотности и щелочности.

При сбросе в водоем кислых стоков:



При сбросе щелочных стоков:



Из условия смешения сточных вод с водой водоема концентрация:

$$C_{cm.k} = \frac{a \cdot Q}{q} \cdot C_k$$

$$C_{cm.щ} = \frac{a \cdot Q}{q} \cdot C_{щ}$$

где  $C_k$ ,  $C_{щ}$  – количество кислоты или щелочи в мл нормального раствора, которое может быть нейтрализовано 1л воды водоема.

Для определения  $C_k$  и  $C_{щ}$  применяют формулы или графики.

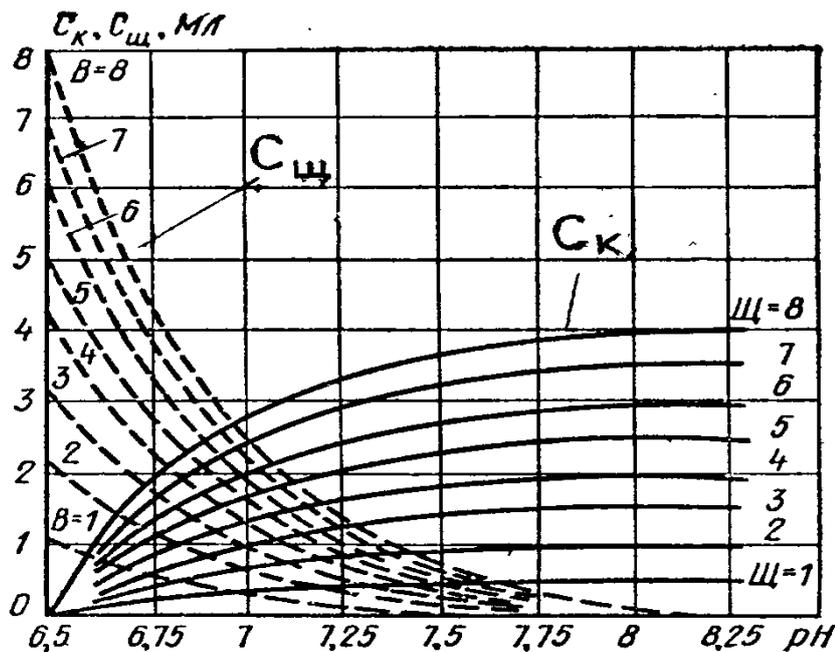


Рис. 2. Номограмма для расчета допустимого количества кислых и щелочных стоков, спускаемых в водоем:  $C_k$  и  $C_{щ}$  – количество кислоты или щелочи (в мл нормального раствора), которое может быть нейтрализовано 1 л воды водоема

Определение необходимой степени очистки по общесанитарному, токсикологическому или органолептическому признаку вредности. Концентрация трудноизвлекаемого вещества в расчетном створе должна быть

$$C_v = C_{в.ндк} \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{i.ндк}}\right)$$

Для непроточных водоемов определяют наименьшее разбавление сточных вод

$$n = \frac{a \cdot Q + q}{q}$$

Расчетные формулы для определения  $C_{ст.д.}$  аналогичны формулам для проточных водоемов, только в них необходимо подставить  $n - 1$  вместо  $\frac{a \cdot Q}{q}$ . Предельно допустимая концентрация загрязнений  $C_{ст}$  в спускаемых сточных водах соответственно для проточных и непроточных водоемов составит:

Для непроточных водоемов

$$C_{ст} = \frac{a \cdot Q}{q} \cdot (C_{ндк} - C_p) + C_{ндк}$$

Для проточных водоемов

$$C_{ст} = a \cdot (C_{ндк} - C_v) + C_v$$

где  $C_v$  – концентрация загрязнений в непроточном водоеме.

Концентрация взвешенных веществ

$$m = p \cdot \left( \frac{a \cdot Q}{q} + 1 \right) + b$$

$$m = n \cdot p + b$$

Допустимая максимальная температура

$$T_{cm} = T_{дон} \cdot \left( \frac{a \cdot Q}{q} + 1 \right) + T_p$$

$$T_{cm} = T_{дон} + T_v$$

Допустимое содержание кислоты или щелочи

$$C_{cm.k} = (n - 1) \cdot C_k$$

$$C_{cm.щ} = (n - 1) \cdot C_{щ}$$

Закачка сточных вод в подземные горизонты используется для:

1. Складирования сточных вод с перспективой последующего использования.
2. Увеличения внутрислоевого давления.
3. Захоронения высокотоксичных и вредных сточных вод.

Возможность такого решения определяется количеством, составом, свойствами сточных вод, условиями залегания пластов в радиусе до 30 км, их глубины, мощности, наличием подземных водозаборов, режимом работы водозаборов с прогнозированием возможных последствий.

При решении вопроса о закачке сточных вод в подземные горизонты должна производиться всесторонняя технико-экономическая, санитарно – гигиеническая и экологическая оценка. Необходимо учитывать метод предварительной обработки сточной воды, возможность и последствия кальматажа, стоимость закачки и т.п. Требуется согласование с санитарными органами и департаментом по охране недр. Наиболее часто данный метод применяется в нефтеперерабатывающей промышленности для внеконтурного и законтурного заводнения нефтяных пластов с целью увеличения нефтедобычи.

Условия сброса сточных вод в оборотные системы водоснабжения определяются требованиями к качеству воды и условиями ее использования. Для различных отраслей промышленности и технологических процессов разработаны соответствующие ведомственные нормы.

Общие требования к воде:

1. Вода не должна оказывать отрицательного влияния на качество получаемого продукта.
2. Не должна приводить к образованию отложений, биообрастаний и коррозии.
3. Должна обеспечивать требования к санитарно-гигиеническому состоянию рабочих мест.
4. Из воды должны быть удалены ценные, ядовитые и вредные вещества.

В зависимости от степени солесодержания воды различают:

- слабokonцентрированные < 3 г/л;
- среднеконцентрированные 3–5 г/л;
- сильноконцентрированные 5–10 г/л;
- рассолы >10 г/л; для промышленного водоснабжения непригодны; их следует регенерировать, выпаривать и т.д.

Требования к оборотной охлаждающей воде:

- Жесткость общая  $J_o \leq 4$  мг-экв/л;
- жесткость карбонатная  $J_k \leq 3$  мг-экв/л;
- солесодержание < 2 г/л;
- хлориды  $\leq 350$  мг/л, сульфаты  $\leq 500$  мг/л;
- рН = 6,5–8,5;
- взвешенные вещества  $\leq 25$  мг/л;
- при использовании смеси производственных и очищенных бытовых сточных вод коли-индекс должен быть  $\leq 1000$ .
- патогенных бактерий и опасных бактерий и вирусов не должно быть.

Особые требования предъявляются к содержанию биогенных элементов (азота и фосфора), вызывающих биологические обрастания в системах производственного водоснабжения.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие приемники производственных сточных вод известны и от чего зависит их выбор?
2. Условия приема сточных вод в городские системы водоотведения и в проточные и не проточные водоемы?
3. Какими документами регламентируются условия выпуска производственных сточных вод?
4. На какой расход производят расчеты при определении условий выпуска производственных сточных вод в водоемы?
5. Как оценивается суммарный эффект воздействия на санитарное состояние водоема?
6. По каким показателям производят расчеты при определении условий выпуска сточных вод в водоемы?
7. Необходимая степень очистки по взвешенным веществам и изменение активной реакции воды?
8. Определение предельной температуры производственных сточных вод, сбрасываемых в различные приемники?
9. Закачка сточных вод в подземные горизонты и другие способы ликвидации сточных вод?
10. Требования к качеству сточных вод, сбрасываемых в оборотную систему промышленных предприятий?

### ЛЕКЦИЯ 3. Общие сведения по очистке производственных сточных вод. Механическая очистка

В зависимости от состава и свойств производственных сточных вод, их загрязненности и специфики загрязняющих веществ, условий повторного использования и отведения в водные объекты или другие приемники сточных вод применяют: механический, физико-химический, химический и биологический методы их очистки. При этом могут быть использованы схемы и сооружения, применяемые для очистки бытовых сточных вод, но с учетом специфических особенностей производственных стоков.

Механическая очистка применяется для выделения нерастворенных примесей минерального и органического происхождения на решетках, песколовках, ситах, в отстойниках, гидроциклонах и фильтрах, путем фильтрации через слои зернистого материала (песок, антрацит, керамзит, горелые породы, полистирол и т.д.) для более полной очистки сточных вод. Фильтры задерживают до 90–95% взвеси и снижают около 20% загрязнений по БПК<sub>20</sub>.

Химическая очистка применяется для удаления растворенных примесей, т.е. в случае, когда выделение их из сточных вод возможно только в результате химических реакций между загрязнением и реагентом. При этом загрязнения окисляются или восстанавливаются и переходят в нетоксичные и малотоксичные продукты или в нерастворимые соединения.

К химическим методам очистки относятся:

- нейтрализация кислот и щелочей;
- озонирование – окисление озоном растворенных и коллоидных примесей;
- электрохимическое окисление, при котором либо происходит разрушение вредных примесей на аноде, либо регенерация (восстановление) ценных веществ (медь, железо и др.).

Физико-химическая очистка сточных вод основана на применении процессов коагуляции, сорбции, экстракции, эвапорации, флотации, ионного обмена, кристаллизации, диализа, дезактивации, выпаривания, аэрации.

Биологическая очистка сточных вод состоит в биохимическом окислении органических загрязнений сточных вод с помощью аэробных или анаэробных бактерий.

Все перечисленные методы делятся на деструктивные и регенеративные. Деструктивные методы связаны с разрушением загрязнений и удалением продуктов разрушения загрязнений (окисление, биохимическая очистка сточных вод).

При регенеративном методе происходит выделение ценных веществ, которые могут в дальнейшем использоваться (отстаивание, флотация и т.д.).

Если перечисленными методами не добиться требуемого эффекта, то применяют доочистку или глубокую очистку (например, биологически очищенные бытовые сточные воды проходят доочистку на фильтрах с зернистой загрузкой, барабанных сетках, ситах и микрофильтрах или с применением сорбции, флотации, озонирования и т.д.).

Если применением известных методов невозможно достичь требуемого качества воды, то используют:

- выпаривание (на площадках или специальных установках);
- сжигание;
- закачку в глубинные горизонты.

Выбор метода очистки сточных вод зависит от их состава, свойств сточных вод, количества и местных условий, но во всех случаях следует отдавать предпочтение наиболее простым в эксплуатации методам, позволяющим извлечь ценные вещества и использовать очищенные стоки в системе оборотного водоснабжения.

Осадок производственных сточных вод предпочтительнее обрабатывать с применением вакуумфильтров, центрифуг, фильтрпрессов и вибросит с последующим его использованием.

Технологические схемы очистки сточных вод конкретных промышленных предприятий отличаются по применяемым методам очистки, составу и конструкциям сооружений для очистки воды и обработки осадков, степени очистки и использования очищенных сточных вод в обороте.

### **Механическая очистка сточных вод. Процеживание**

Распространенным видом загрязнений сточных вод являются нерастворенные примеси или, как часто их называют, взвешенные вещества. Этот вид загрязнений характерен не только для бытовых сточных вод, но и для производственных стоков подавляющего большинства отраслей промышленности. По размерам и плотности отдельных частиц нерастворимые примеси весьма разнообразны; особенно велико их разнообразие в производственных сточных водах.

По степени дисперсности загрязняющих сточные воды веществ подразделяются на грубые суспензии, коллоидные растворы и истинные растворы. Частицы взвешенных веществ, диаметр которых больше  $1 \cdot 10^{-5}$  см. не удерживаются во взвешенном состоянии длительное время, так как под действием гравитационных сил они оседают или всплывают. Скорость осаждения или всплывания зависит от плотности и крупности частиц. Мелкие частицы (диаметром менее  $1 \cdot 10^{-5}$  см) могут находиться в состоянии кинетической устойчивости (во взвешенном состоянии) весьма продолжительное время.

Процеживание сточных вод осуществляется на решетках, ситах и барабанных сетках. Решетки применяются для извлечения крупных примесей. они устанавливаются перед отстойниками, а при наличии большого числа примесей – на выпусках из цехов. Сита или барабанные сетки используют для задержания более мелкой взвеси.

Барабанные сетки – это конструкции, имеющие барабан, обтянутый металлической или капроновой сеткой с размерами ячеек 0,3 x 0,3 мм или 0,8 x 0,8 мм. Сетка помещается в камере, причем 4/5 барабана погружена в воду. (рис. 3)

Барабан медленно вращается, вода подводится внутрь барабана, обычно с торца, и фильтруется через сетку; загрязнения задерживаются на внутренней стороне сетки и отмываются от нее, когда соответствующие участки барабана находятся в верхней части (вне воды) с помощью специальных насадок с соплами, через которые подается отмывочная вода. Загрязненная отмывочная вода отводится по лотку.

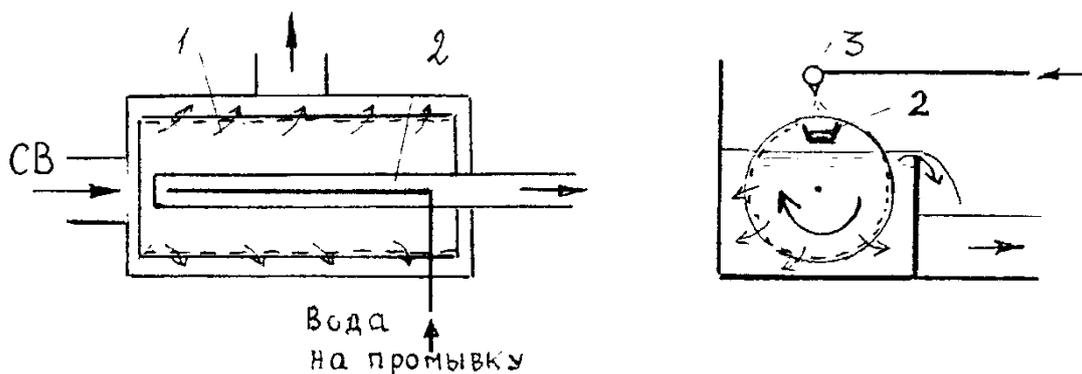


Рис. 3. Барабанная сетка: 1 – барабан; 2 – лоток для отведения промывной воды; 3 – насадка с промывным соплом.

Барабанные сетки выпускаются серийно. Диаметр барабана  $D = 1$  до  $3$  м; длина барабана  $L =$  от  $0,9$  до  $4,6$  м. Эффективность очистки –  $30$ – $40\%$ ; скорость вращения барабана –  $1$ – $3$  об/мин; скорость процеживания –  $40$ – $50$   $\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ ; расход промывной воды  $Q_{\text{пром.}} = 1$ – $3\%$  от  $Q_{\text{очищ.}}$ ; потери напора на сетке до  $0,2$  м.

Барабанные сетки устраивают перед фильтрами в схемах доочистки или как самостоятельные сооружения на локальных очистных сооружениях для задержания грубых примесей, вместо отстойников.

Для улавливания из сточных вод крупных нерастворенных загрязнений применяют решетки, выполняемые из круглых, прямоугольных или иной формы металлических стержней. Прозоры между решетками  $b=16 \div 19$  мм. Решетки, устанавливаемые на насосных станциях. Решетки подразделяют на неподвижные и подвижные. Наиболее широкое распространение получили неподвижные. Для удобства съема загрязнений часто решетки устанавливают под углом к горизонту  $\alpha = 60$ – $70^\circ$  (рис. 4). Если количество улавливаемых загрязнений составляет  $0,1 \text{ м}^3$  в 1 сут и более, то очистка решеток должна быть механизирована.

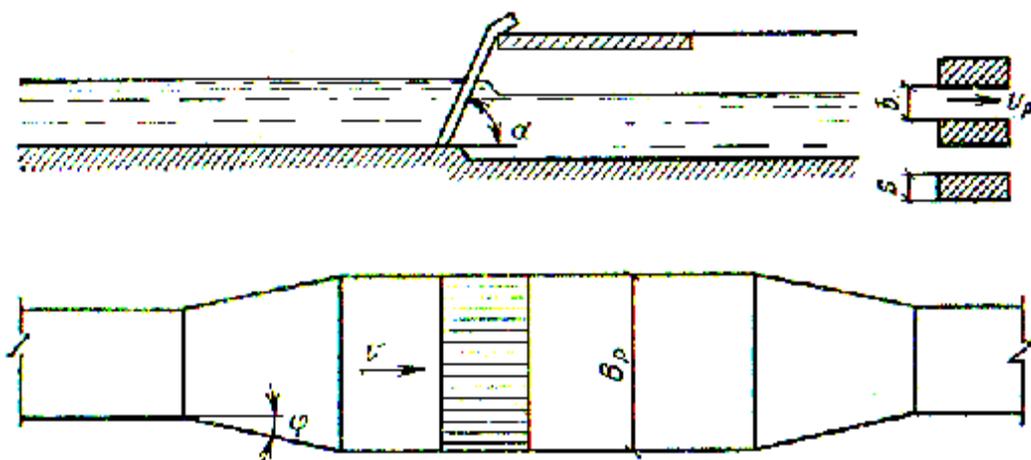


Рис. 4. Решетка с ручной очисткой

При проектировании решеток количество уловленных загрязнений следует принимать в зависимости от размера решеток (при  $b = 16 \div 20$  мм количество отбросов равно 8 л на 1 чел. в год, а плотность их –  $750 \text{ кг/м}^3$ ).

Уловленные на решетках отбросы должны подвергаться дроблению в дробилках и возвращаться в поток воды перед решетками.

Наибольшее распространение на действующих сооружениях получили решетки типа МГ (рис.5)

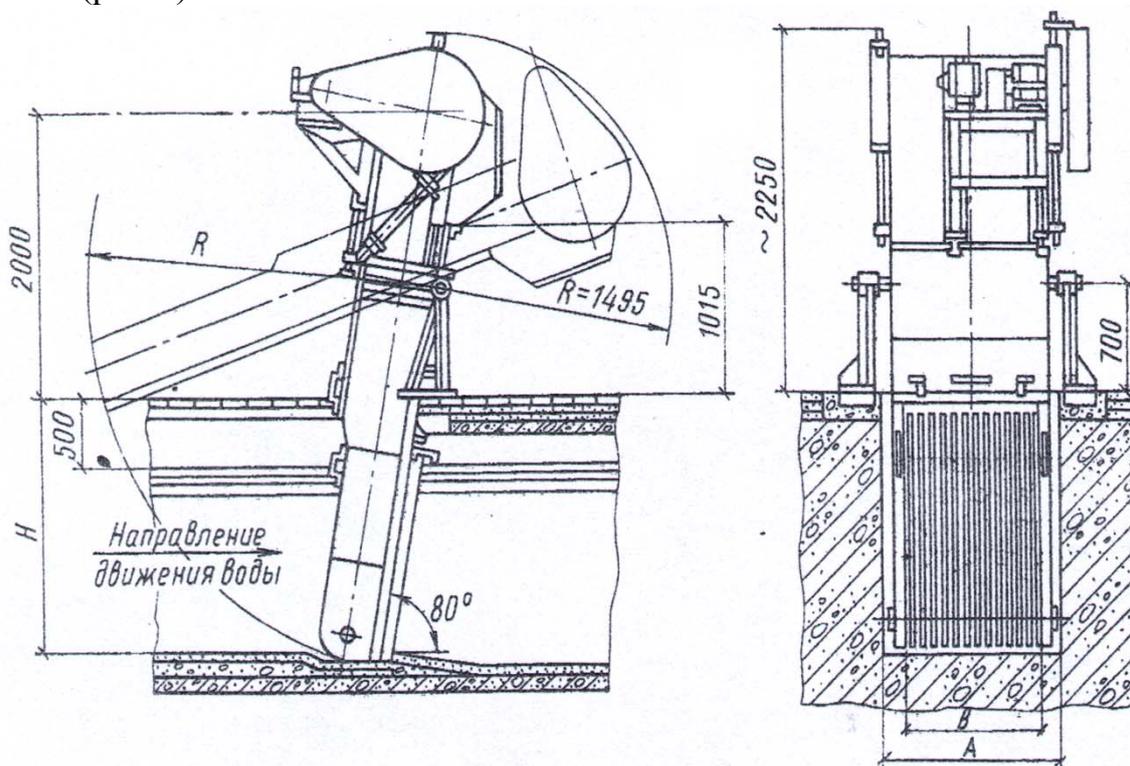


Рис. 5. Механические решетки типа МГ

Для измельчения задержанных отбросов перед подачей их на сооружения по обработке осадков очистной станции применяют дробилки молоткового типа.

При дроблении отбросов в дробилку подается техническая вода (после первичных или вторичных отстойников) из расчета  $40 \text{ м}^3$  на 1 т отбросов. Влажность раздробленных отбросов составляет 98–98,5%. При количестве отбросов более 1 т в 1 сут устанавливают резервную дробилку.

### **Гравитационное разделение. Конструкции сооружений**

Для задержания тяжелых нерастворимых примесей, преимущественно песка, применяются песколовки различных конструкций. Применение их в схемах очистки производственных сточных вод улучшает работу последующих очистных сооружений и облегчает их эксплуатацию.

Песколовки устанавливают на очистных сооружениях для задержания минеральных частиц крупностью свыше  $0,2\text{--}0,25 \text{ мм}$  при пропускной способности очистных станций более  $100 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Наибольшее применение находят песколовки с горизонтальным прямолинейным движением воды, горизонтальные с круговым

движением воды, тангенциальные круглой формы с подводом воды по касательной, аэрируемые. Число песколовок или отделений песколовок принимают не менее двух, причем все песколовки или отделения должны быть рабочими.

При механизированном сгребании песка кроме рабочих песколовок предусматривают и резервную.

Горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды имеют прямоугольную форму в плане. Эти песколовки рассчитывают исходя из крупности песка, подлежащего задержанию. Количество задерживаемого в песколовках песка определяется исходя из нормы 0,02 л в 1 сут на 1 чел.; влажность песка 60%, его объемная масса 1,5 т/м<sup>3</sup>. На небольших установках песок можно удалять вручную. При объеме песка более 0,1 м<sup>3</sup> в 1 сут применяется механизированное его удаление.

На рис. 6 приведена конструкция скребкового механизма, используемого для смещения песка приямки, из которых он, как правило, удаляется гидроэлеваторами. Объем приямков принимается не более 2-суточного объема выпадающего песка, угол наклона стенок камеры к горизонту – не менее 60°. Песок удаляют один раз в смену.

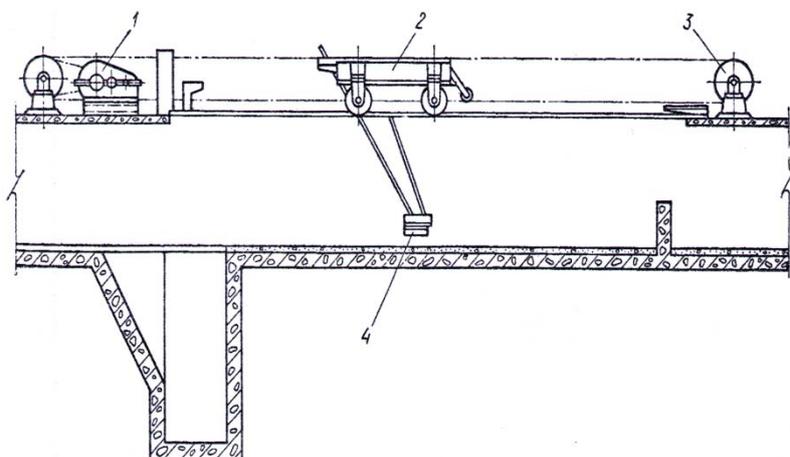


Рис 6. Скребковый унифицированный механизм МСПУ-3 (МСПУ-6) с поворачивающимся скребком: 1 – привод; 2 – скребковая тележка; 3 – блок ведомый; 4 – поворачивающийся скребок

К горизонтальным песколовкам могут быть отнесены и песколовки с круговым движением воды. На рис. 7 показаны песколовки этого типа, оборудованные гидроэлеваторами для удаления песка.

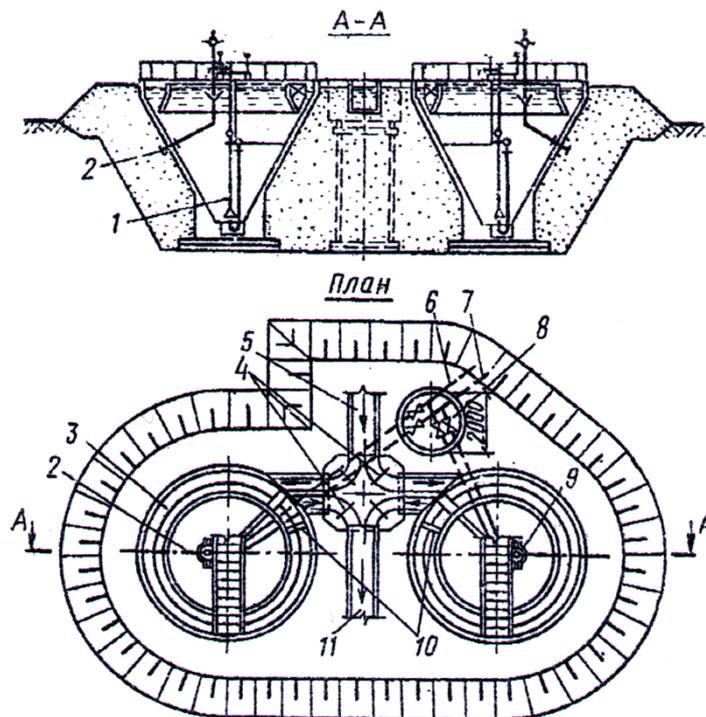


Рис 7. Песколовки с круговым движением воды пропускной способностью 1400-6400 м<sup>3</sup>/сут: 1 – гидроэлеватор; 2 – трубопровод для отвода всплывающих примесей; 3 – желоб; 4 – поверхностные затворы с ручным приводом; 5 – подводящий лоток; 6 – пульпопровод; 7 – трубопровод рабочей жидкости; 8 – камера переключения; 9 – устройство для сбора всплывающей примеси; 10 – полупогружные щиты (при очистке нефтесодержащих сточных вод); 11 – отводящий лоток.

Особенностью тангенциальных песколовков (рис. 8) является малая глубина их проточной части и подвод воды, осуществляемый по касательной. Нагрузку на песколовку принимают равной 110 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> ч) при максимальном притоке. Диаметр песколовки не более 6 м. При скоростях течения в главном лотке 0,6–0,8 м/с задерживается около 90% песка. Влажность задерживаемого песка при колебаниях нагрузки от 70 до 140 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> ч) составляет около 20%, зольность – 94%, количество песка крупностью менее 0,2 мм – от 15 до 40%. Для сокращения объема песковой камеры до минимума удаление задержанного песка целесообразно производить с помощью шнека.

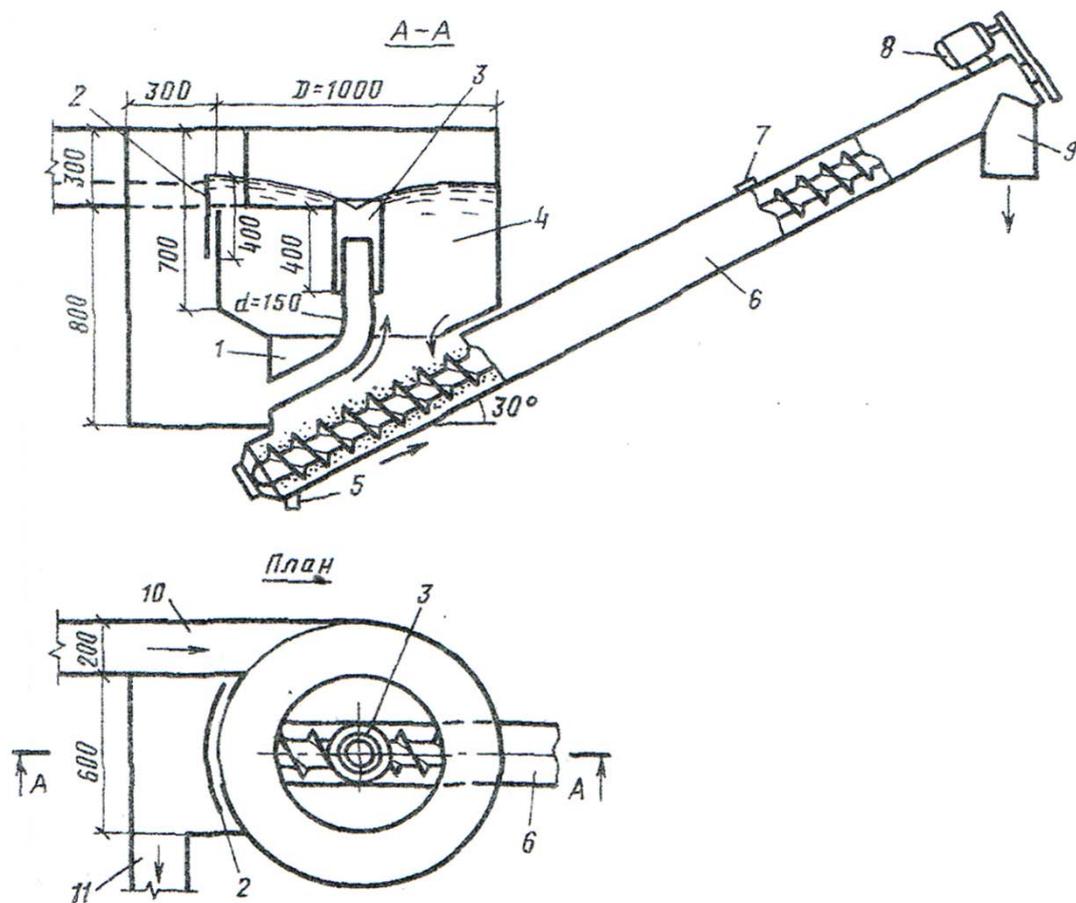


Рис 8. Тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой: 1 – осадочная часть; 2 – подвижный боковой водослив; 3 – телескопическая труба; 4 – рабочая часть; 5 – заглушка; 6 – шнек; 7 – отверстия для сброса отмытых органических веществ; 8 – электродвигатель с редуктором; 9 – штуцер для отвода песка; 10 – подающий лоток; 11 –отводящий лоток.

Аэрируемые песколовки выполняются в виде горизонтальных резервуаров. Вода поступает в направлении, совпадающем с направлением вращения воды в песколовке; выпуск – затопленный. Вдоль одной из стенок на расстоянии 45–60 мм от дна по всей длине песколовки устанавливают аэраторы из дырчатых труб с отверстиями 3–5 мм, а под ними устраивают лоток для сбора песка. В поперечном сечении днищу придают уклон 0,2–0,4 к песковому лотку для сползания в него песка.

Аэрируемые песколовки рассчитываются с учетом поступательной скорости движения сточной жидкости при максимальном притоке 0,08–0,12 м/с; отношения ширины отделения песколовки к глубине  $B : H = 1/1,5$ ; общей глубины песколовки 0,7–3,5 м; гидравлической крупности песка  $u_0 = 18 \text{ мм/с}$ ; интенсивности аэрации 3–5  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ ч})$ . Осадок из аэрируемых песколовки содержит до 90–95% песка и при длительном хранении не загнивает. Наиболее рациональным методом перемещения песка по песковому лотку к приямку с гидроэлеватором для его последующего удаления является гидросмыв, осуществляемый с помощью трубопровода со spryskami. В качестве примера на рис. 9 показана схема песколовки, разработанной ЦНИИЭП инженерного оборудования.

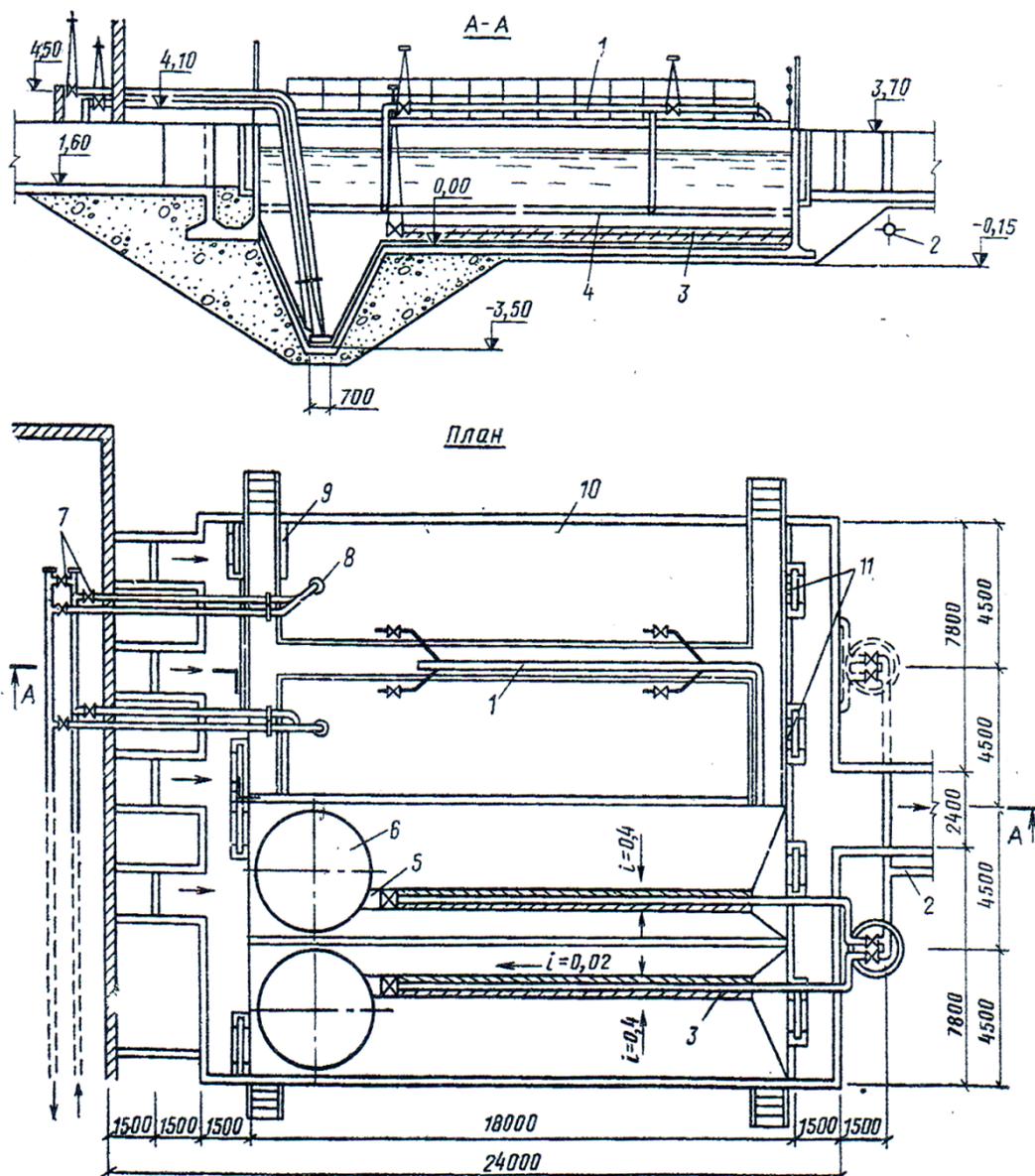


Рис 9. Аэрируемая пескочистка с гидромеханическим удалением песка: 1 – воздуховод; 2 – трубопровод для гидросмыва; 3 – смывной трубопровод со sprысками; 4 – аэраторы; 5 – песковой лоток; 6 – песковой бункер; 7 – задвижки; 8 – гидроэлеваторы; 9 – отражательные щиты; 10 – отделение пескочистки; 11 – щитовые затворы.

Для отмывки от органических примесей и обезвоживания песка устраиваются бункера, приспособленные для последующей загрузки песка в автомашины.

Бункера рассчитывают на 1,5–9 суточное хранение песка. За исключением зон с субтропическим климатом бункера следует располагать в отапливаемых зданиях с расчетной внутренней температурой  $5^{\circ}\text{C}$ .

В целях повышения эффективности отмывки песка песковые бункера применяют иногда в сочетании с напорными гидроциклонами диаметром 300 мм и напором пульпы перед гидроциклоном 20 м (рис. 10).

Обычно бункеры выполняют круглыми в плане диаметром 1,5–2 м. Затвор на выгрузочном отверстии должен быть электрифицирован.

Под бункерами обязательно устройство трапов для отвода подтекающей из затворного устройства воды в канализацию. Дренажная вода из песковых бункеров возвращается (как правило, самотеком) в канал перед песколовками.

Отстойники являются наиболее надежными и распространенными сооружениями. Для отстаивания взвеси используют горизонтальные, вертикальные и радиальные отстойники, обычные и тонкослойные.

Главная задача при проектировании отстойников – обеспечение осаждения в них основной массы взвеси содержащейся в обрабатываемой воде.

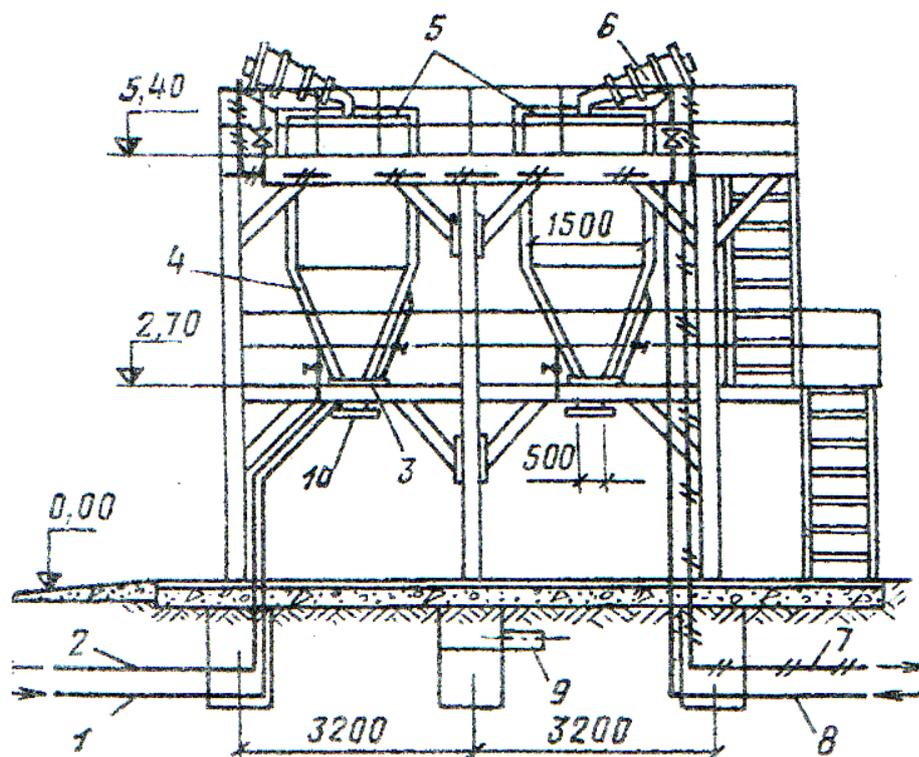


Рис 10. Бункера для песка: 1 – трубопровод для подвода воды в систему отопления; 2 – трубопровод для отвода воды из системы отопления; 3 – затвор с электроприводом; 4 – теплоизоляция; 5 – бункер; 6 – гидроциклон; 7 – трубопровод для отвода воды из гидроциклона; 8 – трубопровод для подвода пульпы гидроциклона; 9 – патрубок для спуска воды в канализацию; 10 – выгрузочное отверстие затвора.

В практике водоподготовки для выделения из воды взвешенных веществ перед поступлением ее на фильтры применяют горизонтальные, вертикальные и радиальные отстойники, названные так по направлению в них потока воды. Содержание взвешенных веществ в воде после отстойников не должно превышать 8–15 мг/л.

Горизонтальные отстойники (рис. 11) представляют собой прямоугольные резервуары, выполняемые обычно из железобетона и оборудованные водораспределительными и водосборными устройствами, трубопроводами для подвода осветляемой воды и отвода осветленной и устройствами для периодического удаления, выпавшего осадка. Горизонтальные отстойники часто совмещают с камерами хлопьеобразования, примыкающими к ним или встроенными в них.

Их можно проектировать одноэтажными и двухэтажными с торцевым или

рассредоточенным по площади сбором осветленной воды, без поворота или с поворотом потока воды в горизонтальной или вертикальной плоскости. Преимущество двухэтажных отстойников заключается в значительно меньших площадях застройки, расходе бетона на их строительство, а большой недостаток их – необходимость в дополнительном подъеме воды. Кроме того, требуются особые гидрогеологические условия площадки, позволяющие производить большие заглубления.

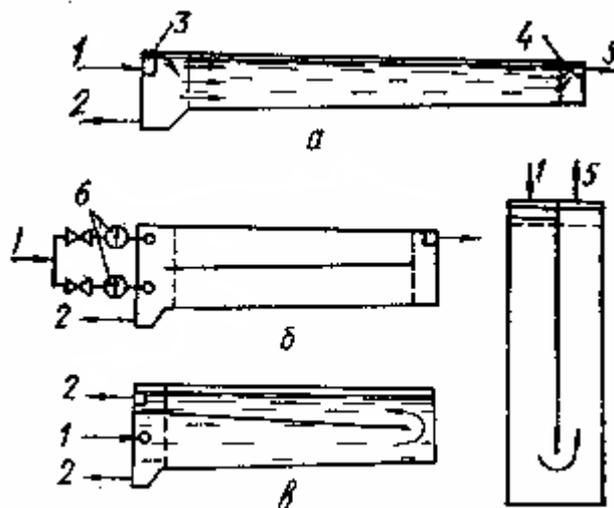


Рис. 11. Схемы движения воды в горизонтальных отстойниках: *а* – одноэтажном прямоточном (разрез); *б* – двухэтажном прямоточном (разрез); *в* – двухэтажном с поворотом потока (разрез); *г* – одноэтажном с поворотом потока (план); 1 – подвод воды; 2 – отвод осадка; 3, 4 – соответственно распределительный и сборный водосливы; 5 – отвод отстоянной воды; 6 – водомеры

Вода поступает в отстойник с торцевой стороны. Для более равномерного распределения воды по живому сечению водораспределительные и водосборные устройства отстойников устраивают в виде поперечных водосливов, дырчатых перегородок и дырчатых. Наиболее эффективны дырчатые перегородки, которые располагают на расстоянии 1–2 м от торцевой стенки. Площадь отверстий дырчатых перегородках выбирают так, чтобы скорость движения воды в них была меньше той скорости, при которой начинается разрушение хлопьев скоагулированной взвеси (не более 0,5 м/с). В нижней части перегородки на 0,3–0,5 м выше зоны накопления и уплотнения осадка отверстия не предусматриваются. Для уменьшения длины зоны повышенной турбулентности, образующейся за дырчатой перегородкой, в начале отстойника целесообразно экранировать выход из отверстий перегородки сферическими или коническими успокоителями. Высоту отстойника в зависимости от высотной схемы станции принимают равной 3–5 м.

По высоте отстойник разделяется на две зоны: осаждения и накопления и уплотнения осадка. Если перерыв в подаче воды недопустим, то отстойников должно быть не менее двух, чтобы обеспечить отстаивание воды при отключении одного отстойника.

Для повышения равномерности распределения воды в поперечном сечении отстойника кроме установки дырчатых перегородок каждый отстойник делят вдоль легкими перегородками с таким расчетом, чтобы ширина каждого коридора не пре-

вышала 6 м (в зависимости от шага колонн, поддерживающих покрытие). В связи с тем, что осадок распределяется по дну отстойника неравномерно и большая часть его скапливается в первой половине, объем осадочной части отстойника в начале делают больше, чем в конце. Для этого, а также для периодического выпуска осадка при смыве его водой из шланга дно горизонтального отстойника должно иметь продольный уклон 0,02 в направлении, противоположном движению воды, и поперечные уклоны в каждом коридоре не менее 0,05. При гидравлическом способе удаления осадка продольный уклон дна отстойника следует принимать не менее 0,005. Механические средства удаления осадка из горизонтальных отстойников устраивают при значительной концентрации взвешенных веществ в исходной воде. В качестве механических средств удаления осадка применяют скребковые конвейеры, сгребающие осадок в приямок, откуда его откачивают гидроэлеваторами или центробежными насосами.

Другим способом удаления осадка является выпуск его через сборную систему из перфорированных труб или каналов, укладываемых по дну отстойника. При открывании задвижки осадок под давлением выжимается через отверстия и отводится в канализацию. Устье труб или каналов располагают в начале отстойника, где скапливается наибольшее количество осадка.

При ширине коридора отстойника не более 3 м осадок из этого коридора можно удалять одной дырчатой трубой или дырчатым каналом, прокладываемым по продольной оси коридора; при большей ширине коридора нужны две трубы. Трубы с отверстиями, расположенными по бокам их вертикальной оси, должны выполняться из нержавеющей стали.

При реконструкции существующих, а также при строительстве новых открытых и закрытых горизонтальных отстойников Академия коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова рекомендует применять напорную гидромеханическую систему удаления осадка. Напорная система смыва и удаления осадка состоит из напорного коллектора, разводящих напорных трубопроводов, патрубков с бронзовыми насадками и насоса, обеспечивающего работу системы.

Вертикальный отстойник (рис. 12) представляет собой круглый или квадратный (в плане) резервуар с камерой хлопьеобразования водоворотного типа в центральной трубе и с конусным днищем для накопления и уплотнения осадка. Он оборудуется также трубопроводом для подачи осветляемой воды, желобами для сбора осветленной воды, а также трубопроводом для периодического выпуска осадка или опорожнения отстойника. Осветляемая вода в вертикальных отстойниках движется снизу вверх. Взвесь оседает в восходящем потоке за счет разницы между скоростями оседания частичек и движения воды. Высота зоны осаждения в вертикальных отстойниках в зависимости от коэффициента, учитывающего его объемное использование, составляет 4–5 м, отношение диаметра к высоте – 1,0: 1,5. Сбор осветленной воды в вертикальных отстойниках предусматривают с периферийными и радиальными желобами. Сечение желобов рассчитывают при скорости движения воды 0,5–0,6 м/с. Для более равномерного распределения воды по всему сечению отстойника целесообразно отбирать ее через затопленные отверстия в желобах или через треугольные вырезы в их кромках; сечение их можно определить, принимая скорость движения воды 1 м/с, диаметр – 20–30 мм.

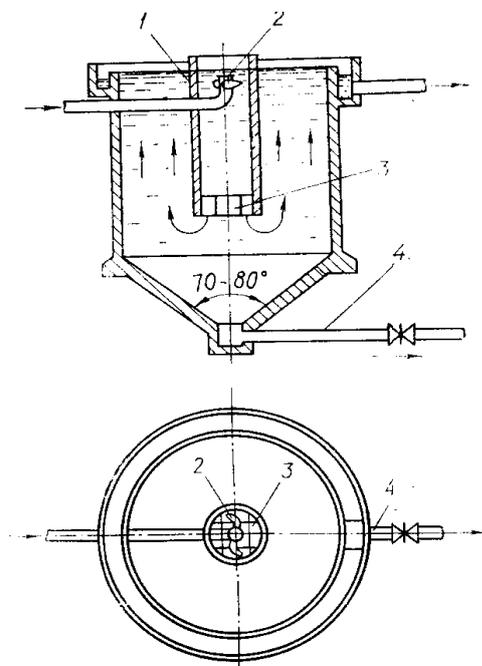


Рис. 12. Вертикальный отстойник с водоворотной камерой хлопьеобразования: 1 – камера хлопьеобразования; 2 – сопла; 3 – гасители; 4 – трубопровод для выпуска осадка

Накапливающийся в нижней осадочной части отстойника осадок периодически удаляют самотеком (под давлением столба воды), открывая задвижку на выпускной трубе диаметром 150–200 мм. Для этого угол между образующими конуса или наклонными стенками при коническом или пирамидальном днище отстойника должен составлять  $70-80^{\circ}$ .

Выпуск осадка следует предусматривать без выключения отстойника. Период работы отстойника между сбросами осадка должен составлять не менее 6 ч. При содержании взвешенных веществ более 1000 мг/л период его работы не должен превышать 24 ч.

Радиальные отстойники являются разновидностью горизонтальных и применяются для осветления воды, содержащей более 1,5 г/л взвешенных веществ. Они представляют собой круглые (в плане) резервуары, оборудованные подводными и отводящими воду трубопроводами, водораспределительными и водосборными устройствами, а также вращающимися фермами со скребками для удаления осадка (рис. 13).

Вода подается по центральной трубе, проходит по распределительным устройствам 1, выполненным в виде цилиндрической дырчатой перегородки, и движется в радиальном направлении от центра к периферийному желобу 2, из которого отводится по трубам. Выпавший осадок сгребается скребками 3, прикрепленными к медленно вращающейся (1,5 об/ч) ферме 4, в приямок 5, а из него периодически удаляется специальными насосами. Отстойники диаметром от 2,5 до 18 м выполняют с центральным приводом, от 18 до 100 м – с периферическим. Глубина отстойников в зависимости от производительности колеблется от 1,5–2 у периферии до 3,5 м у центра.

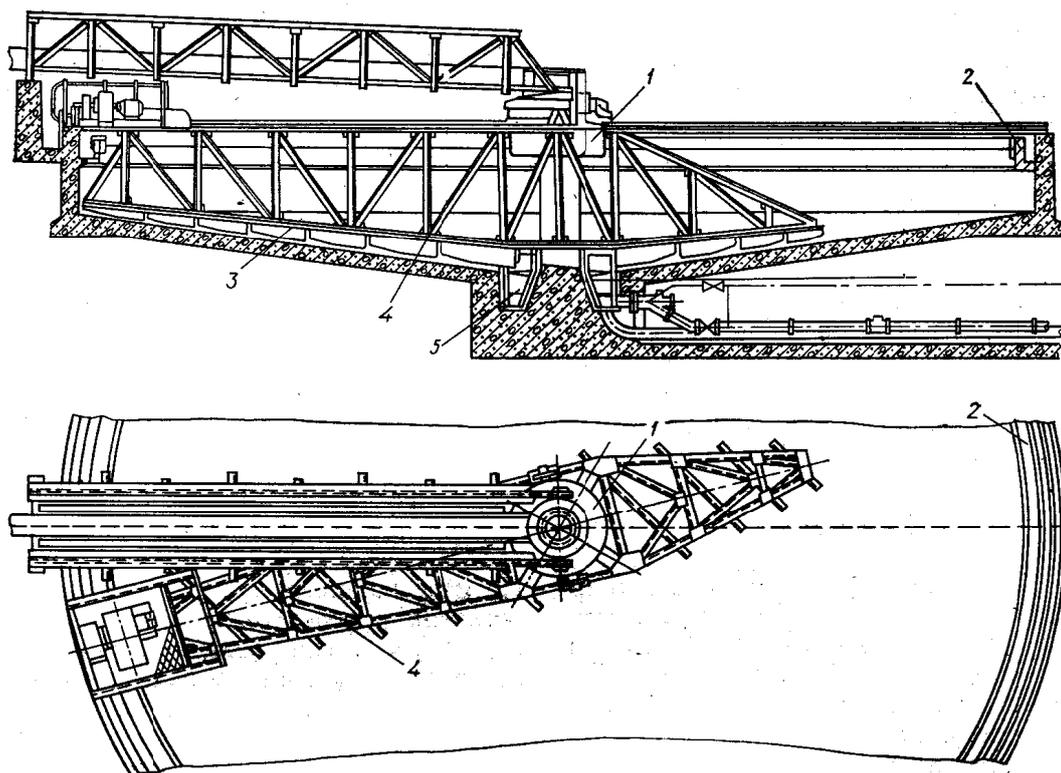


Рис. 13. Схема радиального отстойника

Наиболее совершенными отстойниками, применяемыми в последнее время, являются тонкослойные. Они отличаются от обычных наличием специальных тонкослойных элементов, размещаемых в отстойной зоне, в пределах которых осаждение взвеси происходит в тонких слоях жидкости. К преимуществам этих сооружений следует отнести также устойчивость их работы при значительных колебаниях расхода поступающей воды, изменении ее температуры и концентрации загрязнений.

Осаждение взвеси происходит в наклонных элементах малой высоты. При этом обеспечиваются быстрое выделение взвеси и ее сползание по наклонной плоскости в зоны хлопьеобразования и осадкоуплотнения. По конструкции тонкослойных элементов отстойники можно разделить на трубчатые с тонкослойными элементами в виде труб различного поперечного сечения (круглого, квадратного, прямоугольного и т.д.) и полочные, пластинчатые, тонкослойные элементы которых образованы плоскими или гофрированными полками с соотношением  $b/2h_0 > 10$ , где  $b$  — ширина полки,  $2h_0$  — расстояние между ними. Устанавливаются тонкослойные элементы в отстойнике обычно в виде блоков.

По роду материалов, используемых для изготовления элементов, отстойники подразделяют на 2 группы: те, в которых тонкослойные элементы выполнены из гибких материалов (ткань, полимерная пленка и т.д.), и те, в которых элементы выполнены из материалов, обладающих достаточной жесткостью (металл, дерево, пластмасса, стекло и т.п.).

## Отстойники с рециркуляцией осадка

В отстойниках этого типа осадок отделяют от осветленной воды в зоне отстаивания, после чего его возвращают в зону реакции и смешения, оборудованную средствами механического или гидравлического перемешивания, в которой выделяется энергия, необходимая как для флокуляции, так и для рециркуляции осадка. Исходная вода, содержащая введенные реагенты, подается в эту же зону смешения.

Отстойники с рециркуляцией осадка применяют только для осветления воды или для осаждения различных солей и металлов в форме гидроксидов.

**Отстойник Accelator** – наиболее старая разработка аппаратов этого типа. Он имеет центральную реакционную зону, окруженную зоной отстаивания. Обе зоны сообщаются между собой сверху и снизу.

Турбина в верхней части реакционной зоны обеспечивает циркуляцию воды в зону отстаивания. Осадок, скапливающийся в этой зоне, возвращается в центральную зону. Происходящее при этом обогащение осадка позволяет осуществить быструю флокуляцию.

Для смешивания исходной воды с осадком и реагентами отстойник можно оборудовать придонной мешалкой. Кроме того, такое перемешивание предотвращает скопление тяжелых осадков, способных вызвать забивание. Один или несколько уплотнителей осадка позволяют удалять его избыток в максимально концентрированной форме.

Отстойник модели Accelator IS оснащен скребком в нижней части зоны отстаивания и применяется для декарбонатации известью, возможность увеличения диаметра отстойника позволяет использовать его в самых различных случаях.

**Отстойник Circulator** имеет простую конструкцию и прекрасно вписывается в сооружения малой и средней мощности. Гидроэжектор обеспечивает рециркуляцию осадка и/или образовавшихся флокул, а также их смешение с реагентами и обрабатываемой водой в центральной реакционной зоне. Конической днище отстойника облегчает соскальзывание осадка к эжектору. Таким образом, отстойник не содержит каких-либо движущихся механических частей.

Применяемый в основном для декарбонатации и умягчения известью, этот отстойник может использоваться также для флокуляции и отстаивания под давлением.

В режиме осветления скорость восходящего потока воды не должна превышать 2,5 м/ч, а в режиме чистого умягчения – 5-7 м/ч.

**Отстойник Turbocirculator** (рисунок 14) рециркуляция флокул и/или образующегося осадка обеспечивается лопастной мешалкой (8) со специально рассчитанным профилем. Применение мешалки предотвращает разрушение хрупких осадков гидроксидов металлов, которые не выдерживают воздействия гидравлического эжектора, а также дает возможность использовать один и тот же аппарат как для осветления, так и для умягчения воды, допуская значительные колебания расхода и максимальную скорость потока, сравнимую по величине со скоростью в отстойниках Circulator.

В реакционной зоне, расположенной в центре аппарата, управление процессами флокуляции и химическими реакциями осуществляется с помощью мешалки, скорость вращения которой можно регулировать в зависимости от устойчивости об-

разовавшихся флокул, т. е. от вида обработки. Скребок система (5) постоянно сдвигает в центр днища осадок, который затем либо направляется в систему рециркуляции (2), либо поступает в накопители, откуда он периодически извлекается (6).

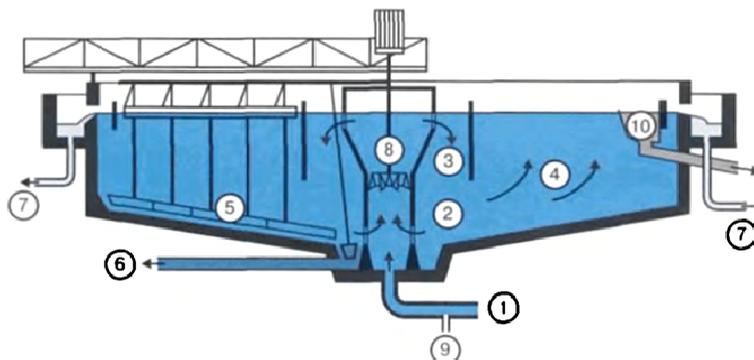


Рисунок 14 – Отстойник Turbocirculator: 1 – подача исходной воды; 2 – рециркуляция осадка; 3 – созревание флокулы; 4 – зона отстаивания; 5 – скребки; 6 – избыточный осадок; 7 – отвод обработанной воды; 8 – лопастная мешалка исходной воды и рециркулируемого осадка; 9 – введение реагентов; 10 – удаление образующейся пены

**Отстойник Thermocirculator** (рисунок 15), являющийся разновидностью отстойника Circulator, применяют для обработки воды, исходно имеющей повышенную температуру (анпример, при декарбонатации известью в сочетании с обескремниванием магnezией), лил для подпиточной воды некоторых котлов среднего давления. Он позволяет также производить частичную дагазацию воды (кислорода).

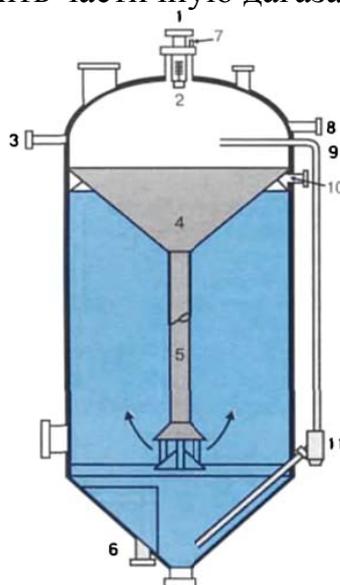


Рисунок 15 – Отстойник Thermocirculator: 1 – подача исходной воды; 2 – разбрызгиватель; 3 – подача реагентов; 4 – конический бункер; 5 – канал подачи воды; 6 – трубопровод для удаления осадка; 7 – отвод неконденсируемых газов; 8 – ввод нагревающего пара; 9 – рециркулируемый осадок; 10 – вывод конденсированной воды на фильтрацию; 11 – пароструйный эжектор

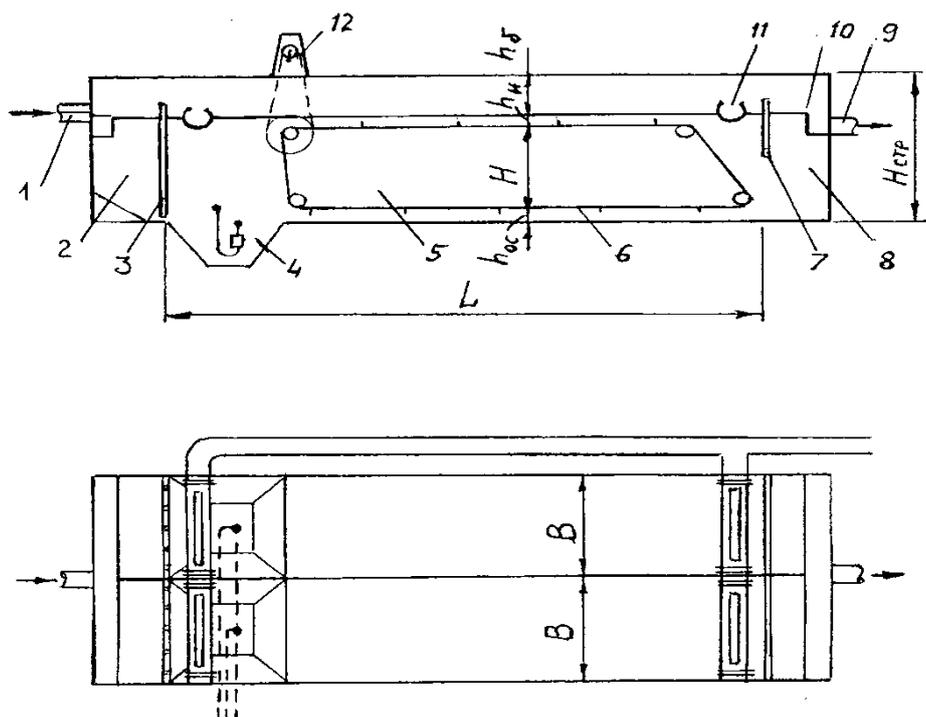


Рис. 16. Типовая нефтеловушка: 1 – подводный трубопровод; 2 – приемная камера; 3 – распределительная перегородка; 4 – приямок для осадка с гидроэлеватором; 5 – отстойная зона; 6 – скребковое устройство; 7 – нефтеудерживающая перегородка; 8 – выпускная камера; 9 – водоотводящий трубопровод; 10 – водосборный лоток; 11 – поворотные щелевые трубы (могут быть заменены поплавковым устройством конструкции ЛИИЖТа); 12 – привод скребков

На нефтепромыслах нефтеперерабатывающих заводов применяются нефтеловушки (рис. 16) для задержания грубодисперсных нефтяных частиц при концентрации нефтепродуктов в сточной воде более 100 мг/л. Одновременно в нефтеловушках задерживаются механические примеси, они представляют собой горизонтальные прямоугольные в плане отстойники глубиной  $H$  от 1 до 2 м, шириной  $B$  до 3–6 м, оборудованные устройствами для задержания и сбора нефтепродуктов. Сточная вода по подводной трубе поступает в лоток, из которого, переливаясь через водослив, попадает в приемное отделение, а оттуда через вертикальные щели в распределительной перегородке входит в отстойную зону и движется в ней горизонтально со скоростью обычно не более 4–6 мм/с в течение около 2 ч. Затем очищенная вода протекает под полупогруженной нефтеудерживающей стенкой и собирается в сборный лоток. При этом тяжелая взвесь оседает на дно сооружения, а легкие нефтепродукты всплывают на поверхность воды. Выпавший на дно осадок скребком, приводимым в движение от лебедки, периодически сгребается в приямок, откуда удаляется гидроэлеватором, насосом или ассенизационной машиной. Всплывшие на поверхность нефтепродукты сгоняются скребком к поворотным нефтесборным трубам диаметром  $d = 300$  мм и через продольные щели шириной около 30–50 мм сливаются в них. Далее по этим трубам нефтепродукты отводятся в нефтесборные резервуары.

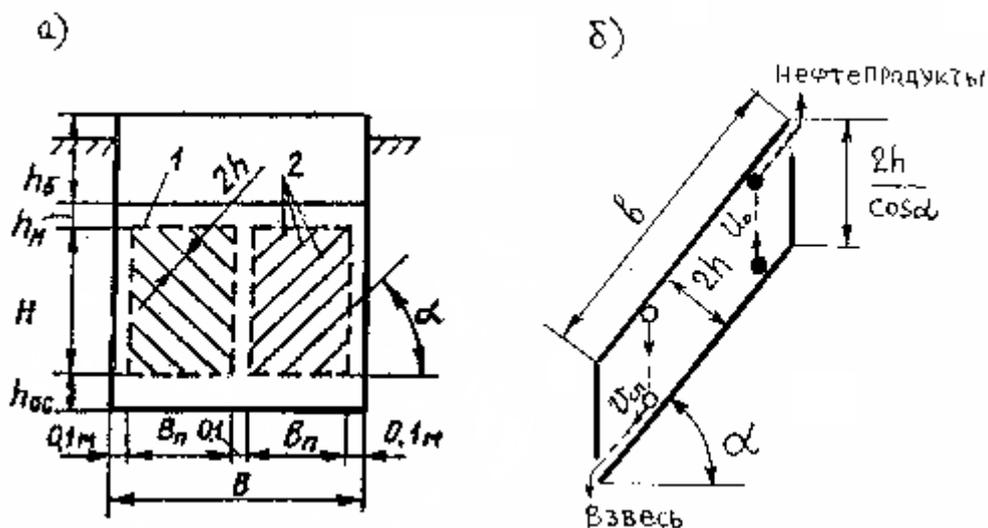


Рис. 17. Поперечное сечение тонкослойного нефтеуловителя (а) и схема осаждения (всплывания) частиц в тонкослойном элементе (б): 1 – блок тонкослойных элементов; 2 – параллельно установленные пластины, образующие тонкослойные элементы.

Тонкослойные нефтеуловители применяются для задержания грубодисперсных и эмульгированных нефтяных частиц, а также минеральных примесей. Они отличаются от обычных нефтеуловителей наличием в отстойной зоне блоков тонкослойных элементов (рис. 17), выполненных из параллельноустановленных листов или пластин, расстояние между которыми составляет 0,025–0,1 м, т.е. значительно меньше, чем общая глубина отстойной зоны. Пластины в блоках устанавливаются под углом к горизонту, что обеспечивает сползание выпадающего осадка и нефтепродуктов в зоны их накопления, и изготавливаются из стали, асбестоцементных, пластмассовых листов и других материалов. Тонкослойные отстойники и нефтеуловители – отстойники отличаются от обычных более высокой производительностью и эффектом очистки, так как обеспечивают задержание не только грубодисперсных, но и тонко эмульгированных частиц нефтепродуктов и взвеси. Они компактны и занимают значительно меньшую площадь, что позволяет в ряде случаев размещать их в пределах здания.

Расчет тонкослойных нефтеуловителей производится в той же последовательности, что и обычных. Скорость потока  $v$  в тонкослойных элементах рекомендуется принимать 2–10 мм/с.

Площадь живого сечения тонкослойных элементов, устанавливаемых в одну секцию нефтеуловителя, составляет

$$F = m \cdot B_n \cdot H = \frac{q_m}{n \cdot V},$$

где  $m$  – количество блоков тонкослойных элементов, устанавливаемых параллельно, определяется из конструктивных соображений, обычно  $m = 1-2$  при  $B \leq 3$  м;  $B_n$  – ширина тонкослойного блока, м;  $n$  – число нефтеуловителей. Расстояния между блоками, а также между стенкой нефтеуловителя и блоком принимаются

из условий их монтажа и отведения задержанных загрязнений в зоны накопления и обычно составляют около 0,1 м.

Сечение, не занятое тонкослойными блоками, должно быть минимальным. При проектировании следует принимать меры для предотвращения движения жидкости за пределами блоков (предусматривать отгибы пластин, проектировать специальные перегородки за пределами блоков в нескольких местах по их длине и т.д.). Дополнительное отстаивание сточных вод после нефтеловушек или сооружений физико-химической очистки может осуществляться в прудах. Пруды представляют собой открытые земляные емкости, состоящие из одного или двух отделений. Для предохранения грунтовых вод от загрязнения или грунта от обводнения дно и откосы пруда покрывают противофильтрующими экранами – глиной, полиэтиленовой пленкой, асфальтобетоном или бетонными плитами.

Пруд дополнительного отстаивания (рис.18) должен быть оборудован устройствами, обеспечивающими равномерное распределение воды по живому сечению и отвод всплывших нефтепродуктов, трубопроводами для отвода стоков из пруда и, при благоприятном рельефе местности, донными выпусками в каждой секции. В остальных случаях пруд опорожняют, откачивая воду из одной секции в другую.

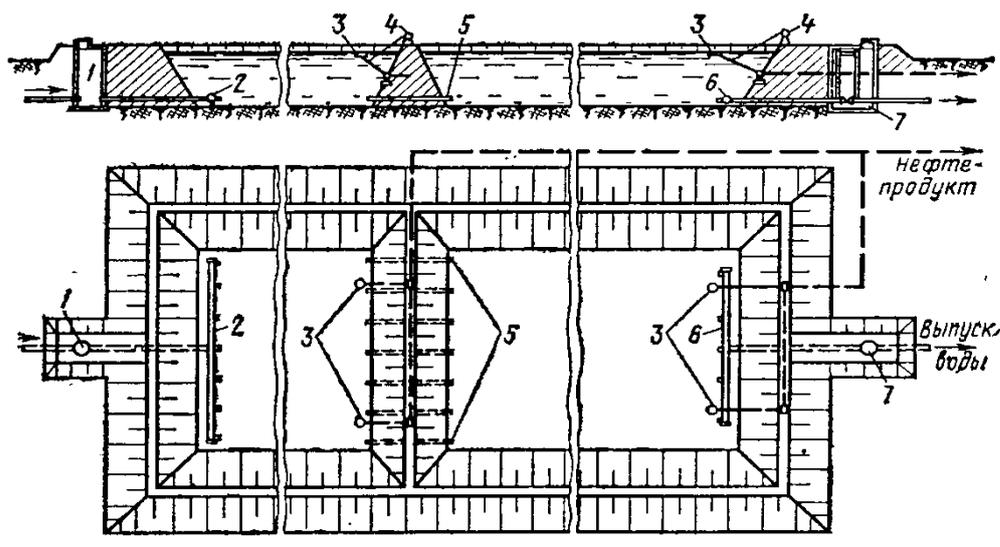


Рис. 18. Схема пруда дополнительного отстаивания: 1 – приемный колодец для впуска сточных вод; 2 – распределительный коллектор; 3 – шарнирная нефтесборная труба; 4 – лебедка; 5 – перепускные трубы; 6 – трубчатый выпуск; 7 – водосборный колодец

Накапливающийся осадок периодически удаляют. Сбор и хранение осадков, образующихся при эксплуатации песколовков, нефтеловушек, прудов дополнительного отстаивания и других объектов очистных сооружений, если не предусматриваются другие методы их обработки, осуществляется в шламонакопителях, представляющих собой открытые земляные емкости, естественные или искусственные (рис. 20).

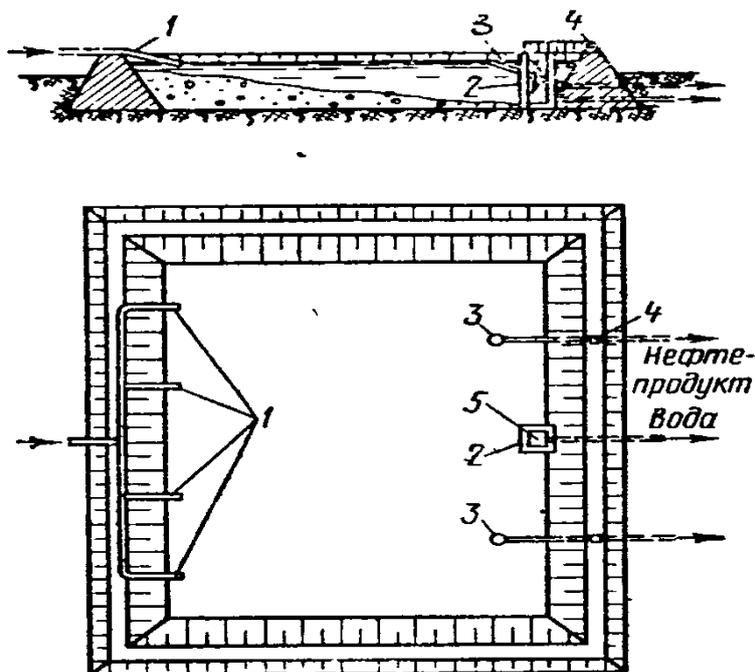


Рис. 19. Схема шламонакопителя: 1 – распределительные лотки; 2 – шандоры из досок; 3 – нефтесборная шарнирная труба; 4 – лебедка для подъема нефтесборной трубы; 5 – колодец для выпуска воды из шламонакопителя.

При фильтрующих грунтах, во избежание загрязнения подземных вод, дно и боковые откосы шламонакопителя покрывают противофильтрационным слоем из мягкой глины или других материалов.

Смоло-маслоуловители применяются в водоотводящих системах промышленных предприятий для извлечения масел и смол. Обычно они устраиваются в виде горизонтальных или вертикальных отстойников. Лучший эффект дают вертикальные смоло-маслоуловители.

На рис. 20 представлена схема устройства радиального смоло-маслоуловителя. Особенностью конструкции этого смоло-маслоуловителя является наличие в центре его открытого гидроциклона, что повышает эффект очистки воды; кроме того в нем предусмотрена также возможность интенсификации отстаивания воды за счет флотации эмульгированных загрязнений путем добавления в поступающую на очистку сточную воду части рециркулирующей воды, насыщенной воздухом в напорном баке флотационной установки, которая предусмотрена технологической схемой очистки после смоло-маслоуловителей.

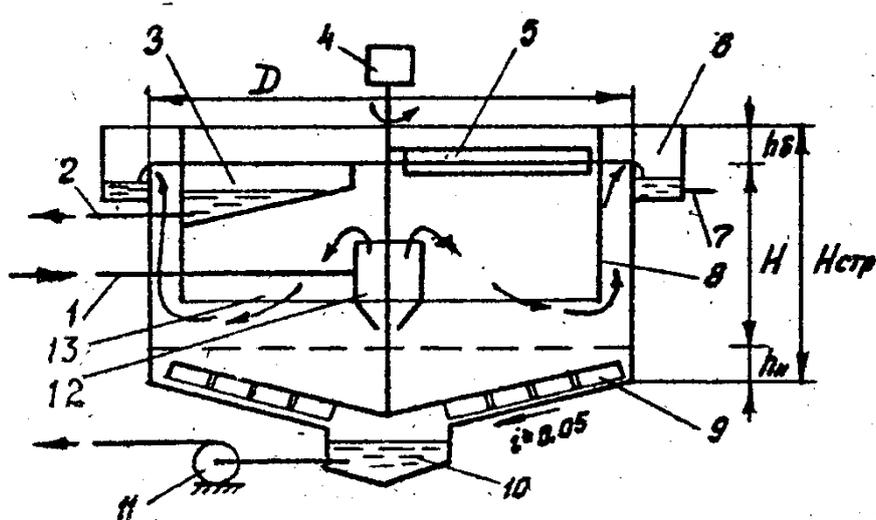


Рис. 20. Схема смоло-маслоуловителя: 1 – подводный трубопровод; 2 – трубопровод для отвода легких масел и смол; 3 – лоток для сбора всплывающих масел и смол; 4 – электропривод скребков; 5 – верхний скребок для сгребания легких масел и смол; 6 – кольцевой водосборный лоток; 7 – отводящий трубопровод; 8 – подвешенная кольцевая перегородка; 9 – донный скребок для сгребания тяжелых смол; 10 – сборник тяжелых смол; 11 – насос для откачки тяжелых смол; 12 – открытый гидроциклон; 13 – зона отстаивания.

Для улавливания жира и масел (столовые, фабрики-кухни, маслозаводы, мясокомбинаты, фабрики по переработке шерсти) устраиваются жироловки. Чаще всего они устраиваются в виде горизонтальных емкостей, в начале и в конце которых имеются полупогруженные перегородки для задержания жира, сбор и отведение которого производится щелевыми трубами.

Для повышения эффекта очистки применяются аэрируемые жироловки (рис. 21). Жиры и масла не допускаются к спуску в водоем, так как они, покрывая тонкой пленкой большие площади водной поверхности, затрудняют доступ кислорода воздуха и тем самым тормозят процессы самоочищения водоема. Кроме того, жиры, содержащиеся в производственных сточных водах, являются сырьем, которое может быть переработано для технических целей. Поэтому сточные воды, содержащие жиры и масла (сточные воды столовых, фабрик-кухонь, мясокомбинатов, маслозаводов, фабрик первичной обработки шерсти и др.). В количестве более 100 мг/л, пропускают через жироловушки.

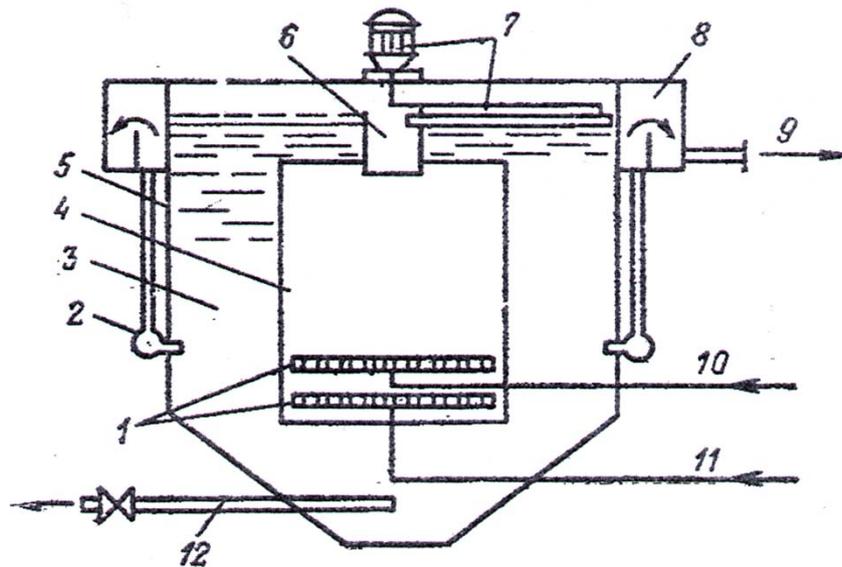


Рис. 21. Аэрируемая жироловушка: 1 – реактивное водораспределительное устройство; 2 – водосборный коллектор; 3 – зона отстаивания; 4 – зона флотации; 5 – корпус; 6 – лоток для сбора жировой массы; 7 – привод и скребок; 8 – кольцевой сборник; 9 – очищенные воды; 10 – сточные воды; 11 – водовоздушная эмульсия; 12 – осадок

Жиросодержащие сточные воды подаются по трубопроводу через реактивный распределитель в нижнюю часть флотационной камеры, расположенную внутри корпуса жироловушки. В эту же камеру через второй реактивный распределитель по трубопроводу нагнетается водовоздушная эмульсия. Сточная вода аэрируется мельчайшими пузырьками воздуха, выделяющимися из водовоздушной эмульсии при снижении давления. Во флотационной камере наиболее крупные жировые частицы всплывают на поверхность, а сточная вода поступает в зону отстаивания. Здесь всплывают наиболее мелкие частицы жира, флотируемые мельчайшими пузырьками воздуха, поступающими с потоком очищаемой воды. В этой зоне происходит также осаждение наиболее тяжелых взвесей, главным образом минерального происхождения.

Очищенная сточная вода поступает в водосборный коллектор и из него через ряд стояков в кольцевой водосборник, откуда может быть направлена на дальнейшую очистку.

Для поддержания постоянного уровня воды в жироловушке в кольцевом водосборнике на всю его длину установлен водослив. Верхняя отметка гребня водослива должна быть ниже на 2–2,5 см верхней отметки лотка.

Всплывшая на поверхность жировая масса удаляется скребком в лоток, а затем из него самотеком может быть направлена в резервуар для уплотнения. Образующийся в конусной части осадок периодически удаляется в специальную емкость.

Продолжительность всплывания жировых частиц на поверхность зависит от высоты слоя очищаемой жидкости, температуры ее, а также от размера жировых частиц, скорости потока воды, от состава и плотности жировых веществ, содержащихся в сточных водах, коэффициента сопротивления и других факторов.

## Удаление механических примесей в поле центробежных сил (гидроциклоны)

По гидравлическим условиям работы различают: открытые (низконапорные) гидроциклоны, которые применяют для выделения оседающих и всплывающих веществ, напорные служат для выделения грубодисперсных оседающих примесей, разделение происходит под действием центробежных сил (рис. 22-26).

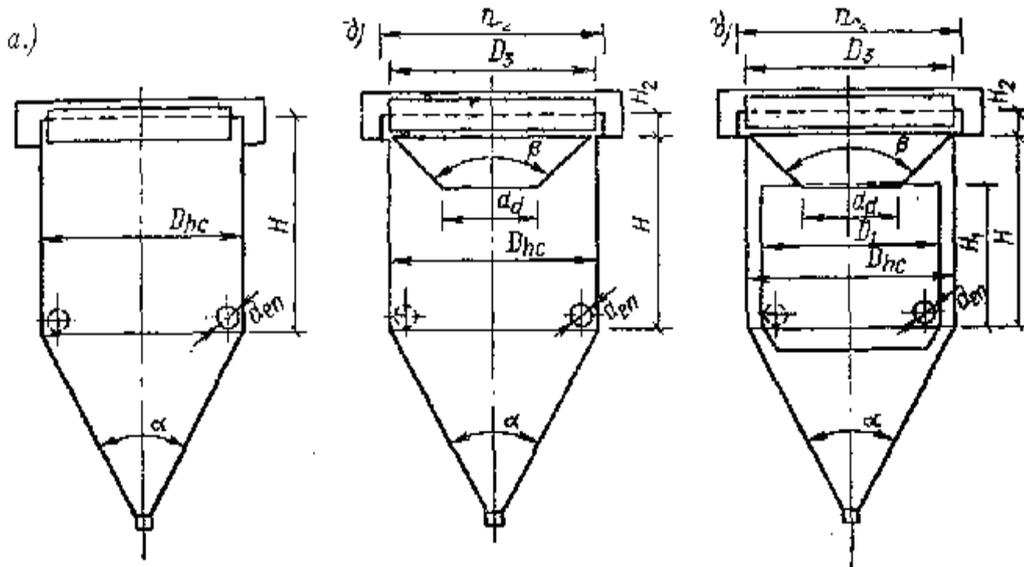


Рис. 22. Схемы открытых гидроциклонов: а – без внутренних вставок; б – с конической диафрагмой; в – с конической диафрагмой и внутренним цилиндром

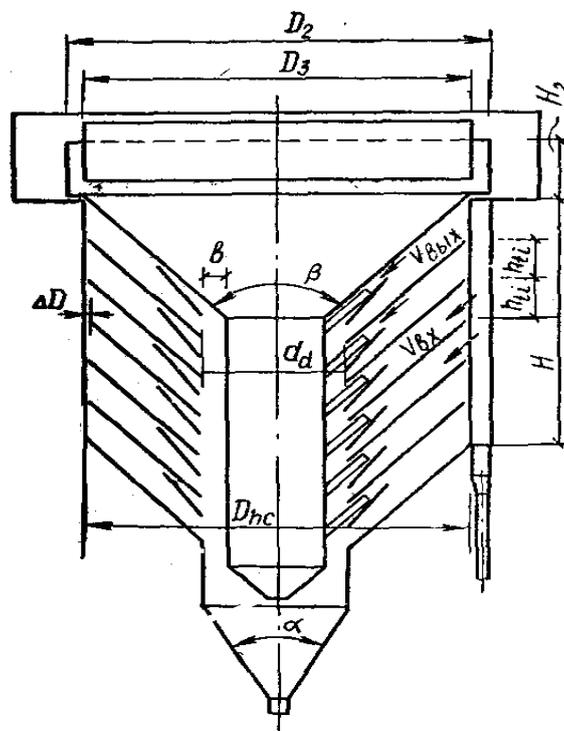


Рис. 23. Схема многоярусного гидроциклона с центральными выпусками

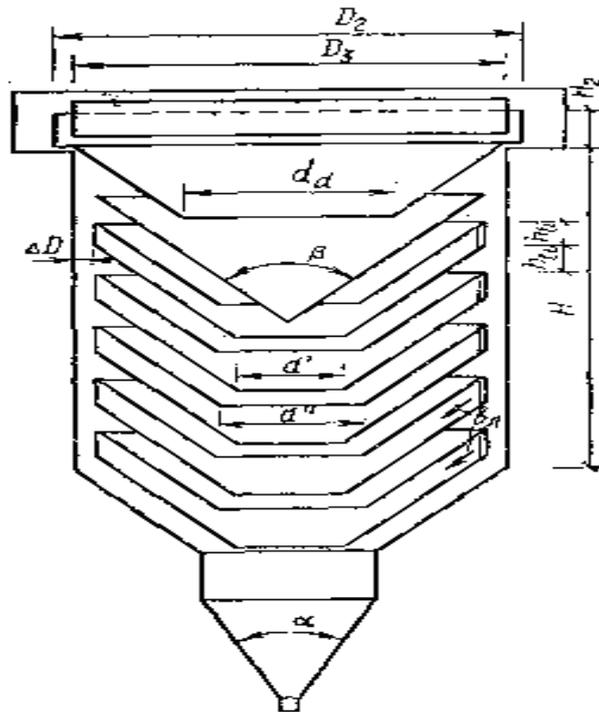


Рис. 24. Схема многоярусного гидроциклона с периферийным отбором очищенной воды

Посредством напорных гидроциклонов успешно решаются следующие технологические задачи: осветление сточных вод, например стекольных заводов, автохозяйств (удаление песка, глины и других минеральных компонентов), литейных производств (удаление компонентов формовочной земли), нефтепромыслов (удаление нефтепродуктов и шлама), мясокомбинатов (удаление жира, твердой фазы минерального и органического происхождения), сточных вод свиноводческих промышленных комплексов (удаление частиц минерального происхождения) и т. д.

Для обезвоживания сырых осадков при использовании шнековых центрифуг напорные гидроциклоны надлежит применять для предварительного удаления абразивных частиц твердой фазы осадка, обеспечивающего защиту центрифуг от абразивного износа.

Удаление из известкового молока инертных примесей (частиц песка, необожженного известняка) позволяет повысить надежность работы дозаторов, реакторов, контрольно-измерительной аппаратуры.

На очистных сооружениях в напорных гидроциклонах производится сгущение сточных вод и осадков. Одной из важных особенностей напорных гидроциклонов является сильная корреляция производительности и эффективности разделения суспензий с основными конструктивными и технологическими параметрами аппаратов (рис. 25).

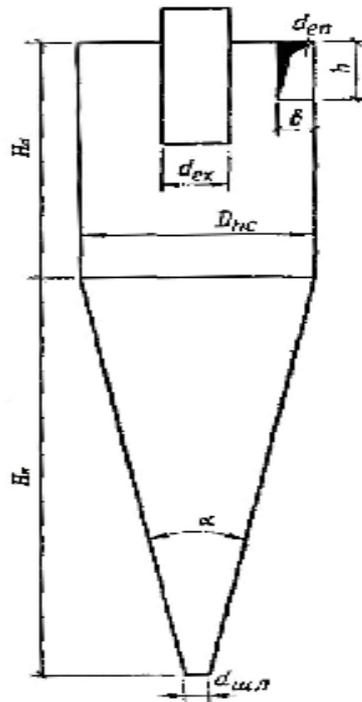


Рис. 25. Схема напорного гидроциклона.

Наибольшие значения коэффициентов корреляции имеют следующие параметры: диаметр цилиндрической части гидроциклона  $D_{hc}$ ; площадь питающего патрубка  $F_{en}$ ; диаметры сливного и шламового патрубков  $d_{ex}$ ,  $d_{шл.п}$ ; высота цилиндрической части  $H_y$ , угол конусности конической части  $\alpha$ , перепад давления в гидроциклоне  $\Delta P = P_{en} - P_{ex}$ , концентрации суспензии на входе в гидроциклон  $C_{en}$ , размеры и плотность частиц твердой фазы суспензии  $d_{ср\rho_r}$ .

Основные размеры напорного гидроциклона подбираются по данным заводоизготовителей, при этом должны учитываться: диаметр питающего  $d_{en}$  и сливного  $d_{ex}$  патрубков должны отвечать соотношениям  $d_{en}/d_{ex} = 0,5-1$ ;  $d_{en}/D_{hc} = 0,12-0,4$ ;

$$d_{en} \leq \left( \frac{D_{hc} - d_{ex}}{2} \right) - \Delta$$

где  $\Delta$  – толщина стенки сливного патрубка;  $d_{шл.п}$  – диаметр шламового патрубка назначается из соотношения  $d_{шл.п}/d_{ex} = 0,2-1,0$  (для предупреждения засорения шламового патрубка его минимальный диаметр должен в 6–8 раз превышать максимальный размер частиц загрязнений);  $H_y$  – высота цилиндрической части для гидроциклонов осветлителей должна приниматься:  $H_y = (2-4)D_{hc}$ ; для гидроциклонов сгустителей:  $H_y = (1-2)D_{hc}$ .

Угол конусности  $\alpha$  конической части следует принимать для гидроциклонов осветлителей  $5-15^\circ$ , для гидроциклонов-сгустителей –  $20-45^\circ$ . В зависимости от особенностей решаемых технологических задач могут применяться двухпродуктовые и многопродуктовые напорные гидроциклоны.

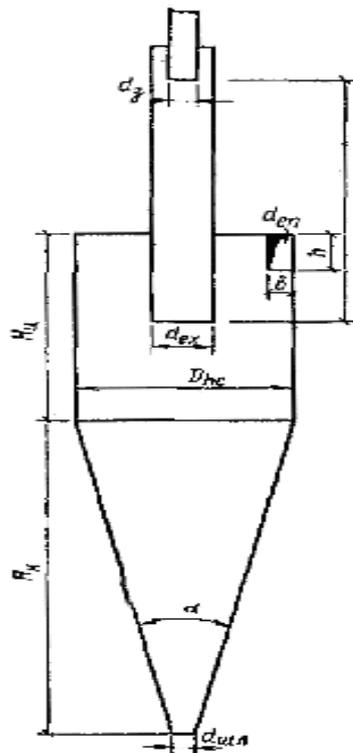


Рис. 26. Схема трехпродуктового напорного гидроциклона

В последнем случае аппараты имеют несколько сливных трубопроводов, отводящих целевые продукты из различных зон восходящего вихревого потока гидроциклонов. Такие конструкции аппаратов, как правило, применяются при разделении многофазных сред.

В ряде отраслей промышленности широко внедряются мультигидроциклоны – монолитные или сборные блочные конструкции, включающие десятки или сотни единичных напорных гидроциклонов, имеющих единые питающие, сливные и шламовые камеры. Путем создания мультигидроциклонов успешно реализуется возможность промышленного применения высокоэффективных двухпродуктовых и многопродуктовых

Гидроциклоны малых диаметров объединяются в батареи и блоки (мультициклоны), что позволяет при обеспечении требуемого эффекта очистки и производительности добиться максимальной компактности установки.

Батарейные гидроциклоны имеют единую систему питания, а также системы сбора верхнего и нижнего продуктов разделения.

## Центрифуги

Для очистки производственных сточных вод от мелкодисперсных загрязнений применяют осадительные центрифуги непрерывного и периодического действия типа ОГШ и ОТР, ОМ.

Условия применения центрифуг следующие: локальная очистка производственных сточных вод, когда осадок представляет собой ценный продукт, который может быть утилизирован; мелкодисперсный состав загрязнений, когда для их выделения не могут быть применены реагенты.

Центрифуги непрерывного действия типа ОГШ и др. применяются при очистке сточных вод с расходом до  $50 - 100 \text{ м}^3/\text{ч}$ , в тех случаях когда требуется выделить частицы гидравлической крупностью  $0,2$  (противоточные) и  $0,05 \text{ мм/с}$  (прямоточные). Центрифуги периодического действия применяются для очистки сточных вод, расход которых не превышает  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ , при необходимости выделения частиц гидравлической крупностью  $0,05 - 0,01 \text{ мм/с}$ . Концентрация механических загрязнений не должна превышать  $2 - 3 \text{ г/л}$ .

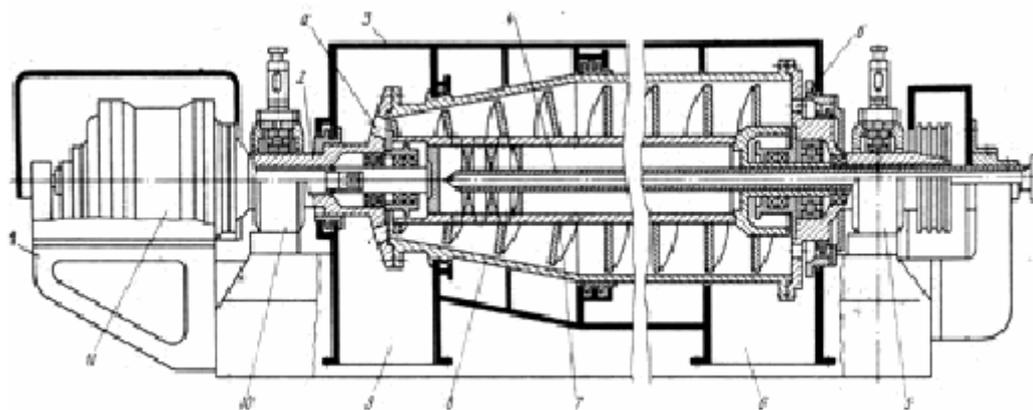


Рисунок 27 – Центрифуга ОГШ

1 – рама; 2 – вал ротора; 3 – кожух; 4 – подача суспензии; 5,10 – опорные подшипники; 6 – отвод фугата; 7 – шнек; 8 – ротор; 9 – выгрузка осадка; 11 – планетарный редуктор

Высокий эффект осветления  $99,8\%$  достигается в маятниковой центрифуге ОТН с диаметром ротора  $800 \text{ мм}$  при доочистке ферритсодержащих сточных вод. Сравнительные испытания показали, что при достижении того же эффекта в противоточной центрифуге НОГШ – 325 ее пропускная способность в  $4 - 5$  раз меньше даже при факторе разделения, в  $2,3$  раза больше.

Успешно эксплуатируется прямоточная шнековая центрифуга ОГШ – 325К–01 на Пермском заводе высоковольтных электроизоляторов. При безреагентном осветлении ретурных сточных вод эффект их очистки достигает  $96\%$ .

ВНИИ ВОДГЕО проведены испытания противоточной центрифуги ОГШ – 501К-6 при параллельной ее работе с горизонтальным отстойником. При этом одинаковый эффект осветления сточных вод достигается в центрифуге при нагрузке на нее, в  $100$  раз большей, чем на отстойник. Максимальный эффект  $96\%$  в центрифуге достигается при  $q=1,67 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ , а в горизонтальном отстойнике он не превышает  $74\%$  даже при  $q=0,045 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ . По сравнению с отстойником объем осадка после центрифуги уменьшается в  $17$  раз. Высокая эффективность осадительных центрифуг позволила разработать технологический процесс очистки сточных вод от нерастворенных загрязнений с одно– и двухступенчатым их центрифугированием. Необходимый типоразмер осадительной центрифуги подбирается по каталогу.

## Сепараторы

Жидкостные сепараторы применяются в некоторых отраслях промышленности, например, для очистки сточных вод в медицинской промышленности, для отделения воды от каньги на мясокомбинатах (до настоящего времени вся эта масса перегружала городские очистные сооружения) и др. Добавление коагулянта в исходную жидкость позволяет значительно повысить эффект очистки на жидкостных сепараторах, а хлорирование, кроме того, обеспечивает обеззараживание очищенной воды. Пропускная способность сепаратора АСЭ-3 при добавлении коагулянта может быть доведен до 5 м<sup>3</sup>/ч, а при последующем хлорировании – до 6 м<sup>3</sup>/ч. Очистка сточных вод на жидкостных сепараторах АСЭ-3 является настолько эффективной, что позволяет возвратить очищенную воду в производство, например для мытья зерна после очистки моечных вод мельничных комбинатов.

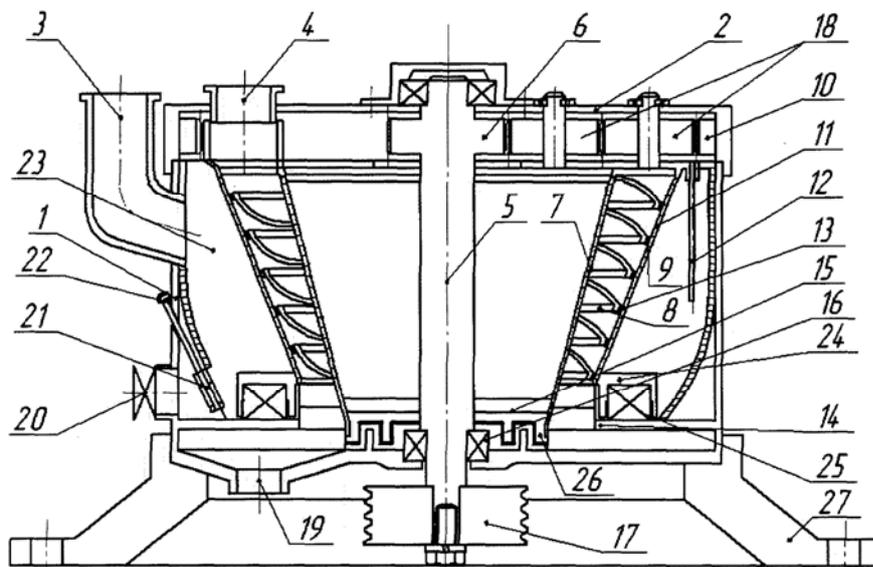


Рисунок 28 – Центробежный сепаратор

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – патрубок подачи ионитной засыпки; 4 – патрубок подвода загрязненной воды; 5 – вал; 6 – ведущая шестерня; 7 – внутренний перфорированный барабан; 8 – шнек; 9 – прижимные щетки; 10 – центральное колесо с внутренними зубьями; 11 – внешний перфорированный барабан; 12 – элемент перемешивания ионитной засыпки; 13 – перфорированная перегородка; 14 – кольцо внешнего барабана; 15 – диск внутреннего барабана; 16 – подшипник вала; 17 – шкив; 18 – сателлиты; 19 – патрубок отвода шлама; 20 – патрубок отвода очищенной воды, он же патрубок отвода ионитной засыпки; 21 – заслонка; 22 – рычаг; 23 – ионитная засыпка; 24 – диск внешнего барабана; 25 – подшипник внешнего барабана; 26 лабиринтное уплотнение; 27 – подставка.

## Фильтрация сточных вод

Фильтры нашли широкое применение для доочистки производственных сточных вод, содержащих мелкодисперсную взвесь, эмульгированные масла, смолы и нефтепродукты, после отстаивания, флотации, биологической очистки, перед вы-

пуском их в водные объекты или подачей на повторное использование. Применяются открытые безнапорные и закрытые напорные фильтры. Конструкции их аналогичны фильтрам водоснабжения. Скорые безнапорные фильтры предназначены для удаления из воды взвешенных и коллоидных частичек после реагентной обработки воды или без нее. При скорости фильтрования 5–14 м/ч мутность воды, подаваемой на скорые фильтры, не должна превышать 8–15 мг/л.

В скорых безнапорных фильтрах перепад давления создается за счет разности уровней воды в фильтре и в резервуаре чистой воды. По направлению движения воды они разделяются на одно- и двухпоточные. В первых воду фильтруют сверху вниз, во вторых – одновременно сверху вниз и снизу вверх.

Скорые фильтры рассчитывают для работы в нормальном и форсированном режимах. Продолжительность фильтроцикла при нормальном режиме должна составлять не менее 8–12 ч и лишь при форсированном режиме или полной автоматизации промывки фильтров может быть равной 6 ч. Фильтров на станциях производительностью более 1600 м<sup>3</sup>/сут должно быть не менее четырех.

Открытые скорые фильтры с однослойной загрузкой (рис. 29) представляют собой прямоугольные (в плане) железобетонные резервуары площадью 100–120 м<sup>2</sup>, загруженные фильтрующими слоями зернистого материала с поддерживающими слоями гравия, под которыми размещена дренажная система для сбора отфильтрованной и равномерного распределения промывной воды. Их загружают кварцевым песком, дробленным антрацитом, керамзитом, мраморной крошкой, горелой породой и др., обладающими необходимой механической прочностью и химической стойкостью. Высота слоя загрузки зависит от диаметра ее зерен. При диаметре зерен кварцевого песка 0,5–1,2 мм высота слоя составляет 700–800 мм; 0,7...1,6–1300...1500 мм; 0,8...2,0–1800...2000 мм.

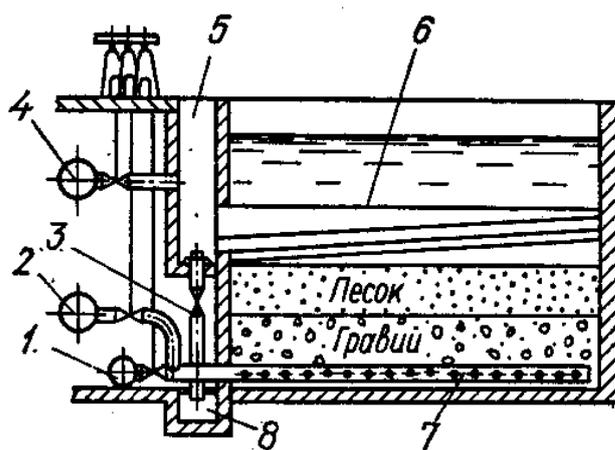


Рис. 29. Схема открытого скорого фильтра: 1 – отвод отфильтрованной воды; 2 – подача промывной воды; 3 – выпуск загрязненной промывной воды; 4 – подача осветляемой воды; 5 – распределительный карман; 6 – желоба для распределения фильтруемой и для отвода промывной воды; 7 – дренажная система; 8 – канализационный канал

Для сбора промывной воды и подвода осветляемой воды из отстойников или осветлителей в верхней части фильтров предусматривают желоба и другие устройства. Вдоль фильтров размещают арматуру управления, обеспечивающую подвод воды, отвод фильтрата, подачу промывной воды, сброс воды после промывки фильтрующих слоев. Кроме того, предусматривают регуляторы скорости фильтрации или расходомеры для фильтрата с регулятором.

При форсированном режиме работы фильтров трубопроводы и каналы должны обеспечить следующие скорости воды: подающие на фильтр отстоянную воду – 0,8–1,2, отводящие отфильтрованную воду – 1,0–1,5; подающие промывную воду и отводящие ее в канализацию – 1,6–2,0 м/с. Опорожнение фильтра предусматривают через распределительную систему и спускную трубу диаметром 100–200 мм (в зависимости от площади фильтра). Входное отверстие трубы защищают сеткой или решеткой. Уклон днища фильтра в направлении сбросного трубопровода составляет 0,005.

В скорых фильтрах с двухслойной загрузкой последняя состоит из отдельных слоев песка (при диаметре зерен 0,50–1,25 мм высота слоя составляет 600–700 мм) и антрацитовой крошки (при диаметре зерен 0,8–1,8 мм высота слоя составляет 400–500 мм). Скорость фильтрации при нормальном режиме должна составлять 8–10, при форсированном – 10–12 м/ч. В верхней части фильтра помещают крупнозернистый материал, поэтому плотная пленка загрязнений не образуется, поскольку они отлагаются в большом поровом пространстве фильтрующего слоя. В результате этого примерно в 2–2,5 раза возрастает грязеемкость фильтра и предоставляется возможность увеличить скорость фильтрации, а также удлинить фильтроцикл.

Конструктивно такие фильтры аналогичны обычным скорым фильтрам с однослойной загрузкой. Особенностью их оборудования является формирование отдельных слоев песка и дробленого антрацита, что достигается последовательной тщательной сортировкой их в процессе промывки. В некоторых случаях вместо антрацита используют активированный уголь.

В основу двухпоточных скорых фильтров АКХ положен принцип двухстороннего фильтрации воды с отводом фильтрата трубчатой дренажной системой, расположенной в толще фильтрующего слоя.

Фильтрация основной массы осветляемой воды снизу вверх сначала через слой крупного, а затем через все более мелкий песок обеспечивает повышение грязеемкости и производительности фильтра при сокращении расхода воды на промывку. В нижней части такого фильтра располагают трубчатую распределительную систему. Над ней помещают гравийные поддерживающие слои, на которые укладывают слой песка. Часть воды из отстойника подают в сборный карман фильтра, откуда она поступает по желобам на верхнюю часть загрузки. Основная же масса воды через распределительную систему поступает в нижнюю часть фильтрующего слоя. Очищенную воду собирают и отводят в коллектор дренажными трубами, расположенными на 500–600 мм ниже поверхности песка. Промывную воду собирают и отводят в сборный канал и трубопровод сточной воды желобами (рис. 30).

Фильтр загружают отмытым кварцевым песком крупностью 0,5–1,6 мм или другим зернистым материалом. Поддерживающие слои гравия укладывают так же,

как и в однопоточных скорых фильтрах. Расчетная скорость фильтрования для фильтров АКХ, составляющая 10–12 при нормальном и 12–15 м/ч при форсированном режимах, представляет собой сумму скоростей потоков воды через нижний и верхний слои зернистой загрузки. Во время работы фильтра скорость фильтрования через нижний слой загрузки увеличивается, а через верхний слой в связи с малой грязеемкостью его уменьшается. К концу фильтроцикла скорость фильтрования через нижний слой достигает 80 % суммарной скорости.

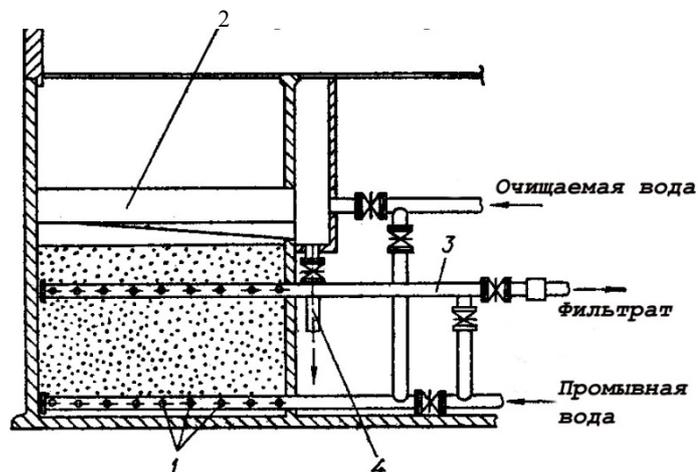


Рис. 30. Схема устройства фильтра АКХ: 1 – нижний дренаж; 2 – желоб; 3 – дренаж внутри загрузки; 4 – трубопровод

При промывке фильтров воду сначала подают в дренажную систему для взрыхления верхнего фильтрующего слоя, затем подключают основную промывку через нижнюю распределительную систему при одновременной подаче воды в дренаж с минимальной интенсивностью для создания противодействия, препятствующего попаданию в него загрязнений из нижних слоев. После окончания промывки подачу воды снизу прекращают, а сверху подают некоторое время для очистки щелей дренажных труб. Нижняя распределительная система фильтров АКХ аналогична трубчатой системе большого сопротивления однопоточных скорых фильтров.

Дренажная система фильтров АКХ состоит из щелевых виниловых, асбестоцементных или прочных полиэтиленовых труб. Щели располагают рядами параллельно оси труб в шахматном порядке. Длина щелей в виниловых трубах – 45–60, в асбестоцементных – до 100 мм; ширина их – 0,4–0,5 мм (1,5–2 % площади фильтра). Расстояние между рядами щелей по внутренней поверхности составляет не менее 10, между смежными щелями в ряду по наружной поверхности – 15–20 мм. Скорость движения воды в дренажных трубах не должна превышать 1 м/с. Стыки дренажных труб жестко укрепляют на опорах из стальных труб или балок прокатных профилей, расположенных перпендикулярно к оси дренажных труб. Обычно расстояние между опорами принимают равным 1,2–1,5 м.

В двухпоточных фильтрах значительно повышается грязеемкость зернистого фильтрующего материала, но конструкция и управление их работой значительно сложнее, чем обычных скорых и двухслойных фильтров.

Потери напора для скорых открытых фильтров принимают 3,0–3,5 м. Промывают скорые фильтры один–два раза в сутки отфильтрованной водой под необходи-

мым напором. Двигаясь с большой скоростью и значительным гидродинамическим давлением через фильтрующий материал снизу вверх, вода его разрыхляет и переводит во взвешенное состояние. Зерна фильтрующего материала ударяются друг о друга, налипшие загрязнения попадают в промывную воду, которая переливается через кромки железобетонных желобов и отводится в резервуар промывной воды. Скорые фильтры промывают либо только водой, подаваемой снизу вверх с большой интенсивностью, либо одновременно промывают водой и продувают воздухом. Равномерное распределение воды по площади скорых фильтров осуществляют дренажными системами с поддерживающими слоями или без них (при использовании дренажных систем из сборных полимербетонных плит или из железобетонных дырчатых плит). К дренажам с поддерживающими слоями относятся трубчатый дренаж большого и малого сопротивления, дренаж из сборных железобетонных элементов и др. трубчатом дренаже большого сопротивления равномерность распределения воды по площади фильтра достигается благодаря большому гидравлическому сопротивлению при проходе промывной воды через отверстия дренажа; эти сопротивления значительно превышают разность давлений промывной воды в различных точках дренажной системы; в дренаже малого сопротивления равномерность распределения воды по площади фильтра достигается за счет малых скоростей движения воды в дренажной системе и малой, вследствие этого, разности давлений в различных точках дренажной системы.

Разновидностью дренажа большого сопротивления без поддерживающих гравийных слоев является трубчатый дренаж со щелевой перфорацией при ширине щели на 0,1 мм меньше наиболее мелкой фракции фильтрующей загрузки. Перфорированные трубы во избежание зарастания и коррозии щелей изготавливают из нержавеющей стали или из пластмассы (например, из винипласта). Наиболее перспективен дренаж из перфорированных труб из нержавеющей стали с электроискровой нарезкой щелей (1,5–2,0 % площади фильтра). В скорых фильтрах без поддерживающих гравийных слоев с водяной и воздушной промывкой целесообразно применять дренажи из колпачков со щелевыми отверстиями (рис. 28).

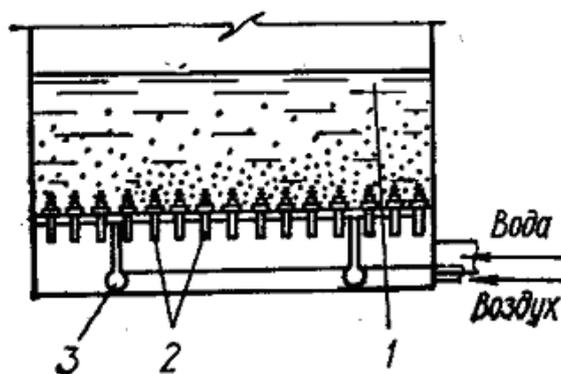


Рис. 31. Схема скорого фильтра с колпачковым дренажем: 1 – фильтрующий слой; 2 – дренажные колпачки; 3 – система труб для подачи воздуха

Такие колпачки можно изготовить из пластмассы, фарфора, нержавеющей стали; закрепляют их в промежуточном (ложном) днище фильтра. Их должно быть не менее 35–50 на 1 м<sup>2</sup> площади фильтра.

Полимербетонные дренажи могут применяться при водяной и водовоздушной промывках. При водовоздушной промывке на дне фильтра крепят дырчатые воздухораспределительные трубы. Полимербетонные дренажи имеют следующие преимущества перед наиболее распространенными трубчатыми дренажами с поддерживающими слоями гравия: отпадает необходимость применения гравийных слоев, уменьшается трудоемкость строительного-монтажных работ, сокращается металлоемкость, повышается надежность работы фильтров, загрузка фильтров может быть полностью механизирована. За счет перемешивания загрузки во всем объеме фильтра происходит качественная отмывка зерен и исключается гидравлическая сортировка фильтрующего материала, приводящая в фильтрах собычной промывкой к росту потерь напора, снижению грязеемкости загрузки и сокращению фильтроцикла.

Скоростные напорные фильтры (рис. 32) широко используются для осветления воды после обработки ее коагулянтами без предварительного отстаивания, а также при безреагентном осветлении воды, содержащей до 50 мг/л взвешенных веществ. Они представляют собой закрытые вертикальные или горизонтальные резервуары со сферическими днищами, рассчитанные на рабочее давление до 0,6 МПа.

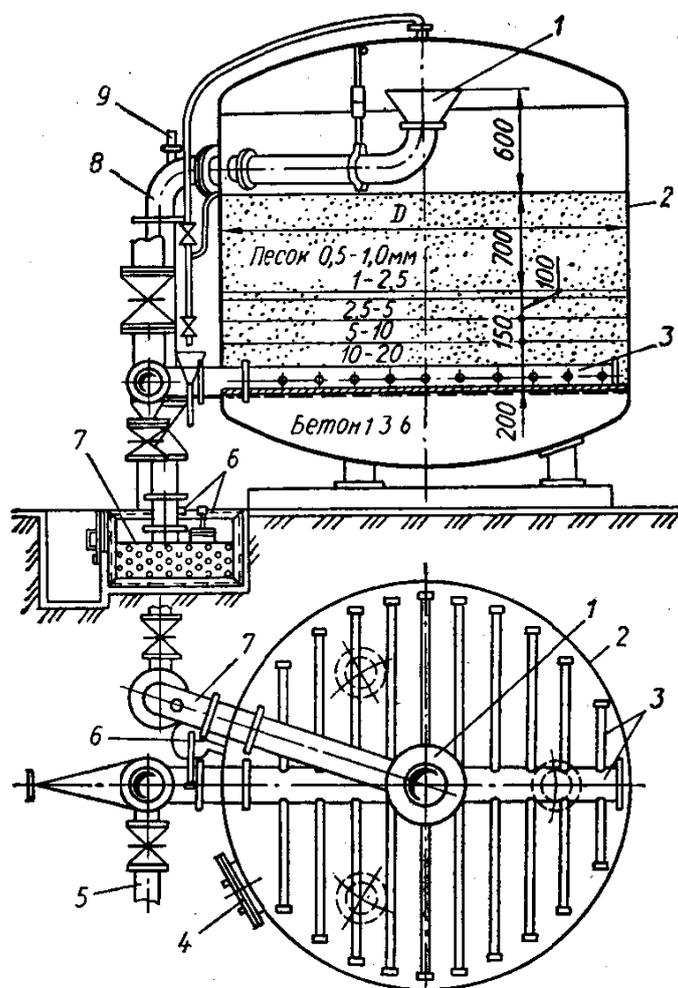


Рис. 32 – Схема вертикального напорного фильтра: 1 – воронка; 2 – корпус; 3 – дренажная система; 4 – люк; 5 – трубы для отвода фильтрата; 6 – поплавок; 7 – лоток для промывной воды; 8 – трубопровод; 9 – предохранительный клапан

Производительность каждого вертикального фильтра составляет 50–90 м<sup>3</sup>/ч (в зависимости от качества исходной воды). Диаметр выпускаемых отечественной промышленностью вертикальных напорных фильтров – 1,0–3,4 м, т. е. максимальная поверхность фильтрования не превышает 9,1 м<sup>2</sup>.

Увеличение диаметра фильтров сверх 3,4 м приводит к техническим трудностям при транспортировке.

Если производительность станции большая и применить открытые железобетонные фильтры невозможно, устанавливают горизонтальные напорные фильтры (рис. 33) диаметром 3 м и длиной 10 м, обеспечивающие площадь фильтрования до 27 м<sup>2</sup>.

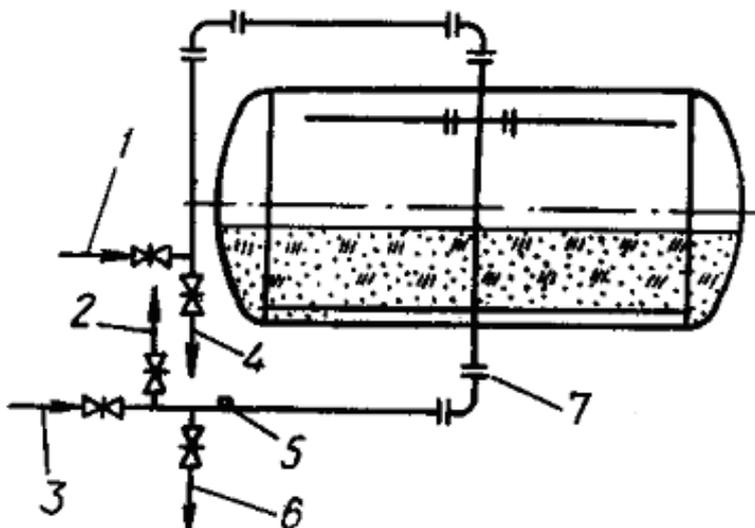


Рис. 33 – Схема фильтра осветлительного горизонтального однокамерного ФОГ 3,0-6-5,5: 1 – подвод обрабатываемой воды; 2 – выход отфильтрованной воды; 3 – подвод промывной воды; 4 – спуск промывной воды; 5 – подвод сжатого воздуха; 6 – спуск первого фильтрата; 7 – гидровыгрузка фильтрующего материала

Гравийные поддерживающие слои в напорных фильтрах, как правило, не устраиваются. Дренаж их представляет собой трубчатую магистраль с ответвлениями, снабженными фарфоровыми и пластмассовыми дренажными колпачками или щелями. Над дренажем располагают фильтрующую загрузку из кварцевого песка (мрамора, антрацита) с толщиной слоя 1 м. На боковой поверхности фильтра находится два люка, один для загрузки фильтрующего материала, другой смотровой. На передней стенке фильтра (фронт фильтра) устанавливаются манометры и трубки с вентилями (для отбора проб фильтруемой воды и фильтрата, выпуска воздуха, для контроля спуска воды перед промывкой фильтра). Расчетную скорость фильтрования для напорных фильтров принимают: при нормальном режиме с предварительным отстаиванием – 8, при форсированном – 10 м/ч; при нормальном режиме без отстаивания – 4, при форсированном 5 м/ч. Промывают фильтры восходящим потоком воды с интенсивностью 15 л/(с·м<sup>2</sup>) (загрузка – кварцевый песок и мраморная крошка) и 10 л/(с·м<sup>2</sup>) (загрузка – дробленый антрацит) в течение 6 мин. Сжатый воз-

дух при водовоздушной промывке подают с интенсивностью  $20 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  в течение 3 мин.

Сверхскоростной напорный фильтр конструкции Г. Н. Никифорова (рис. 31) работает при постоянном напоре с переменной скоростью фильтрования, уменьшающейся по мере загрязнения фильтра. Начальная скорость фильтрования составляет  $50\text{--}100 \text{ м}/\text{ч}$ . Фильтр представляет собой цилиндрический корпус с цилиндрической камерой внутри. Пространство между цилиндрами разделено вертикальными перегородками на восемь отсеков-фильтров с песчано-гравийной загрузкой. В действии находятся семь отсеков, а один – на промывке. В связи с тем, что фильтр засоряется очень быстро, продолжительность фильтроцикла в каждом отсеке не превышает 1–2 ч.

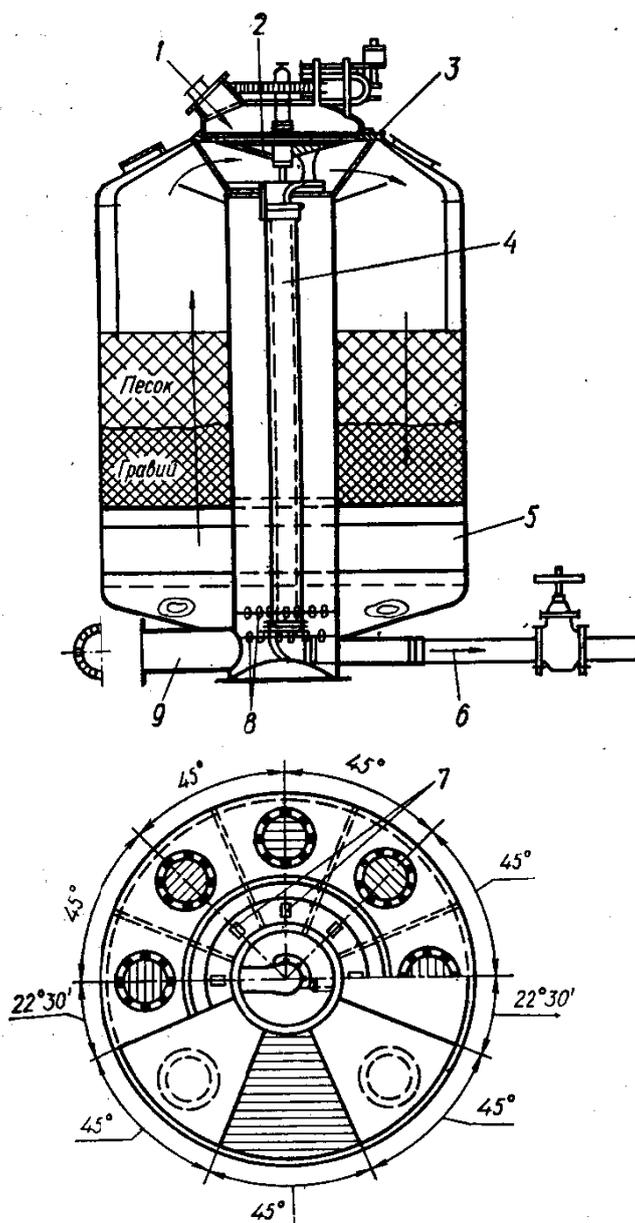


Рис. 34. Схема сверхскоростного фильтра конструкции Г.Н. Никифорова

Фильтруемая вода поступает по трубе 1 в распределительный колпак 2, а из него через щели 7 в отсеки-фильтры. Пройдя через фильтры, вода по щелям 8 и центральному цилиндру отводится по напорной трубе 9. Промывка фильтра автоматизирована. В верхней части его вращается патрубок, закрывающий верхнее щелевое окно камеры, которая подвергается промывке, и выключающий ее из работы. Вода на промывку подается из междудонного пространства 5. Загрязненная промывная вода через патрубок 3 и центральный стояк 4 отводится к трубе 6. Фильтры переключаются на промывку последовательно специальным автоматическим устройством. Загружают фильтр кварцевым песком с эффективным размером зерен 0,5 мм при толщине фильтрующего слоя 450 мм. Поддерживающим является слой гравия толщиной 300 мм. Производительность сверхскоростных фильтров при максимально допустимом диаметре составляет 150 м<sup>3</sup>/ч.

Контактные осветлители являются своеобразной разновидностью скорых фильтров, работающих на принципе фильтрования воды с добавленным коагулянт через слой зернистой загрузки снизу вверх, т. е. в направлении убывания крупности зерен в слое. Схема контактных осветлителей типа КО-1 приведена на рис. 32. Эти осветлители имеют четыре регулирующие задвижки, дренажную систему и сборные желоба; для их загрузки применяют гравий и кварцевый песок.

Общая толщина поддерживающих гравийных слоев и их гранулометрический состав применяются такие же, как и в обычных скорых фильтрах.

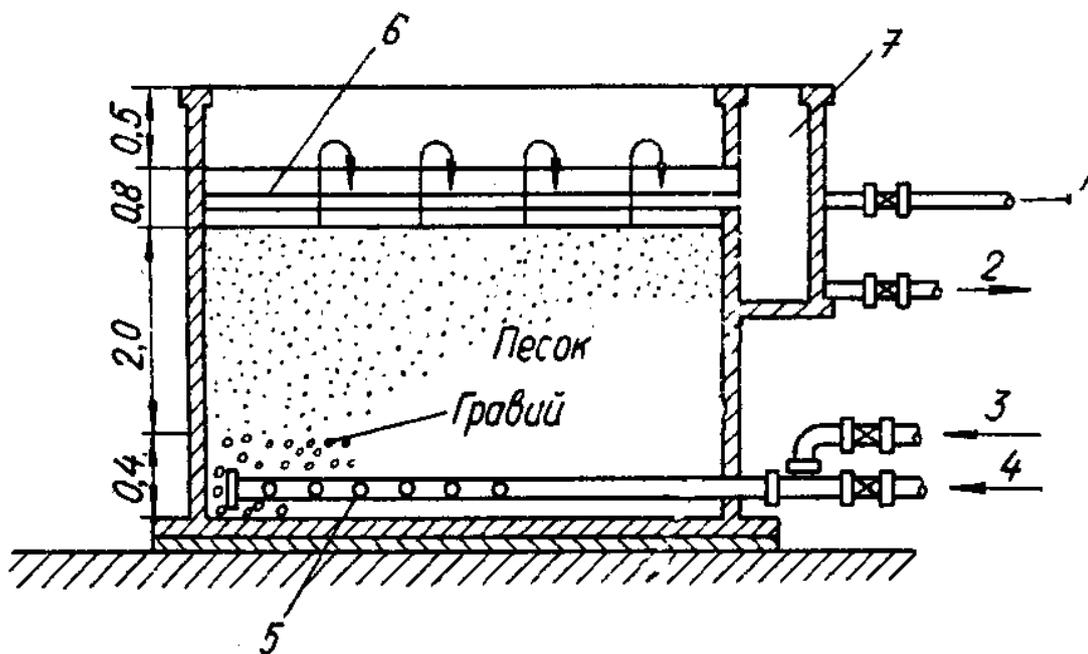


Рис. 35. Схема устройства контактного осветлителя: 1 – отвод осветленной воды; 2 – отвод промывной воды; 3 – подача воды с коагулянт; 4 – подача промывной воды; 5 – распределительная система из дырчатых труб; 6 – сборные желоба; 7 – карман фильтра

Для загрузки контактных осветлителей применяют фильтрующий материал с размером зерен от 0,5 до 2 мм. Если отсутствуют результаты технологических испытаний, то высоту фильтрующего слоя в зависимости от типа распределительной

системы принимают в пределах от 2,0 до 2,5 м при эквивалентном диаметре зерен 0,9–1,0 мм и коэффициенте неоднородности до 2,5. В загрузке контактных осветлителей не должно быть фракций меньше 0,5 мм, которые выносятся восходящим потоком воды при их работе.

Контактные осветлители могут работать в двух режимах: при постоянной скорости фильтрования на протяжении всего рабочего цикла и со скоростью, постепенно убывающей к концу цикла так, чтобы средняя ее величина равнялась расчетной. В первом случае при проектировании предусматривается регулирование подачи воды на осветлители независимо от их количества. Во втором случае необходимо иметь в виду, что при выключении одного из осветлителей на промывку скорость фильтрования на остальных осветлителях не должна увеличиваться более чем на 15%, это возможно, если их на станции не меньше шести. При меньшем числе осветлителей необходимо предусматривать ограниченную подачу воды в период промывки одного из них.

Для равномерного распределения воды для промывки по всей площади в контактных осветлителях предусматривают распределительные системы: трубчатую – большого сопротивления с гравийными подстилающими слоями или безгравийную систему; в первом случае отношение отверстий распределительной системы к площади контактного осветлителя принимают равным 0,2%, а во втором – 0,25–0,27 %. Распределительная система контактного осветлителя должна быть обязательно доступна для прочистки от засорения.

В контактных фильтрах, в работе которых также используется явление контактной коагуляции, вода с добавленными к ней реагентами, в отличие от контактных осветлителей, фильтруется через зернистые загрузки в направлении сверху вниз, т. е. как в обычных скорых фильтрах. Для увеличения грязеемкости фильтрующей загрузки ее делают двух – или многослойной, а также из крупнозернистого материала.

В контактных фильтрах рекомендуется применять дренажи без подстилающих слоев с распределительной системой из керамических пористых плиток или винилопластовых щелевых труб. Грязеемкость их загрузки примерно такая же, как и у контактных осветлителей, а эксплуатационные затраты несколько ниже. При использовании контактных фильтров отпадает необходимость в строительстве сооружений или установке специального оборудования для защиты распределительных систем от загрязнения. Важным преимуществом контактных фильтров является возможность значительного форсирования их работы путем повышения скорости фильтрования до 9 м/ч. Фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ) являются эффективными, высокопроизводительными сооружениями по очистке сточных вод от гетерофазных примесей (рис. 36).

Наличие в воде минеральных масел, нефтепродуктов и жиров с концентрацией свыше 30 мг/л препятствует нормальной работе ФПЗ. В то же время ввод коагулянтов и флокулянтов повышает эффект очистки. ФПЗ могут быть применены как при строительстве новых фильтровальных станций, так и при реконструкции существующих сооружений (путем переоборудования кварцевых фильтров осветлителей со взвешенным осадком отстойников). Производительность очистной станции может быть любая при соответствующем технико-экономическом обосновании.

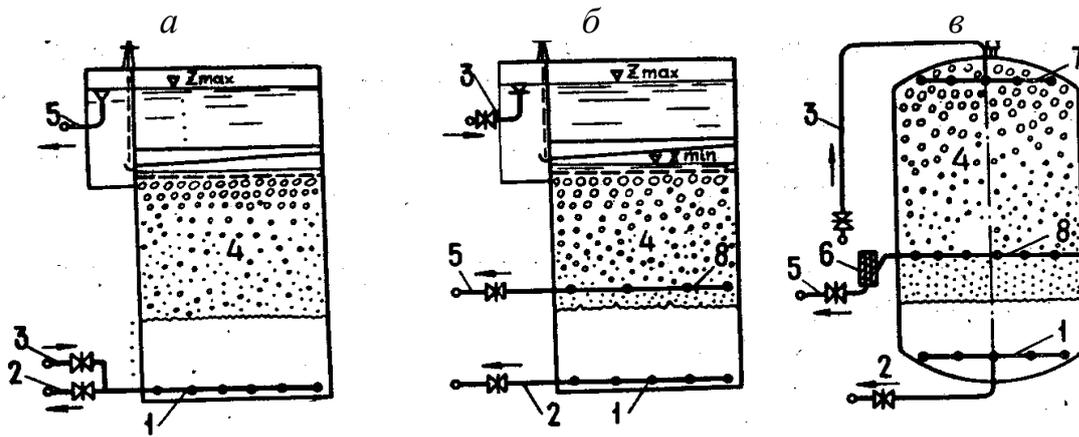


Рис. 36. Фильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой: *a* – ФПЗ–1; *б* – ФПЗ–4; *в* – ФПЗ–4н (ФПЗ–3,4–150); 1 – нижняя сборно-распределительная система; 2 – отвод промывной воды; 3 – подача исходной воды; 4 – пенополистирольная загрузка; 5 – отвод фильтрата; 6 – уловитель пенополистирола; 7 – верхняя распределительная система; 8 – средний дренаж

В настоящее время разработано свыше 100 конструкций фильтров с плавающей пенополистирольной загрузкой (ФПЗ), отличающихся областью применения, технологическими возможностями, разнообразием конструктивных элементов, условиями размещения пенополистирольной загрузки в корпусах, в том числе в известных существующих водопроводных и канализационных сооружениях, способами промывки пенополистирольной загрузки. Работа некоторых из них (ФПЗ–1, ФПЗ–3, ФПЗ–4, АФПЗ–4) была изучена и испытана в процессе эксплуатации на действующих станциях.

Наиболее экономичными и простыми в эксплуатации являются фильтры с восходящим фильтрационным потоком и относительно однородной пенополистирольной загрузкой (ФПЗ–1 с диаметром гранул рабочего слоя 0,7–1,5 мм и поддерживающим верхним слоем, состоящим из гранул диаметром 2,5–6,0 мм).

Выбор конструкции ФПЗ следует производить в зависимости от фазово-дисперсного состояния примесей в обрабатываемой воде, назначения очистки и высотной технологической схемы станции.

Для механической очистки сточных вод применяют комбинированные сооружения, такие как тонкослойные отстойники-фильтры (рис. 37). Это высокоэффективные комбинированные сооружения для очистки производственных сточных вод. Тонкослойный отстойник-фильтр состоит из следующих блоков: песколовки с гидроэлеватором и водораспределительным лотком, перекрытым решеткой; двух тонкослойных горизонтальных отстойников, оборудованных полочными блоками, нефтесборными поворотными трубами, гидроэлеваторами и лотками для сбора очищенной воды; двух резервуаров очищенной воды с устройствами, позволяющими устанавливать в них блоки с фильтрующей загрузкой (кассетные фильтры).

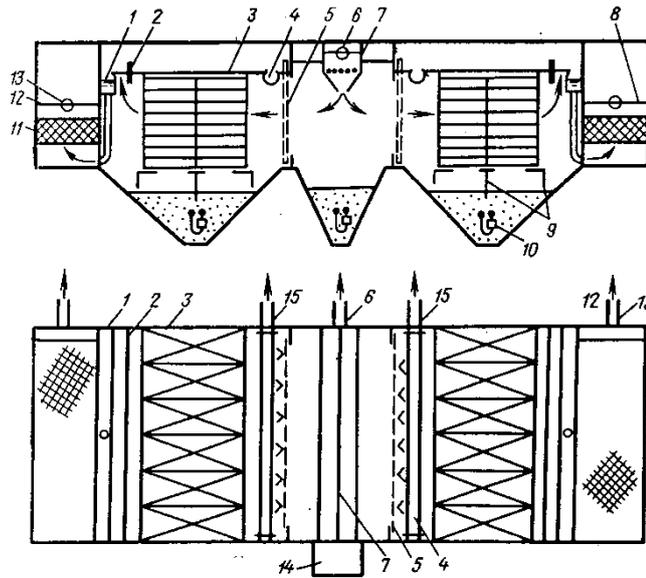


Рис. 37. Тонкослойный отстойник-фильтр: 1 – водосборный лоток; 2 – полупогруженная перегородка; 3 – блоки тонкослойных элементов; 4 – нефтесборная труба; 5 – щелевая распределительная перегородка с отражателями; 6 – подводящий трубопровод; 7 – распределительный лоток со съемной решеткой; 8 – камера очищенной воды; 9 – перегородки; 10 – гидроэлеватор; 11 – блоки фильтрующей загрузки; 12 – лоток сбора очищенной воды; 13 – отводящий трубопровод; 14 – контейнер для мусора; 15 – трубопровод для отвода нефтепродуктов

Следует отметить, что большим преимуществом комбинированных сооружений для очистки стока с использованием принципа тонкослойного отстаивания воды перед фильтрами, помимо их компактности и высокой эффективности, является существенное снижение концентрации загрязнений, поступающих на фильтры, и увеличение в связи с этим фильтроцикла, что для подобных сооружений крайне важно.

### Применение мембранных технологий

В последнее время мембранные технологии начинают использоваться в очистке промышленных сточных вод. Они применяются для удаления растворенных и коллоидных частиц, бактерий, вирусов и извлечения ценных или ядовитых (ртуть) и радиоактивных веществ.

Мембраны используют для обессоливания и для осветления. Мембраны могут быть нейтральными или электрически заряженными. Заряженные мембраны катионитные, пропускающие только катионы, и анионные, пропускающие только анионы, используются в процессах электродиализа, например, при обессоливании воды. Размеры частиц, задерживаемых при мембранной сепарации, зависят от размера пор мембраны.

По порогам разделения (размерам пор) различают мембраны:

– обратного осмоса (гиперфильтрации) ГФ, пропускающие воду и задерживающие все соли;

–нанофильтрации (НФ) – это мембраны обратного осмоса, задерживающие поливалентные ионы и органические вещества (молекулярная масса  $\sim 300$  г/моль) с размерами пор более 1 нм ( $10^{-3}$  мкм);

–ультрафильтрации (УФ), с порами от 1 до 50 нм – они задерживают только макромолекулы;

–микрофильтрации (МФ), размеры пор, которых от 100 нм (0,1 мкм) до 10 мкм; они пропускают все растворенные формы и задерживают только нерастворенные твердые частицы. Как видно из рис. 52, мембраны обессоливания подразделяются на мембраны обратного осмоса и мембраны нанофильтрации, а мембраны осветления – на мембраны ультрафильтрации и микрофильтрации. Поры мембран ультрафильтрации имеют размер в 1000 раз меньше пор человеческой кожи. В мембранных процессах разделения используются свойства полупроницаемости мембран. Они являются проницаемыми для воды и некоторых растворенных веществ, но не проницаемы для других растворенных веществ и взвешенных дискретных частиц. Так, если при обычной фильтрации через слой песка могут полностью задерживаться частицы до 5 мкм, то при микрофильтрации выделяются более мелкие частицы, а ультрафильтрация в зависимости от типа мембраны обеспечивает выделение еще более мелких частиц с молярной массой  $10 \div 100$  г/моль.

Гиперфильтрацией отделяются частицы с молекулярной массой от нескольких сот граммов/моль (в 10–100 раз меньше УФ).

Мембраны представляют собой плоские или трубчатые изделия из синтетических материалов. Конструкции их весьма разнообразны.

Мембраны различают:

–по материалу (ацетатцеллюлозные, полиамидные, керамические);

–удельной производительности;

–долговечности, которая зависит от рН среды, температуры, материала мембраны;

–рабочему давлению (мембраны обессоливания 2,5–8 МПа, мембраны осветления  $< 0,2$  МПа)

–селективной способности (солепроницаемости), т.е. разной степени извлечения определенных загрязнений.

Основной характеристикой мембранной установки является коэффициент выхода фильтрата (пермеата):

$$K_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{Q} \cdot 100\%$$

где  $Q_{\phi}$  – расход фильтрата установки;  $Q$  – расход подаваемой воды;  $K_{\phi}$ –коэффициент выхода фильтрата,  $K_{\phi} = 10-90$  %.

До мембраны происходит концентрирование примесей. Для предотвращения отложений и забивания мембраны необходимо контролировать эту концентрацию. Она связана с коэффициентом  $K_{\phi}$ , и исходной концентрации примесей  $C_c$

$$C_{\kappa} = \frac{100 \cdot C_E}{100 - K_{\phi}}$$

Если  $K_\phi = 75\%$ , то  $C_\kappa = 4C_E$

Если хотят получить  $K_\phi > 20...30\%$ , то сырую воду подвергают обработке: осветлению или фильтрации. Для регенерации мембраны осуществляют промывку.

При мембранных методах очистки воды считают, что мембрана — это пористая среда, задерживающая все вещества, размеры которых больше размера пор.

Концентрация фильтрата перед мембраной зависит как от расхода воды  $Q_\phi$ , так и от концентрации  $C_m$  жидкости, соприкасающейся с мембраной. В свою очередь  $C_m$  зависит от исходной концентрации  $C_E$

$$C_m = C_E \cdot \psi$$

где  $\psi$  — коэффициент концентрационной поляризации мембраны,  $\psi = \frac{C_m}{C_E}$  — концентрация соли в жидкости находящейся в контакте с мембраной;  $C_E$  — концентрация соли в исходной, жидкости поступающей на обработку.

Концентрационная поляризация снижает эффективность процесса. В промышленных условиях поддерживают  $\psi = 1,05...1,4$ . Коэффициент  $\psi$  можно уменьшить до минимума посредством эффективной промывки мембраны, сбрасывая большой расход концентрата жидкости.

Очистные установки монтируются из модулей, которые собираются из отдельных мембран.

В зависимости от используемых мембран различают модули:

- трубчатые;
- трубчатые с полыми волокнами;
- пластинчатые;
- спиральные.

Для микрофильтрации и ультрафильтрации применяют в 95 % всех используемых установок модули с полыми волокнами, а при нанофильтрации и обратном осмосе спиральные модули.

Трубчатые модули собирают из трубчатых мембран (рис. 38 а), которые имеют наружный диаметр от 4 до 25 мм. Их размещают последовательно или параллельно в цилиндрическом корпусе, образуя трубчатый модуль.

Скорость циркуляции жидкости в нем может приниматься до 6 м/с. Такие модули не требуют предварительной тонкой очистки воды и применяются для жидкостей с большим содержанием взвеси. Их легко чистить посредством введения шариков из губки. К недостаткам трубчатых модулей относятся: большие размеры, высокая стоимость 1 м<sup>2</sup> площади фильтрации.

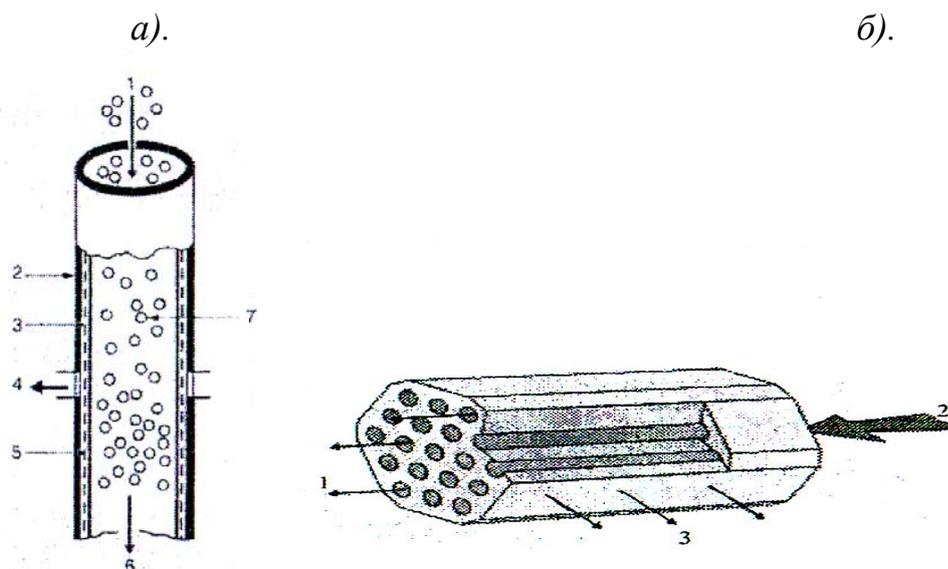


Рис. 38 *а*). трубчатая мембрана: 1 – подача исходной воды; 2 – труба; 3 – держатель мембраны; 4 – очищенная сточная вода; 5 – мембрана; 6 – выход концентрата; 7 – взвешенные вещества; *б*). керамическая мембрана: 1 – концентрат; 2 – вода; 3 – пермеат

Модули с полыми волокнами. Диаметр таких волокон от 0,6 до 2 мкм. Изготавливают их путем экструзии мембранного материала сквозь кольцеобразные фильеры.

Они могут выдерживать значительные рабочие внутренние и внешние давления. Их иногда укрепляют с помощью тканевой сетки и часто группируют из нескольких тысяч волокон. Обрабатываемая жидкость протекает внутри волокон (внутренняя фильтрующая поверхность), либо снаружи (внешняя фильтрующая поверхность).

Такие модули можно регулярно промывать обратным током воды через 0,33 – 2 часа. Причем давление при промывке значительно ниже предельно допустимого для их раздавливания или разрыва.

Модуль Ultrazur 450 с внутренней поверхностью фильтрации (рис. 39) содержит 35600 волокон диаметром 0,9 мкм, что составляет площадь фильтрации 125 м<sup>2</sup> и для осветления может использоваться в режимах фронтальной ( $K_{\phi} = 80-100 \%$ ) или тангенциальной фильтрации ( $K_{\phi} = 15-30 \%$ ), а в режимах обессоливания  $K_{\phi} = 20-50 \%$ . Такие модули выпускаются с поверхностью фильтрации 125, 64 и 7 м<sup>2</sup>.

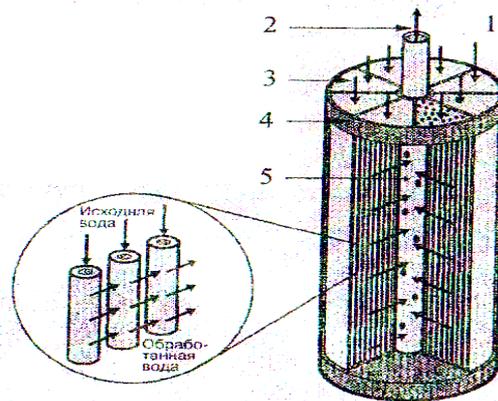


Рис. 39. Модуль Ultrazur 450 с внутренней поверхностью фильтрации: 1 – поступление исходной воды; 2 – выход пермеата; 3 – восемь пучков волокон; 4 – смола для герметичного крепления пучков; 5 – центральный коллектор пучков

Погружные модули ультрафильтрации с внешней фильтрующей поверхностью (рис. 40) устанавливаются прямо в обрабатываемую воду. Фильтрат всасывается сквозь стенки волокон за счет создания вакуума (0,2...0,6 бар). Они состоят из пластов, укрепленных полых волокон, объединенных в кассеты, включающие от 10 до 60 модулей, с одним источником питания, одним выходом пермеата (фильтрата) и одним воздушным коллектором. Для борьбы с закупориванием (забиванием) мембран предусматривается подача воздуха. Кроме того, все модули осветления (ультрафильтрации и микрофильтрации) необходимо защищать от закупоривания крупными частицами, для чего рекомендуется устанавливать перед ними защитные микросита с отверстиями от 150 до 500 мкм.

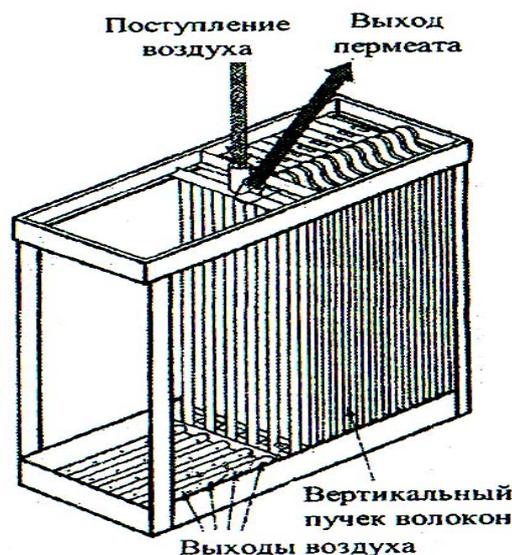


Рис. 40 Погружные модули ультрафильтрации.

Спиральные модули (рис. 41). Диаметр модуля от 5 до 30 см, длина 0,3... 1,5 м, мембранная поверхность от 0,3 до 41 м<sup>2</sup>,  $K_{\phi} = 5... 13 \%$ . Несколько таких модулей (от 2 до 8) устанавливаются последовательно в едином цилиндрическом корпусе. Такие модули являются самыми компактными и обеспечивают малое падение напора, однако они очень чувствительны к забиванию и нужна хорошая предварительная обработка жидкости. В настоящее время практически все модули обессоливания (ГФ, НФ) изготавливаются именно спиральными.

Для мембран осветления, используемых при очень низких давлениях (< 2 бар), применяются только параллельные соединения всех модулей и предусматривается контур рециркуляции для реализации в необходимых случаях тангенциального режима фильтрации.

**Применение мембран осветления.** Мембраны осветления постепенно заменяют традиционные сооружения при подготовке питьевой и технической воды без применения реагентов из природной или оборотной воды предприятий, а также в предварительной обработке воды для систем обессоливания.

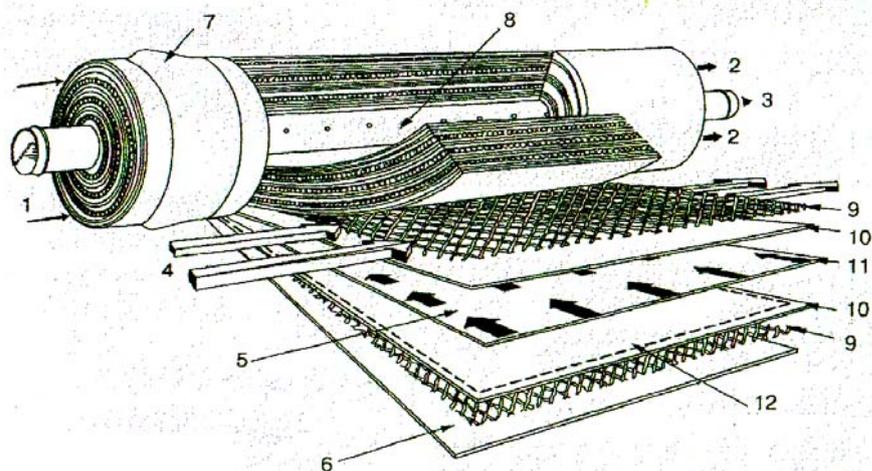


Рис. 41. Спиральный модуль: 1—поступление воды; —выход концентрата: 3 – трубка – коллектор; 4—направление движения исходной воды; 5—направление движения пермеата; 6 – защитный материал; 7—герметичная прокладка между модулем и корпусом; 8 – отверстия коллектора пермеата; 9 – прокладка; 10 – мембрана; 11 – коллектор пермеата; 12 – линия спайки двух мембран

Мембранные технологии применяют для:

- получения ультрачистой воды и обессоливания;
- обработки промышленных стоков;
- улучшения качества воды, обработанной на традиционных установках;
- обеззараживания воды.

**Ультрафильтрационная установка** для очистки сточных вод автотранспортных предприятий от взвешенных и коллоидных частиц, нефтепродуктов, органических загрязнений и тяжелых металлов (рис. 42) включает блоки:

1. Предварительной очистки от основного количества грубо-дисперсных взвешенных частиц и свободных нефтепродуктов в емкости — отстойнике. Выделенные нефтепродукты и шлам направляются на утилизацию.

2. Тонкой фильтрации на механическом фильтре (удаление взвешенных частиц более 20 мкм).

3. Глубокой очистки от мелкодисперсных и коллоидных частиц, эмульгированных нефтепродуктов, высокомолекулярной органики и тяжелых металлов на ультрафильтрационном модуле. В процессе ультрафильтрации через мембрану исходная вода разделяется на два потока: ультрафильтрат, который непрерывно отводится в емкость для очищенной воды и далее на повторное использование, и концентрат, насыщенный нефтепродуктами и механическими загрязнениями, который возвращается в отстойник.

4. Доочистки в сорбционном фильтре (в случае сброса очищенных сточных вод в открытые водоемы) обеспечивает удаление растворенных нефтепродуктов, низкомолекулярной органики, остаточных тяжелых металлов.

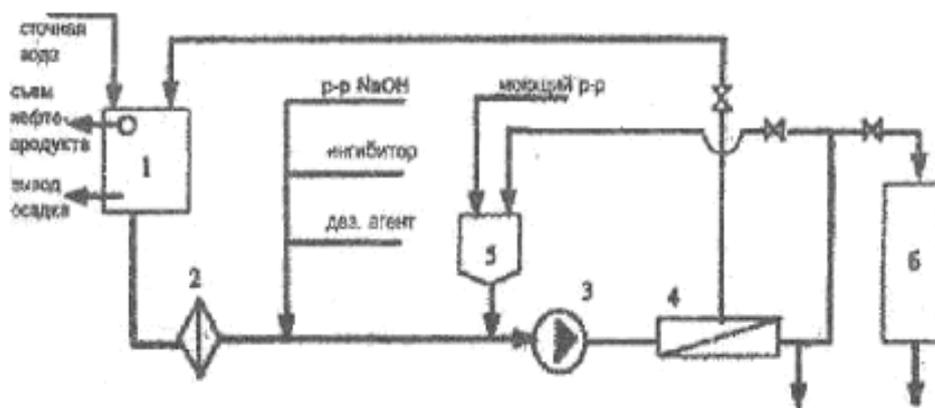


Рис. 42. Технологическая схема ультрафильтрационной установки для очистки сточных вод автотранспортных предприятий: 1 – отстойник; 2 – механический фильтр; 3 – насос; 4 – мембранный модуль; 5 – узел мойки; 6 – сорбционный фильтр

Технологией предусматривается регенерация мембранных элементов моющим раствором; корректировка рН до значения 9–10 путем дозирования NaOH для повышения моющих свойств воды; ввод ингибитора для предотвращения образования осадка на пистолетах, осуществляющих подачу воды на промывку, и исключения образования разводов и пятен на поверхности кузова автомобиля; периодический ввод дезинфицирующего агента для обеззараживания воды.

### Контрольные вопросы

1. Какие методы применяются для очистки промышленных сточных вод, и от чего зависит их выбор?
2. Когда применяется механическая очистка производственных сточных вод?
3. Когда применяется химическая очистка сточных вод?
4. Какие процессы протекают при химической очистке сточных вод?
5. На чем основано применение физико-химической очистки?

6. В чем заключается биологическая очистка сточных вод?
7. Как осуществляется процеживание сточных вод?
8. Для чего применяются решетки, какие типы известны, и где они устанавливаются?
9. Когда применяют сита и барабанные сетки и где они устанавливаются?
10. По каким показателям классифицируют нерастворимые примеси?
11. Назначение, типы и схемы конструкций песколовков.
12. В чем состоит особенность тангенциальных песколовков и как принимается нагрузка на неё?
13. Как выполняются аэрируемые песколовки и с учетом чего их рассчитывают?
14. Для чего применяют бункерные устройства, и что используется для повышения эффективности отмывки песка?
15. Назначение и типы отстойников, условия их применения?
16. Что представляют собой горизонтальные отстойники и на какие две зоны они разделяются?
17. Что представляет собой вертикальный отстойник, чем он оборудуется?
18. Что представляют собой радиальные отстойники и принцип их работы?
19. Чем отличаются тонкослойные отстойники от обычных?
20. Из каких материалов изготавливают тонкослойные элементы?
21. Назначение жироловушек, какие типы известны?
22. Какие типы гидроциклонов известны?
23. Когда применяются напорные гидроциклоны?
24. Какая важная особенность характерна для напорных гидроциклонов?
25. Условия применения открытых гидроциклонов.
26. Когда применяют многопродуктовые напорные гидроциклоны?
27. Для чего применяют мультигидроциклоны?
28. Как можно добиться компактности установки при использовании мультигидроциклона?
29. Условия применения центрифуг и сепараторов.
30. Как можно повысить эффективность очистки на жидкостных сепараторах?
31. Назначение скорых безнапорных фильтров, на какие типы они подразделяются по направлению движения воды?
32. Какие фильтрующие материалы известны?
33. Типы и конструкции скоростных напорных фильтров?
34. Принцип работы сверхскоростного напорного фильтра конструкции Г.И. Никифорова?
35. Принцип работы контактного осветлителя, схема конструкции.
36. Принцип работы и схемы конструкции фильтров с плавающей пенополистирольной загрузкой.
37. Типы мембран в зависимости от размера пор.
38. Что является основной характеристикой мембранной установки?
39. Назначения, типы модулей и их применение при микрофильтрации, ультрафильтрации, нанофильтрами.
40. Когда применяются мембранные технологии?

## ЛЕКЦИЯ 4. Усреднение сточных вод по расходу и концентрации загрязнений. Химические методы

### Усреднение сточных вод по расходу и концентрации загрязнений

Концентрации загрязнений и расходы производственных сточных вод колеблются в течение суток. Характер этих колебаний в основном зависит от технологического режима производства и вида предприятия. Возможны залповые поступления высококонцентрированных сточных вод.

Высокая концентрация загрязнений:

- отрицательно сказывается на состоянии сетей и оборудования;
- затрудняет работу очистных сооружений; при поступлении больших залповых расходов расчет очистных сооружений необходимо производить на максимальные расходы, что приводит к неоправданному завышению их объемов.

Для усреднения расходов и концентраций устраивают усреднители, что позволяет рассчитывать все последующие сооружения очистки на средние параметры. В качестве усреднителей используют различные емкости, пруды, в которых стоки выдерживают некоторое время. Однако, эти сооружения занимают большие площади и неэффективны, поэтому чаще всего строят специальные резервуары-усреднители. Для малых расходов используют усреднители периодического действия – круглые или прямоугольные резервуары с перемешиванием воды в них воздухом с интенсивностью от 6 до 24 м<sup>3</sup> на 1 п.м. воздухораспределительных труб в час (рис. 43 б). При больших расходах применяются проточные усреднители различных конструкций (рис. 43 в).

Во ВНИИ ВОДГЕО (рис. 43 а) разработаны многокоридорные усреднители, основанные на принципе дифференциации потока. Они просты по конструкции, работают автоматически, могут быть прямоугольные и круглые в плане. Объем усреднителя поделен на коридоры продольными перегородками, число которых рекомендуется  $n = 5-6$ . В водосборный лоток струи с одинаковой концентрацией на входе поступают в разное время. Принцип усреднения достигается тем, что длина пути и время движения от распределительного до водосборного лотка в различных коридорах различны; при перемешивании в желобах осуществляется усреднение.

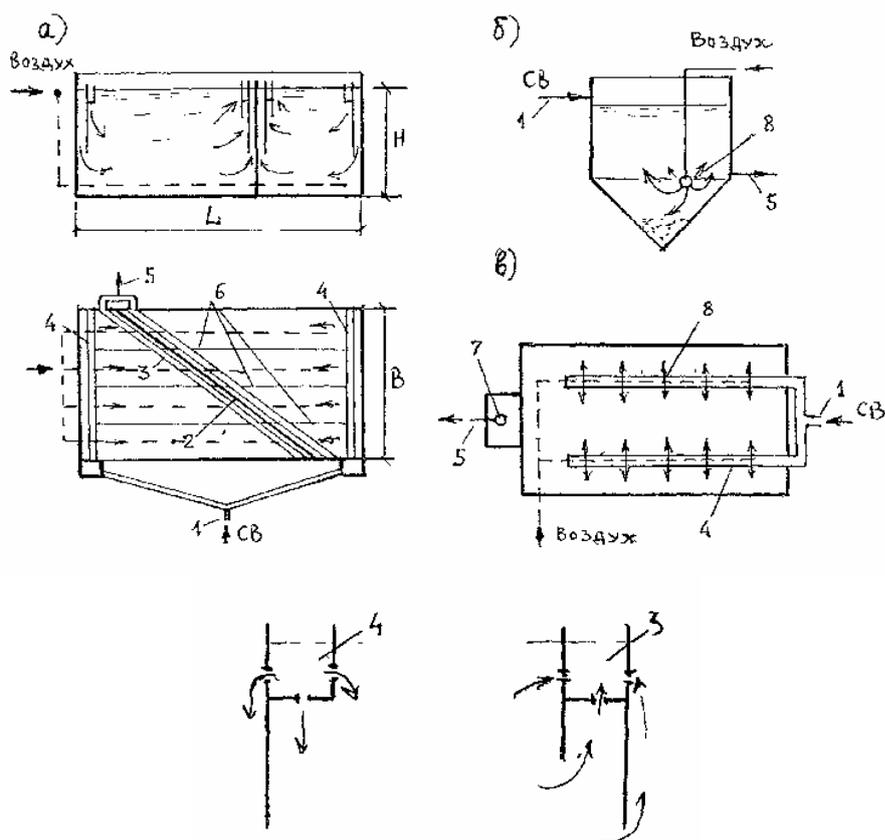


Рис. 43. Конструкции усреднителей: *а* – проточный многокоридорный с диагональной перегородкой; *б* – контактный усреднитель периодического действия; *в* – проточный с перемешиванием воды воздухом; 1 – водоподводящий канал; 2 – глухая диагональная перегородка; 3 – водосборные желоба; 4 – водораспределительные желоба; 5 – водоотводящий канал; 6 – продольные вертикальные перегородки; 7 – выпускная камера с устройством, обеспечивающим постоянство выходящего из усреднителя расхода; 8 – барботеры

По СНиП объем усреднителя при циклических колебаниях:

$$W = 0,21 \cdot Q_w \cdot T_u \cdot \sqrt{\tau^2 - 1}, \text{ м}^3 \quad \text{при } \tau < 5$$

или

$$W = 1,3 \cdot Q_w \cdot T_u \cdot \tau, \text{ м}^3 \quad \text{при } \tau \geq 5,$$

где  $Q_w$  – расход,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $T_u$  – период цикла, ч.

Усреднители с механическим перемешиванием применяются при концентрации взвеси  $\geq 500$  мг/л; усреднители барботажного типа  $< 500$  мг/л при любом режиме поступления сточные воды. Интенсивность барботажа для перемешивания 2–3 (6)  $\text{м}^3/\text{ч}$  на 1 п. м. пристенного барботера и 4–6 (12)  $\text{м}^3/\text{ч}$  на 1 п. м. – промежуточного. Они располагаются пристенно или в центре коридора на глубине 0,07–0,1 м от дна. Расстояние между ними (2–3) $H$ . Для периодического перемешивания взвеси и предотвращения выпадения ее в осадок интенсивность подачи воздуха составляет

12–24 м<sup>3</sup>/ч на 1 п.м. Интенсивность подачи воздуха для поддержания взвеси во взвешенном состоянии

$$Q_{\text{возд}} = \frac{V^2}{61,2 \cdot H_1}$$

где  $H_1 \approx H$  – глубина расположения барботеров, м;  $V$  – придонная скорость потока;  $V = K \cdot U_o^{0,5}$ , см/с;  $K$  – эмпирический коэффициент: для структурных взвесей;  $K = 10$ –11; для хлопьевидных  $K = 5$ –6;  $U_o$  – гидравлическая крупность частиц взвеси, мм/с. При установке усреднителей после песколовок или отстойников соответственно  $U_o = 18$ –20 мм/с и 0,2–0,3 мм/с. Диаметр перфораций в барботере принимается 5 мм с расстоянием между ними 30–60 мм и отверстия располагаются в нижней его половине. Союзводоканалпроект разработал типовые проекты многосекционных пневматических усреднителей концентрации сточных вод полезным объемом одной секции 300, 1400 и 5000 м<sup>3</sup>.

Применение усреднителей барботажного типа связано с соблюдением ряда принципиальных положений:

- Распределение сточных вод по площади усреднителя должно быть максимально равномерное.
- Число распределительных лотков и размещение выпускных окон в одной или обеих стенках лотков принимается из такого расчета, чтобы в каждый циркуляционный поток поступало одинаковое количество жидкости.
- При напорной подаче воды на усреднитель перед ним на трубопроводе необходимо устанавливать колодец гашения напора. Целесообразнее самотечная подача стоков на усреднитель. В этом случае сооружение несет на себе всю нагрузку по выравниванию расхода и концентрации.

С целью обеспечения равномерного распределения жидкости и воздуха вдоль усреднителя целесообразна длина секции не более 24 м. Глубина слоя воды в усреднителе из конструктивных соображений принимается в пределах 3–6 м. Ширина секции усреднителя принимается не более 12 м.

В качестве барботеров в усреднителе рекомендуется использовать перфорированные трубы с отверстиями диаметром 3 мм (шаг 8–16 см), располагаемыми в нижней части трубы в один или два ряда под углом 45° к оси трубы. Трубы укладываются горизонтально вдоль резервуара на подставках высотой 6–10 см. Допустимое отклонение от горизонтальной укладки труб барботеров не должно превышать ±0,015 м так, чтобы связанная с этим неравномерность подачи воздуха по длине барботера не превысила одной трети от принятой в расчете неравномерности подачи воздуха (20 % среднего расхода воздуха). Барботеры подразделяют на пристеночные, создающие один циркуляционный поток, и промежуточные, создающие два циркуляционных потока. Оптимальное расстояние между барботерами следует считать (2–3)  $H$ , а между барботерами и параллельной ему стеной усреднителя (1–1,5)  $H$ , где  $H$  – глубина погружения барботера. В зависимости от характеристик стоков в цеховых каналах, на выпусках из промышленных зданий или перед резервуаром – усреднителем необходимо предусматривать решетки для сбора волокон, шерсти, тряпок и других отходов производства.

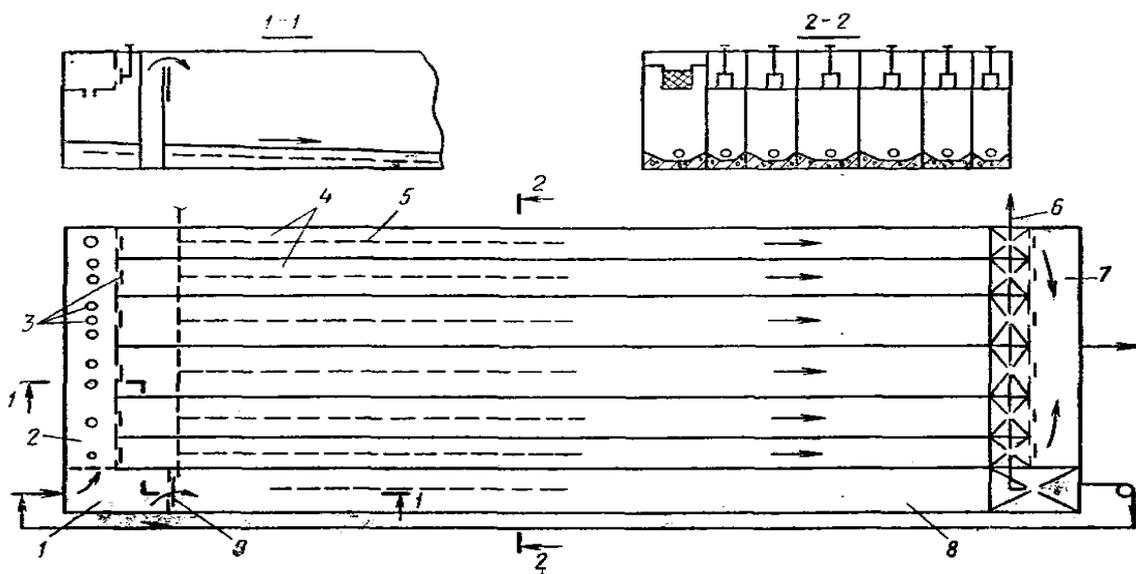


Рис. 44. Схема многоканального усреднителя: 1 – приемная камера; 2 – распределительный лоток; 3 – донные выпуски и боковой водослив с шибером; 4 – каналы; 5 – система гидросмыва; 6 – удаление осадка гидроэлеваторами; 7 – камера усредненных стоков; 8 – аккумулирующая емкость; 9 – водослив.

Целесообразно по ходу технологических линий на определенных производствах устанавливать шерстеуловители. Перспективным типом усреднителя для большого числа объектов, например, легкой промышленности, является многоканальный усреднитель, схема которого разработана во ВНИИВОДГЕО, с оптимальным распределением сточных вод по коридорам разной ширины. Конструкция, представленная на рис. 44, состоит из приемной камеры, распределительного лотка, каналов усреднителя, камеры усредненных стоков аккумулирующей емкости. Сточная вода попадает в приемную камеру, оборудованную полупогружной доской для гашения волновых колебаний на поверхности, откуда поступает в распределительный лоток. При превышении величины среднего расхода сточных вод избыточное количество воды переливается в аккумулирующую емкость через регулируемый водослив.

Усреднение колебаний концентрации загрязнений в поступающих сточных водах осуществляется за счет различного времени пребывания потока в каждом из каналов.

Распределение сточных вод по каналам усреднителя осуществляется через донные выпуски расчетного диаметра.

Усреднение расхода сточных вод может быть обеспечено конструктивно путем устройства системы отбора постоянного расхода с помощью насосов, и не зависеть от продолжительности усреднения (рис. 45).

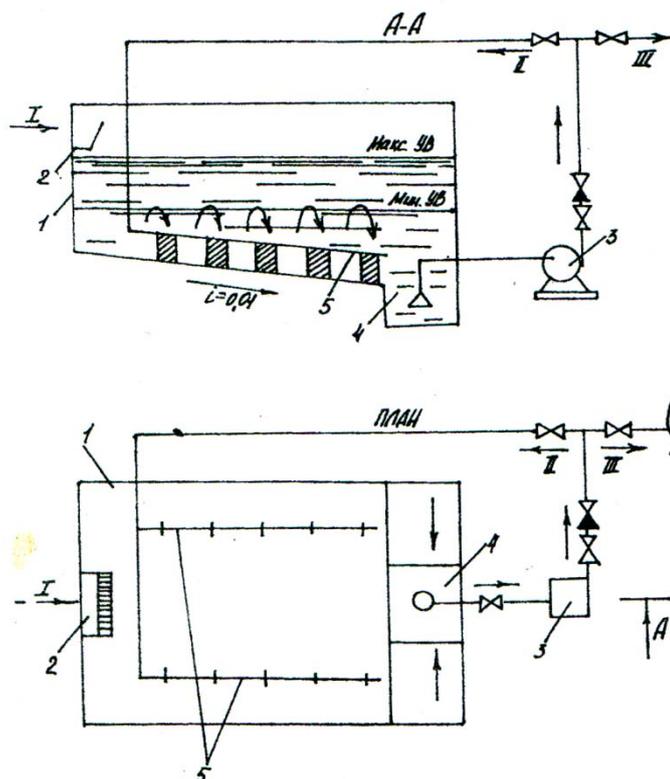


Рис. 45. Усреднители с перемешиванием сточных вод обратным током жидкости: I – поступающая сточная вода; II – возвратная сточная вода на перемешивание; III – усредненная сточная вода: 1 – резервуар – усреднитель; 2 – решетки с ручной очисткой; 3 – насос; 4 – прямок; 5 – барабаны

Тип усреднителя необходимо выбирать в зависимости от характера и количества нерастворенных компонентов загрязнений, а также динамики поступления сточных вод. При гашении залповых сбросов предпочтительнее конструкции многоканального типа, при произвольных колебаниях – практически равноценны любые типы усреднителей. В таких случаях большую роль играют вид и количество нерастворенных загрязнений.

К многоканальным конструкциям относятся: прямоугольные – Д. М. Ванякина, круглые – Д. А. Шпилева, конструкции с неравномерным распределением расхода и объемов по каналам.

Усреднитель–смеситель барботажного типа следует применять для усреднения стоков независимо от режима их поступления при содержании грубодиспергированных взвешенных веществ с концентрацией до 500 мг/л, гидравлической крупностью до 10 мм/с.

Усреднитель–смеситель с механическим перемешиванием и отстойной зоной необходимо применять для усреднения стоков с содержанием взвешенных веществ более 500 мг/л любой гидравлической крупности. Режим поступления стоков – произвольный.

## Химические методы очистки производственных сточных вод

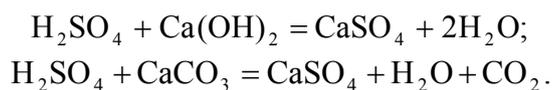
Химическая очистка производственных сточных вод применяется как самостоятельный метод и как метод предварительной обработки сточных вод перед биологической и физико-химической очисткой для удаления растворенных примесей. Может обеспечивать глубокую очистку производственных сточных вод с целью их дезинфекции, обесцвечивания и извлечения из них различных компонентов. К методам химической очистки относятся: окисление и нейтрализация. Для окисления используют сильные окислители: хлор (Cl), перманганат калия (KMnO<sub>4</sub>), озон (O<sub>3</sub>) и др. Для нейтрализации кислот чаще всего применяют подщелачивание известью. Для нейтрализации щелочи применяют подкисление, обычно соляной или серной кислотой. Могут быть использованы и другие реагенты.

**Нейтрализация сточных вод.** Производственные сточные воды от технологических процессов многих отраслей промышленности содержат щелочи и кислоты, а также соли тяжелых металлов. Для предупреждения коррозии материалов канализационных очистных сооружений, нарушения биохимических процессов в биологических окислителях и в водоемах, а также для осаждения из сточных вод солей тяжелых металлов кислые и щелочные стоки подвергают нейтрализации.

Реакция нейтрализации – это химическая реакция между веществом, имеющим свойство кислоты, и веществом, имеющим свойство основания, приводящая к потере характерных свойств обоих соединений; наиболее типичная реакция нейтрализации в водных растворах происходит между гидратированными ионами водорода и ионами гидроксила, содержащимися соответственно в сильных кислотах и основаниях:



В результате концентрация каждого из этих ионов становится равной той, которая свойственна самой воде (около  $10^{-7}$ ), т. е. активная реакция водной среды приближается к рН=7. Наиболее часто сточные воды загрязнены минеральными кислотами: серной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, азотной HNO<sub>3</sub>, соляной HCl, а также их смесями. В практике химической очистки применяются следующие способы нейтрализации: а) взаимная нейтрализация кислых и щелочных сточных вод; б) нейтрализация реагентами (растворы кислот, негашенная известь Ca(OH)<sub>2</sub> и др.); в) фильтрование через нейтрализующие материалы (известняк, доломит, магнезит, мел). Нейтрализация сточных вод, содержащих серную кислоту в зависимости от применяемого реагента протекает по уравнениям:



Образующийся в результате нейтрализации сульфат кальция (гипс) кристаллизуется из разбавленных растворов в виде CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O. Растворимость гипса в интервале температур от 0 до 40°C колеблется от 1,76 до 2,11 г/л. При более высокой концентрации сульфат кальция выпадает в осадок. Дозу реагента для обработки сточных вод определяют из условия полной нейтрализации содержащихся в них ки-

слот или щелочей и принимают на 10 % больше расчетной. В кислых и щелочных производственных сточных водах присутствуют ионы металлов, то дозу реагента следует определять также с учетом выделения в осадок солей тяжелых металлов. Реагентов  $G$ , кг, для нейтрализации определяем по формуле:

$$G = K_3 Q a A \cdot 100 / B,$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса расхода реагента по сравнению с теоретическим (для известкового молока равен 1,1, для известкового теста и сухой извести – 1,5);  $Q$  – количество сточных вод, подлежащих нейтрализации, м<sup>3</sup>;  $a$  – расход реагента на нейтрализацию  $A$  – концентрация кислоты или щелочи, кг/м<sup>3</sup>;  $B$  – количество активной части в товарном продукте, %.

При нейтрализации кислых стоков, содержащих соли тяжелых металлов, количество реагента

$$G = K_3 Q (aA + b_1 C_1 + b_2 C_2 + \dots + b_n C_n) 100 / B,$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – концентрация металлов в сточных водах, кг/м<sup>3</sup>;  $b_1, b_2, \dots, b_n$  – количество реагента, требуемое для перевода металлов из растворенного состояния в осадок.

Процессы реагентной нейтрализации производственных сточных вод осуществляется на нейтрализационных установках или станциях, в состав которых входят: песколовки, резервуары – усреднители, склады нейтрализующих реагентов, растворные баки для приготовления рабочих растворов реагентов, смесители сточных вод с реагентами, камеры реакции (нейтрализаторы), отстойники для нейтрализованных сточных вод, осадкоуплотнители (перед механическим обезвоживанием образующихся осадков), сооружения для механического обезвоживания осадков, а при их отсутствии – шламовые площадки, места для складирования обезвоженных осадков, устройства химического контроля за процессом нейтрализации.

Нейтрализация методом фильтрации применяется при небольших расходах сточных вод. Осуществляется пропуском сточной воды через фильтрационную загрузку, состоящую из кусков мела, известняка, доломита, мрамора. Крупность загрузки 1–3 (до 8) см.

В процессе работы фильтра крупность материала уменьшается. Через некоторое время загрузка заменяется. Для облегчения этого процесса загрузка устанавливается в специальных кассетах.

Фильтры бывают вертикальные (рис. 46) и горизонтальные. В вертикальных фильтрах фильтрация происходит сверху вниз:

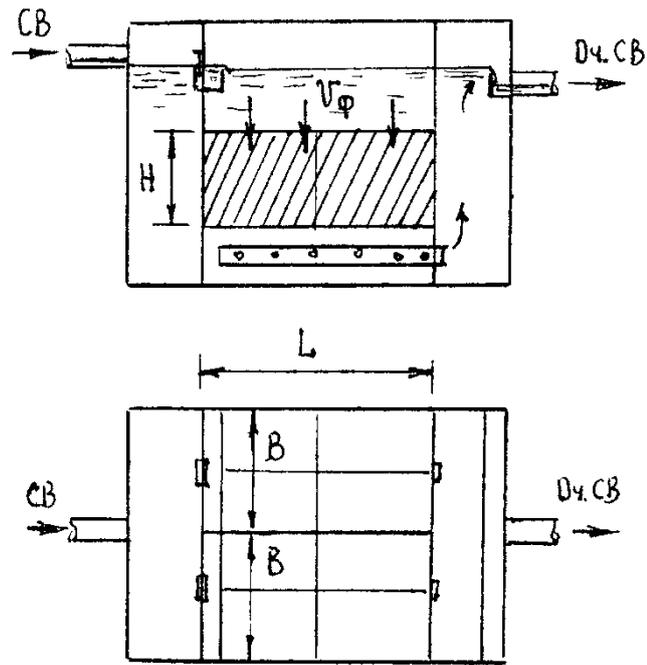


Рис. 46. Схема вертикального фильтра нейтрализатора

В горизонтальных фильтрах–нейтрализаторах сточные воды в фильтрующем слое движется в горизонтальной плоскости (рис. 44).

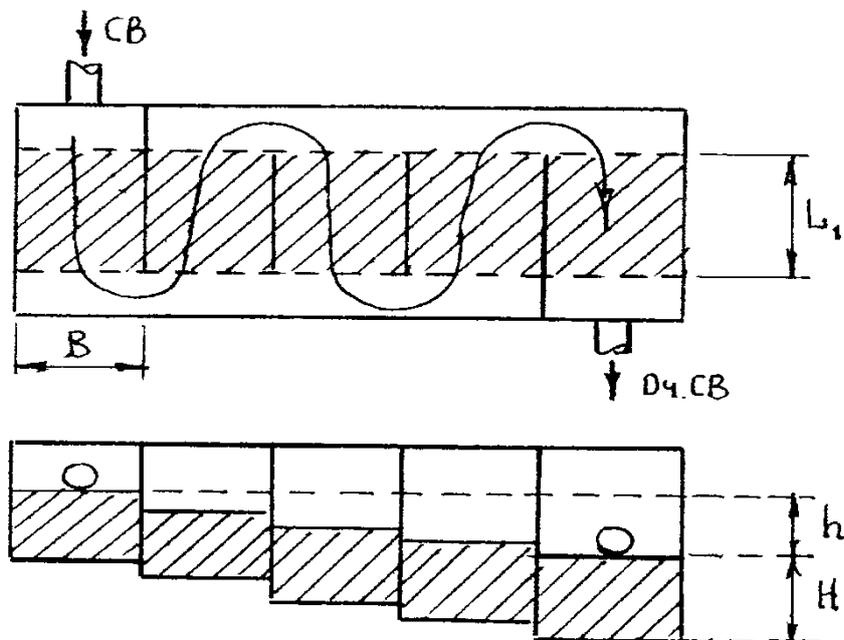
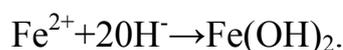


Рис. 47 Схема горизонтального фильтра–нейтрализатора.

Нейтрализация методом фильтрации применяется чаще всего для сильных кислот (HCl, HNO<sub>3</sub>), которые дают хорошо растворимые в воде соли. Для нейтрализации серной кислоты (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) такие фильтры применимы при  $C_{cp} \leq 5$  г/л, т.к. при большей концентрации  $C_{cp}$  происходит отложение гипса в загрузке и уменьшение фильтрующей способности фильтра.

Изменение pH в объеме раствора происходит за счет электродных процессов. При электрокорректировании pH в прикатодном слое происходит подщелачивание электролита при разряде на катоде ионов или молекул воды, в прианодном слое раствора – подкисление среды за счет разряда ионов OH<sup>-</sup> или молекул воды на поверхности анода.

Если катодный или анодный процесс исключает разряд молекул воды, то происходит накопление только ионов H<sup>+</sup> или OH<sup>-</sup>. Так, например, при анодном растворении железа, характеризующемся образованием ионов Fe<sup>2+</sup> и переходом их в раствор, происходит только подщелачивание. Однако подщелачивание раствора ограничено из-за протекания реакций гидролиза с образованием малорастворимого соединения:



Аналогично при разряде на катоде вместо молекул воды других ионов, например меди, золота и т. д., будет происходить подкисление раствора.

Толщина приэлектродных слоев с резко выраженными кислотно-основными свойствами составляет 100–500 мкм. Концентрация ионов H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> соответственно составляет 1–10 и 10<sup>13</sup>–10<sup>14</sup> г-ион/л.

Из прикатодного или прианодного слоя ионы OH<sup>-</sup> и H<sup>+</sup> мигрируют в объем раствора за счет диффузии или конвекции, а также транспорта этих ионов в электрическом поле, участвующих в переносе тока. Так как продукты анодной и катодной реакций образуются в эквивалентном количестве, то при миграции этих ионов в объеме раствора происходит их химическое взаимодействие с образованием вновь молекул H<sub>2</sub>O в соответствии с ионным равновесием воды.

В результате этого процесса активная реакция среды становится нейтральной или не отличается от первоначальной. Поэтому при необходимости изменения кислотно-основных свойств раствора стремятся подавить транспорт ионов H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> в объеме обрабатываемой жидкости. Это осуществляется путем разделения продуктов анодной и катодной реакций инертными или ионообменными диафрагмами, снижением чисел переноса ионов H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> за счет повышения концентрации индифферентных ионов-переносчиков тока (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и др.).

Однако во всех случаях следует учитывать, что числа переноса ионов H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> непрерывно растут по мере накопления кислотности и щелочности раствора, что ограничивает рост величины pH из-за переноса ионов в противоположные камеры и их разряда на электродах или из-за химического взаимодействия с образованием молекул воды. Выход по току кислотности (щелочности) в этом случае резко падает и в значительной степени зависит от концентрации индифферентных ионов в растворе.

Диффузия и конвекция между камерами в диафрагменных электролизерах практически подавлена при отсутствии перепада уровней воды в камерах. В бездиафрагменных аппаратах толщина приэлектродных слоев и степень изменения pH в приэлектродном пространстве определяется градиентом концентрации и интенсивностью перемешивания жидкости. Даже при отсутствии механического перемешивания последнее осуществляется за счет выделения электролитических газов на электродах и увлечения с ними приэлектродных слоев жидкости.

Существенным фактором, тормозящим накопление кислотности (щелочности) в растворе за счет электрохимических реакций, следует считать химические превращения веществ в растворе при их гидролизе. Как уже отмечалось, при гидролизе солей металлов тормозится накопление щелочности, наличие бикарбонатных ионов обеспечивает буферные свойства раствора за счет сдвига углекислого равновесия и т. п.

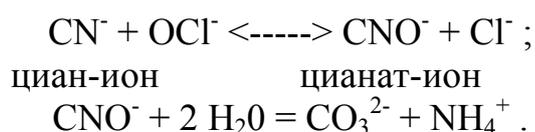
В каждом конкретном случае эти факторы должны быть учтены в зависимости от химического состава исходного раствора.

### **Окислительный метод очистки.**

Химическое окисление применяют тогда, когда нельзя или нецелесообразно извлечь или разрушить загрязнения сточных вод другими способами. Например, для обезвреживания производственных сточных вод, содержащих токсичные примеси (цианиды, комплексные цианиды меди и цинка), а также такие соединения, как сероводород, сульфиды.

В качестве окислителей используют: хлор, гипохлорит кальция и натрия, хлорную известь, диоксид хлора, озон, кислород, а также пероксид водорода, оксиды марганца, перманганат и бихромат калия.

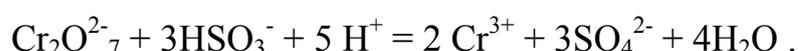
Для очистки цианосодержащих стоков применяют методы окисления гипохлоритом натрия NaOCl или кальция Ca(OCl)<sub>2</sub>.



Окисление CN<sup>-</sup> до CNO<sup>-</sup> происходит в водной среде, в которой CNO<sup>-</sup> разлагается по вышеприведенной реакции. Концентрация раствора реагентов –5 % по активному хлору.

В сточных водах цехов гальванопокрытий содержат ионы Cr<sup>6+</sup>, кислоты и щелочи. Схема очистки СВ гальванических цехов включает три основных блока: для обезвреживания цианосодержащих; хромсодержащих; кислых и щелочных стоков (рис. 45).

Реакция восстановления ядовитого шестивалентного хрома до трехвалентного



Шестивалентный хром восстанавливается до трехвалентного, а затем в щелочной среде выпадает в осадок

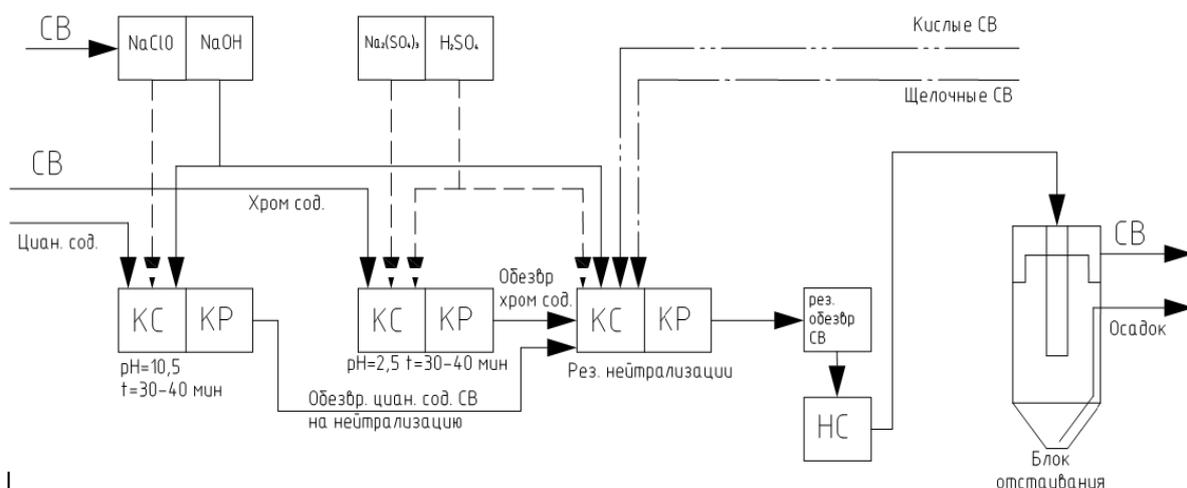
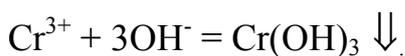


Рис. 48 Схема очистки сточных вод цехов гальванопокрытий: КС – камера смешения; КР – камера реакции; РСВ – резервуар обезвреживания сточных вод

Кислые и щелочные стоки нейтрализуются методом смешения. Для осаждения образующихся гидроокисей предусматривается отстаивание.

**Электрохимическое окисление** основано на электролизе производственных сточных вод; основу электролиза составляют два процесса: анодное окисление и катодное восстановление. На нерастворимых анодах (платина, графит, рутений и др.) выделяется кислород и галогены, а также окисляются некоторые органические вещества СВ. На катоде выделяется газообразный водород и восстанавливаются некоторые органические вещества.

Метод применяется при небольших расходах производственных сточных вод и их высокой концентрации. Недостатки метода: большой расход электроэнергии и расход металла, необходимость очистки электродов и межэлектродного пространства от механических примесей, возможность образования взрывоопасной смеси водород-кислород.

В процессе анодного окисления происходит деструкция органических загрязнений с образованием органических кислот,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . Электрохимическое окисление применяется в различных отраслях промышленности при очистке сточных вод, содержащих фенолы, цианиды, нитросоединения, сульфаты, спирты, красители, толуол и др. Для повышения эффективности процесса добавляется хлорид натрия (5–10 г/л), который увеличивает электропроводность раствора и разлагается на аноде с образованием атомов хлора, участвующих в окислительном процессе. Рекомендуемая плотность тока 30–100А/м<sup>2</sup>.

**Озонирование сточных вод.** Озон является сильным окислителем, применяется для глубокой очистки сточных вод с целью их повторного использования. Озон вступает в реакцию со многими минеральными и органическими соединениями (ПАВ, нефть, фенолы и т.д.). Он чрезвычайно коррозионный и токсичный, поэтому

трубопроводы и оборудование, с которыми он контактирует, выполняются из нержавеющей стали и алюминия, а в помещении, где находятся люди концентрация озона должна быть не более 0,0001 мг/л. Основным способом получения озона – синтез его из воздуха или технического кислорода под воздействием «тихого» электрического разряда при напряжении 10–20 кВ в специальных генераторах озона.

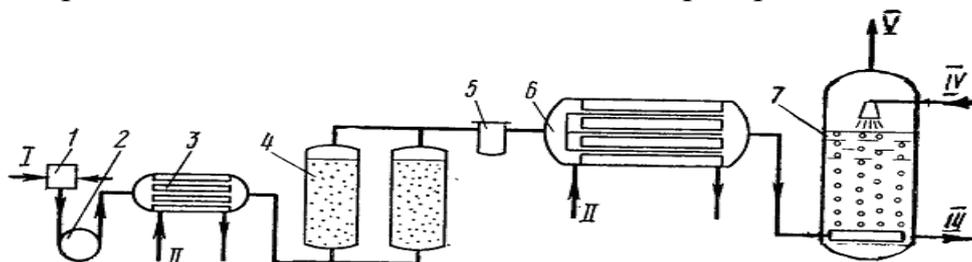


Рис. 49. Схема озонаторной установки: 1–воздушный фильтр; 2–воздуходувка; 3 – теплообменник; 4 – адсорберы; 5 –пылевой фильтр; 6 –генератор озона; 7 – барботажная колонна; 8 – озоно–воздушная смесь; 9 – распыливающие элементы; I –воздух; II –охлаждающая вода; III – выход очищенной воды; IV – вода на очистку; V – выход отработанного газа.

Принципиальная схема озонирования включает (рис.50):

- блок получения озона;
- блок насыщения сточных вод озном.

Основная часть установки – генератор озона, который состоит из корпуса, в нем расположены трубчатые озонирующие элементы из стеклянных электродов со специальным токопроводящим покрытием – электродом высокого напряжения. Под действием электрических разрядов в кольцевом пространстве между концентрически расположенными электродами образуется озон. Концентрация озона в озоно–оздушной смеси 12–17%.

Введение озоно–воздушной смеси в обрабатываемую воду осуществляется:

- барботированием ее через слой воды с применением распыливающих элементов: фильтросов, металлокерамических труб, располагаемых у дна резервуара;
- противоточной абсорбцией в абсорберах с различными насадками (кольцами Рашига, хордовой насадкой и др.);
- с помощью эжекторов и специальных механических смесителей.

При использовании для растворения озона эжекторов от серийных хлораторов давление рабочей воды должно составлять 0,3–0,7 МПа, при этом объемное соотношение газ: вода составляет 1,4 : 1–1 : 2.

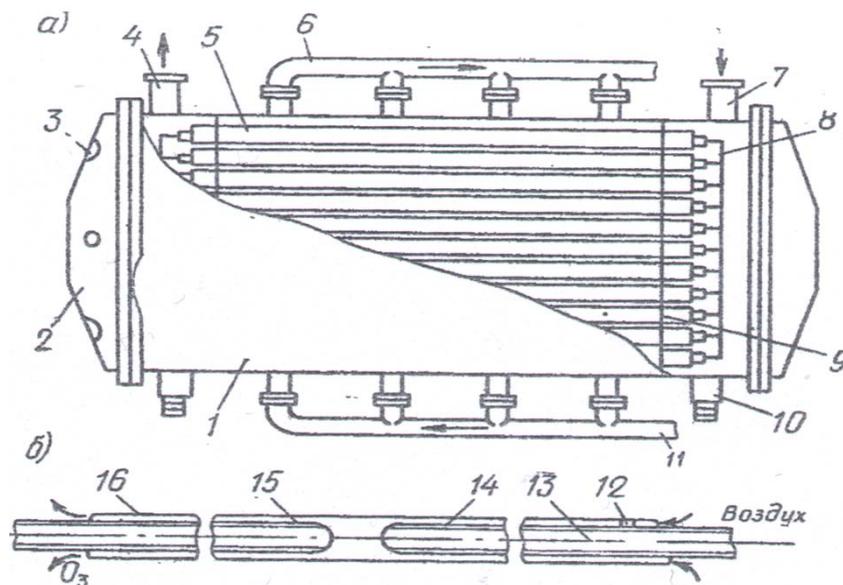


Рис. 50 Принципиальная схема озонатора трубчатого типа большой производительности: *а*—схема озонатора; *б*—схема трубчатого разрядного элемента 1—корпус; 2—крышка; 3—смотровые окна; 4—выход озono-воздушной смеси; 5—трубчатый элемент; 6—отвод охлаждающей воды; 7—подвод осушенного воздуха; 8—электрические контакты; 9—разделительная стенка корпуса; 10—подвод электроэнергии; 11—подвод охлаждающей воды; 12—центрирующая устройство; 13—электрический контакт; 14—высоковольтный электрод — металлизированный слой на внутренней стенке стеклянной трубки; 15—диэлектрик—стеклянная трубка; 16—низковольтный электрод — металлическая трубка.

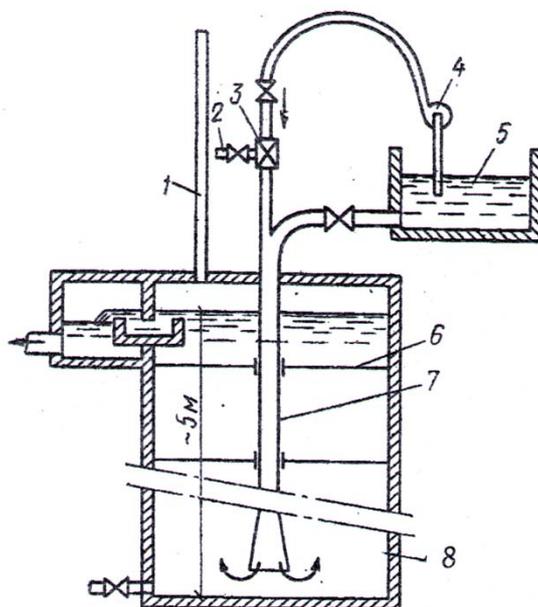


Рис. 51. Технологическая схема введения озона в воду с применением эмульсатора: 1—выброс непрореагировавшего озона; 2—подвод озонозудной смеси; 3—эмульсатор; 4—насос для подачи воды на эмульсатор; 5—вода, подлежащая озонированию; 6—распорки; 7—труба- смеситель; 8— контактная колонна.

При работе водоструйных насосов, применяемых для растворения озона, в них подают либо всю массу обрабатываемой воды, либо часть ее с последующим смешением полученного озонного раствора с остальной массой воды. Воду с компонентами первой группы с применением эмульсатора (низконапорный струйный насос) следует обрабатывать по технологической схеме (рис. 51), при которой озонный раствор из эмульсатора по вертикальной трубе поступает на дно контактной колонны со слоем воды около 5 м. Продолжительность контакта озона с водой в контактной колонне принимают 4 – 6 мин. Напор рабочей воды перед эмульсатором должен быть не менее 392 – 490 ГПа. Объемное соотношение газ: вода составляет не более 1:3.

При обработке сточных вод с компонентами первой группы озоностойкости на установках малой производительности можно применять технологическую схему, разработанную ЦНИИ МПС (рис. 52). Обрабатываемая вода нагнетается насосом в трубчатый змеевик через эжектор, в котором происходит засасывание озонвоздушной смеси из озонатора.

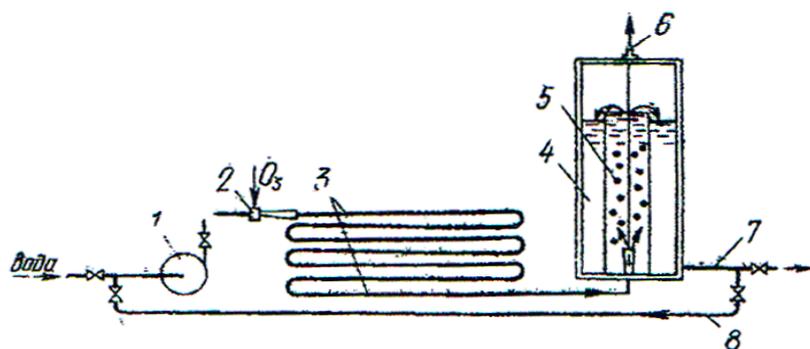


Рис. 52. Технологическая схема введения озона в воду с применением эжектора и змеевика: 1–насос; 2–эжектор; 3–змеевик; 4–воздухоотделитель; 5– контактная камера; 6–выход непрореагировавшего озона; 7–выход озонированной воды; 8–циркуляционный трубопровод.

Диаметр труб змеевика подбирают из расчета, чтобы создать скорость движения воды в нем порядка 1,2–1,5 м/с при длине трубопровода 15–25 м. Напор насоса должен быть 0,3–0,4 МПа. При этом необходимо, чтобы объемное соотношение газ: вода составляло 1 : 2–1 : 1,5. Объем воздухоотделителя принимают равным получасовому расходу воды. Скорость нисходящего потока воды в воздухоотделителе должна быть 0,01–0,02 м/с. Коэффициент использования озона при растворении его струйными насосами колеблется в пределах 0,75–0,95.

Наиболее перспективными для станций малой и средней производительности (до 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут) являются механические смесители с дисковыми турбинами открытого типа и автономным подводом озон–воздушной смеси под лопасти турбины (рис. 50).

В плане смесители можно принимать квадратной или круглой формы с отражательными перегородками. Отношение стороны основания к высоте слоя воды в смесителе следует принимать 1 : 1—1 : 1,5, а отношение диаметра диска турбины к стороне основания – 1 : 3 – 1 : 5.

Для озонирования сточных вод с большой концентрацией загрязнений применяют несколько последовательно работающих механических смесителей.

Общий объем механических смесителей определяют исходя из расхода озонируемой воды и требуемой продолжительности озонирования.

Ориентировочно время контакта для легко взаимодействующих с озоном веществ 0,25–1 мин, умеренно взаимодействующих 0,5–2 мин, трудно взаимодействующих – 3 мин.

В смесителях данного типа коэффициент использования озона составляет 0,9–0,95.

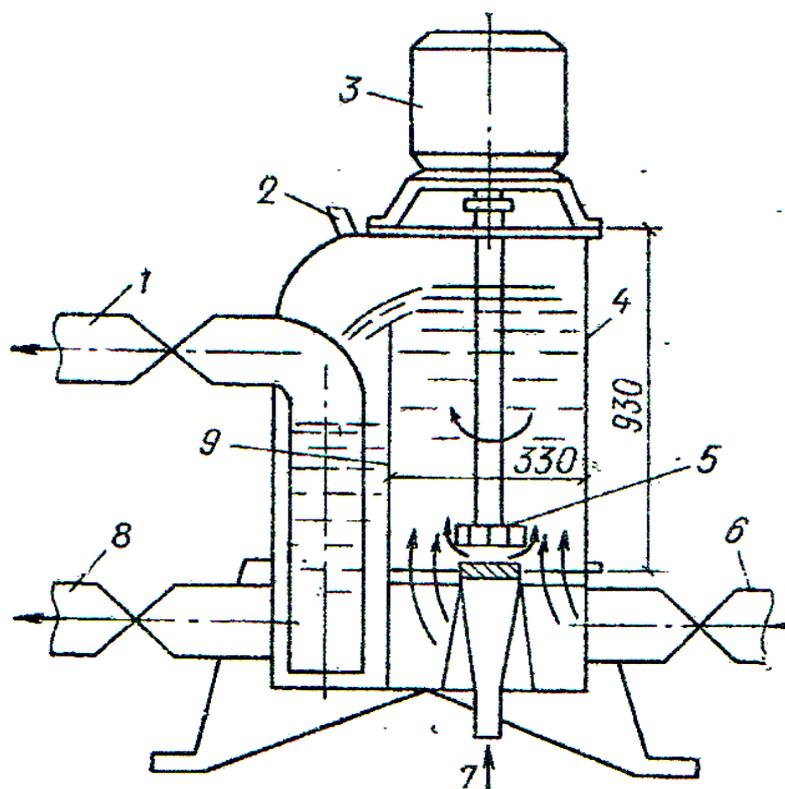


Рис. 53 Механический смеситель турбинного типа: 1–аварийный перелив воды; 2–выход непрореагировавшего озона; 3–трехслойный электродвигатель; 4–корпус смесителя; 5–турбина; 6–подвод воды; 7–подвод озоновоздушной смеси; 8–отвод озонированной воды; 9–переливная стенка.

С целью более полного использования озона применяют многоступенчатое (многократное) озонирование (рис. 54 и 55).

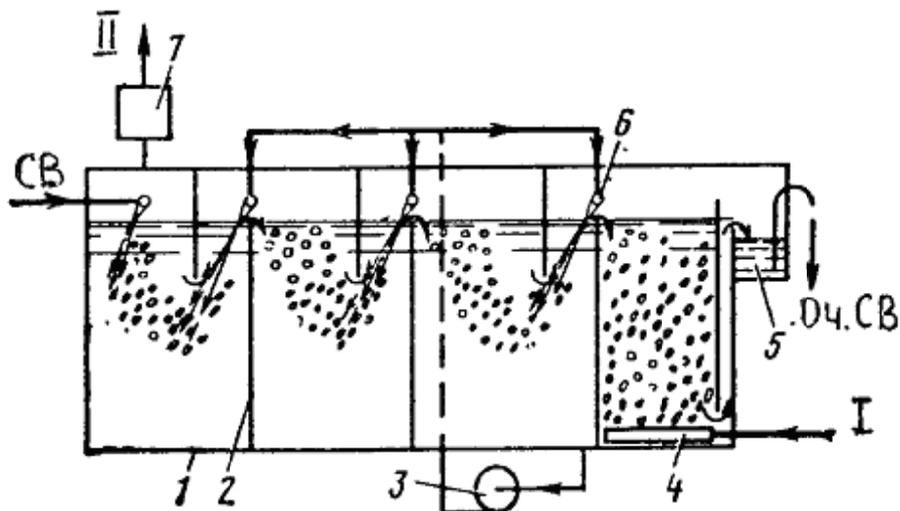


Рис. 54 Струйный смеситель: 1 – резервуар; 2 - перегородки; 3 – рециркуляционный насос; 4 – пористый распылитель; 5 – водосборный карман; 6 – сопло; 7 – пеноотделитель; I – озонированный воздух; II – отработанный воздух.

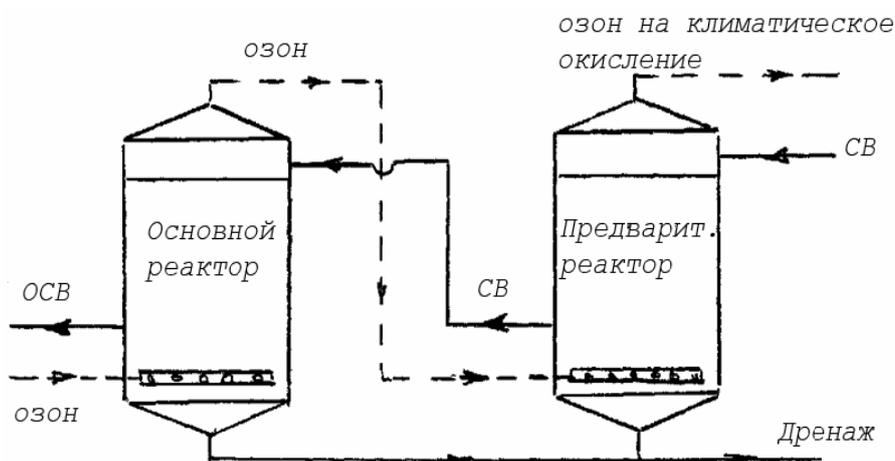


Рис. 55 Схема озонирования при двух последовательно работающих реакторах.

Для станций большой производительности при обработке веществ второй и третьей групп озоностойкости целесообразно применять барботажное перемешивание, для станций малой и средней производительности и веществ любой озоностойкости могут быть рекомендованы механические турбинные смесители; для станций малой производительности при обработке веществ первой группы озоностойкости – водоструйные насосы и эжекторы.

Барботажные камеры в зависимости от расхода обрабатываемой воды и требуемой продолжительности озонирования выполняют в виде колонн или прямоугольных закрытых резервуаров (одного или нескольких). Объем резервуаров определяют из расчета обеспечения требуемой продолжительности контакта воды с озоном. Оптимальная высота слоя воды при барботаже составляет 4–5 м.

Резервуары большого объема делят на несколько секций (обычно не более четырех) вертикальными перегородками, чтобы рассредоточить подачу дозы озона во времени, создать на отдельных участках противоточное движение воды и озоноздушной смеси, увеличить протяженность движения воды, ликвидировать застой-

ные зоны. В каждой секции предусматривают устройства для измерения и регулирования расхода воды и озона – воздушной смеси, стабилизации уровня воды и аварийного сброса.

Распределение озонозудушной смеси в секциях в зависимости от озоностойкости окисляемых компонентов и озонотпоглощаемости воды составляет 50–70% в первой по ходу воды и по 15–25% – в последующих секциях. Озонозудушную смесь в массе воды распределяют с помощью фильтросных труб, располагаемых у дна резервуара. Расчет фильтрующих элементов для озонозудушной смеси выполняют по формулам расчета аэрационной системы аэротенков. Коэффициент использования озона при барботаже в современных конструкциях равен 0,85–0,9.

Для односекционных контактных резервуаров коэффициент принимают 0,82, для четырех секционных – 0,9. Не прореагировавший озон, скапливающийся между поверхностью воды и перекрытием резервуаров, отсасывают вентилятором для подачи в специальные рекуперационные турбины на повторное использование, затем сбрасывают в атмосферу через вытяжную трубу, разбавив атмосферным воздухом, или через устройства для каталитического разложения озона. Затраты электроэнергии на растворение 1 кг озона данным способом составляют 35–38 кВт·ч.

### **Контрольные вопросы**

1. Почему необходимо усреднять концентрации загрязнений и расход сточных вод?
2. Какие типы конструкций усреднителей применяются и от чего зависит их выбор?
3. На каком принципе основана работа многокоридорных усреднителей?
4. Когда применяют усреднители с механическим перемешиванием и как при этом обеспечивается усреднение?
5. Какие известны усреднители периодического действия?
6. Какие необходимо соблюдать условия при использовании усреднителей барботажного типа?
7. Что используют в качестве барботеров в усреднителе и какие типы их известны?
8. Как можно обеспечить усреднение расхода сточных вод независимо от его продолжительности?
9. Что представляют собой буферные резервуары и на какое время пребывания рассчитывается их вместимость?
10. Какие преимущества характерны для усреднителя расхода и концентрации загрязнений?
11. Назначение химической очистки производственных сточных вод
12. Что относится к методам химической очистки?
13. Сущность реакции нейтрализации, способы нейтрализации.
14. Нейтрализация сточных вод реагентным методом.
15. Составить уравнение химической реакции нейтрализации сточных вод, содержащих кислоты.

16. По какой формуле можно рассчитать количество реагентов необходимых для нейтрализации кислот?
17. По какой формуле рассчитывают количество реагентов, необходимых для нейтрализации кислых стоков, содержащих соли тяжелых металлов?
18. Какие сооружения входят в состав установок для нейтрализации производственных сточных вод реагентным методом?
19. Когда применяется фильтрационный способ нейтрализации сточных вод и какие схемы установок известны?
20. Что учитывается при расчете горизонтальных фильтров–нейтрализаторов?
21. Что происходит в прикатодном слое при электрокорректировании pH?
22. Основные методы химической очистки промышленных сточных вод.
23. Химическое окисление, его сущность, область применения.
24. Что используют в качестве окислителей?
25. Написать химические уравнения процесса окисления для обезвреживания цианосодержащих сточных вод.
26. Составить уравнение химической реакции восстановления шестивалентного хрома до трехвалентного и его осаждения.
27. На чем основано электрохимическое окисление и когда применяется данный метод?
28. Озонирование. Схема установки.
29. Какие способы известны для введения озона – воздушной смеси в обрабатываемую воду?

## **ЛЕКЦИЯ 5. Физико-химическая очистка производственных сточных вод. Коагуляция. Флокуляция. Интенсификация процесса коагуляции. Электрохимическое коагулирование**

### **Физико-химическая очистка производственных сточных вод**

Физико-химические методы позволяют удалять примеси дисперсность которых от  $1 \cdot 10^{-2}$  см до  $1 \cdot 10^{-7}$  см и менее, и играют значительную роль при очистке производственных сточных вод. Они применяются как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, химическими и биологическими методами. К физико-химическим методам очистки относятся коагуляция, флокуляция, сорбция, флотация, экстракция, ионный обмен, гиперфильтрация, диализ, эвапорация, кристаллизация, магнитная обработка и др., а также методы, связанные с наложением электрического поля: лектрокоагуляция, электрофлотация.

Методы коагуляции широко распространены для очистки сточных вод предприятий химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, легкой, текстильной промышленности и др.

Эффективность очистки зависит от вида и концентрации коллоидных частиц, степени дисперсности, наличия в сточной воде электролитов и других примесей, величины электрокинетического потенциала. Коагуляцией примесей воды является процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частиц дисперсной системы, проис-

ходящий в результате взаимодействия и объединения в агрегаты, с последующим их отделением при осаждении.

Сточная вода является гетерофазной системой, в которой коллоидные частицы являются дисперсной фазой, а вода – дисперсной средой.

Коллоидные частицы представляют собой совокупность большого числа молекул вещества, содержащегося в воде в диспергированном состоянии и постоянно находящегося в броуновском движении. Обладая большой удельной поверхностью, коллоидные частицы адсорбируют находящиеся в воде ионы, при этом все частицы данного коллоида сорбируют преимущественно ионы одного знака, сильно понижающие свободную поверхностную энергию коллоидных частиц. Ионы, непосредственно прилегающие к ядру, образуют слой поверхностно-ядерных ионов или так называемый адсорбционный слой. В этом слое может находиться также небольшое количество противоположно заряженных ионов (противоионов), суммарный заряд которых не компенсирует заряда поверхностно-ядерных ионов. Так как на границе адсорбционного слоя создается электрический заряд, вокруг гранулы (ядра с адсорбционным слоем) создается диффузный слой, в котором находятся остальные противоионы, компенсирующие заряд гранул.

Гранула вместе с диффузным слоем называется мицеллой. Потенциал на границе ядра – термодинамический потенциал ( $\Sigma$  – потенциал) равен сумме зарядов, находящихся в адсорбционном слое противоионов. Потенциал на границе адсорбционного слоя называется электрокинетическим потенциалом или дзета – потенциалом ( $\xi$  – потенциал).

На рис. 56 представлена схема строения мицеллы золя  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , полученного вследствие гидролиза  $\text{FeCl}_3$ . Частицы коллоидов находятся в воде под действием диффузионных сил, обусловленных броуновским движением, под их влиянием частицы стремятся равномерно распределиться во всем объеме жидкости. При достаточно малых размерах коллоидных частиц силы диффузии преобладают над силами тяжести и частицы остаются во взвешенном состоянии, даже если удельный вес вещества коллоида больше единицы. Для того чтобы произошло осаждение этих частиц, необходимо их укрупнение за счет слипания.

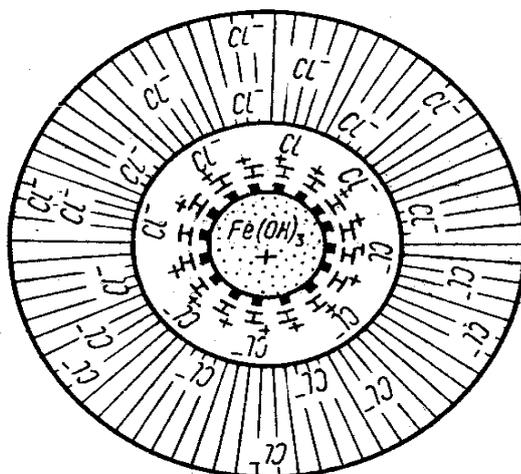


Рис. 56 Схематическое изображение мицеллы золя гидроксида железа (II) с положительно заряженной частичкой

Наличие у частиц электрических зарядов одного знака вызывает их взаимное отталкивание, мешает слипанию частиц. Одновременно между коллоидными частицами имеются молекулярные силы взаимного притяжения – силы Ван-дер-Ваальса. Силы притяжения между частицами проявляются лишь при небольшом расстоянии между ними и быстро убывают при увеличении расстояния между частицами. Для того чтобы начали действовать как силы взаимного отталкивания, так и силы притяжения между частицами, нужно, чтобы частицы под влиянием кинетических факторов – броуновского движения или перемешивания – начали сближаться. По мере сближения частиц возрастают обе силы – и отталкивания, и притяжения, но вначале силы отталкивания больше сил притяжения, поэтому результирующим является отталкивание, которое достигает максимума при определенном расстоянии между частицами. Если частицы под влиянием кинетической энергии своего движения преодолели этот «силовой барьер», то резко усиливаются силы притяжения и частицы слипаются. Необходимость большой кинетической энергии частиц для преодоления сил отталкивания снижает вероятность коагуляции коллоида, и коллоидная система сохраняет агрегативную устойчивость. При снижении электрического заряда, т. е. при уменьшении  $\xi$ -потенциала, силы отталкивания уменьшаются и частицы слипаются. Для того чтобы силы взаимного притяжения между коллоидными частицами могли преобладать над электрическими силами отталкивания,  $\xi$  – потенциал должен быть меньше 0,03 в, с максимальной интенсивностью идет коагуляция, когда  $\xi$  – потенциал станет равным нулю.

Состояние коллоидной системы при  $\xi=0$  носит название изоэлектрического состояния, а величина рН, отвечающая этому состоянию, называется изоэлектрической точкой системы. Одним из методов снижения  $\xi$  – потенциала коллоидной системы является увеличение концентрации в воде электролита. При этом возрастает концентрация в растворе противоионов и все больше их количество переходит из диффузного слоя в адсорбционный слой коллоидных частиц, толщина диффузного слоя уменьшается. Противоионы, переходящие из диффузного слоя в адсорбционный, нейтрализуют заряд гранулы и понижают  $\xi$  – потенциал коллоидных частиц. Способность электролита вызывать коагуляцию коллоидной системы возрастает с увеличением валентности коагулирующего иона, обладающего зарядом, противоположным заряду коллоидных частиц.

Следует отметить, что для положительно заряженных коллоидов коагулирующими ионами являются анионы, а для отрицательно заряженных коллоидов – катионы. Коллоиды гидроокисей металлов имеют преимущественно положительные заряды, и их коагуляцию можно проводить под влиянием анионов, предпочтительно многовалентных. При коагуляции коллоида путем добавления к раствору электролита происходит постепенное снижение  $\xi$  – потенциала, иногда до  $\xi=0$ . Однако, дальнейшее увеличение концентрации в растворе электролита может вызвать перезарядку коллоидных частиц, при этом заряд их может измениться на противоположный, а величина  $\xi$  – потенциала начинает увеличиваться, т.е. устойчивость золь коллоида возрастает.

При проведении процесса коагуляции чрезмерное увеличение дозы добавляемого реагента может ухудшить коагуляцию. Коагуляцию коллоидов, загряз-

няющих воду, можно вызвать добавлением другого коллоида, частицы которого имеют знак электрического заряда, противоположный заряду загрязняющих частиц. При этом происходит взаимная нейтрализация сталкивающихся между собой разноименно заряженных частиц взвеси и коллоида добавленного реагента, приводящая к слипанию частиц, их укрупнению и осаждению.

Используемые в технологии очистки воды коагулянты чаще всего являются солями слабых оснований и сильных кислот ( $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$  и др.). При растворении они гидролизуют. Взаимодействуя с гидроксильными ионами, содержащимися в воде, в результате электролитической диссоциации последней эти соли образуют малорастворимые основания. В воде накапливаются ионы водорода, и раствор приобретает кислую реакцию. Гидролиз соли слабого основания и сильной кислоты протекает по уравнению



или в ионной форме



где  $Me^{n+}$  – катион;  $A^-$  – анион соли.

Скорость гидролиза можно описать уравнением

$$V = k_r [Me^{n+}] [H_2O].$$

где  $k_r$  – константа гидролиза;  $[Me^{n+}]$  – концентрация катионов в растворе коагулянта;  $[H_2O]$  – концентрация воды в растворе.

Из уравнения следует, что скорость гидролиза пропорциональна концентрации катионов коагулянта. Поскольку применяющиеся концентрации растворов коагулянта незначительны, можно считать, что скорость гидролиза коагулянта прямо пропорциональна его концентрации (или его дозе), введенной в воду. С повышением температуры на каждые 10 градусов скорость гидролиза, как и большинства химических реакций, возрастает примерно в 2–4 раза (правило Вант-Гоффа).

Константу гидролиза можно вычислить по уравнению

$$k_r = \frac{[Me(OH)_n][H^+]^n}{[Me^{n+}]} = k[H_2O]^n.$$

Необходимым условием для более полного протекания гидролиза является удаление из сферы реакции образующихся  $Fe(OH)_3$  или  $Al(OH)_3$ , а также связывание ионов  $H^+$  в малодиссоциированные молекулы. Гидролиз усиливается с разбавлением коагулянта.

Более полному гидролизу подвержены коагулянты, образующие гидроксиды с меньшей константой диссоциации (величиной, характеризующей способность электролитов диссоциировать на ионы) или меньшим произведением растворимости (табл. 2).

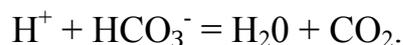
Растворимость гидроксидов некоторых металлов (при  $t = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Гидроксид	Произведение растворимости	Растворимость	
		м моль/л	г/100 мл $\text{H}_2\text{O}$
$\text{Al}(\text{OH})_3$	$1,9 \cdot 10^{-33}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$2,26 \cdot 10^{-8}$
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$6,3 \cdot 10^{-16}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$4,40 \cdot 10^{-5}$
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$3,8 \cdot 10^{-38}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$2,13 \cdot 10^{-9}$

Приведенные в табл. 2 данные показывают, что гидролиз солей железа (III) должен протекать полнее, чем солей алюминия, и значительно полнее, чем солей железа (II).

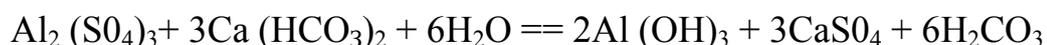
Как следует из уравнения, с увеличением степени гидролиза pH раствора должно уменьшаться. Любое повышение pH раствора обеспечивает полный гидролиз введенного в воду коагулянта.

Для быстрого и полного гидролиза коагулянтов необходим некоторый щелочной резерв воды, т. е. наличие в ней определенного количества ионов  $\text{HCO}_3^-$ , которые связывают ионы водорода, выделяющиеся при гидролизе:



Благодаря наличию в воде буферной системы  $\text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{CO}_3$  с pH, близким к 7, pH воды при гидролизе коагулянтов в большинстве случаев изменяется незначительно.

По уравнению гидролиза коагулянтов можно вычислить концентрацию ионов  $\text{HCO}_3^-$ , необходимую для нейтрализации кислоты, образующейся при гидролизе определенной дозы коагулянта. Из суммарной реакции гидролиза  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в присутствии ионов  $\text{HCO}_3^-$

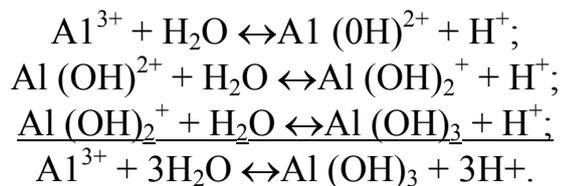


следует, что на каждые 342 мг  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  расходуется 6 мг-экв  $\text{HCO}_3^-$ .

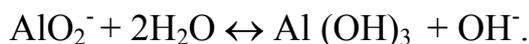
В тех случаях, когда концентрация ионов  $\text{HCO}_3^-$ , содержащихся в воде, недостаточна для полного гидролиза коагулянта, щелочность воды повышают введением известкового молока или раствора кальцинированной соды. В первом случае эффект подщелачивания объясняется связыванием ионов  $\text{H}^+$  ионами  $\text{OH}^-$  извести, во втором – связыванием ионов  $\text{H}^+$  ионами  $\text{HCO}_3^-$ .

Зная щелочность обрабатываемой воды и дозу введенного коагулянта, можно вычислить количество (дозу) извести или соды, необходимое для гидролиза и обеспечения резервной остаточной щелочности, равной 1 мг-экв/л

Гидролиз солей алюминия, используемых в качестве коагулянтов, протекает в несколько стадий:



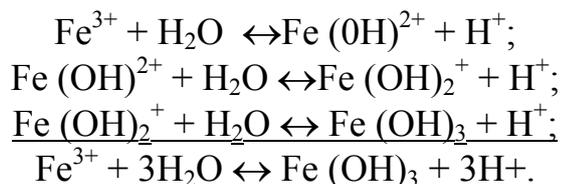
Степень гидролиза повышается с разбавлением раствора, повышением его температуры и рН. При коагулировании в кислых и нейтральных средах, содержащих небольшое количество гидрокарбонатов, для нейтрализации ионов  $\text{H}^+$ , накапливающихся в воде при гидролизе  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  можно применять смесь  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{NaAlO}_2$ . В этом случае накапливающиеся ионы  $\text{H}^+$  будут нейтрализоваться ионами  $\text{OH}^-$ , образующимися при гидролизе  $\text{NaAlO}_2$ :



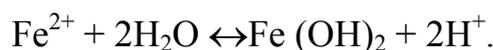
Если в смеси выдержано необходимое соотношение между  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{NaAlO}_2$ , при гидролизе значение рН воды практически не изменяется и гидролиз обоих реагентов протекает достаточно полно.

Гидролиз гидроксихлорида алюминия  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$  протекает по уравнению  $[\text{Al}_2(\text{OH})_5]^{+} + \text{HOH} \leftrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}^+$ .

Гидролиз  $\text{FeCl}_3$  протекает в три стадии:

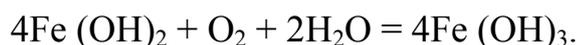


Гидролиз железного купороса в воде выражается уравнением



Поскольку растворимость  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  велика и он значительно диссоциирован, равновесие гидролиза сильно смещено влево.

Образующийся  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  под действием кислорода, растворенного в воде, окисляется в  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ :



Хлопья  $\text{FeCl}_3$  наиболее интенсивно образуются при рН = 5–7, причем оптимум находится между значениями рН 6,1 и 6,5. Изoeлектрическая точка  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  соответствует значению рН несколько большему, чем 6,5. Хлопьеобразование  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , в отличие от  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , протекает в значительно более широком диапазоне значений рН.

Таким образом, коагуляции подвергаются не коллоидные примеси воды, а образующиеся при гидролизе коагулянтов гидроксиды. Вода очищается не в резуль-

тате коагуляции, а вследствие адсорбции различных коллоидных и высокомолекулярных примесей на поверхности гидроксидов. Процесс коагуляции гидроксидов фактически приводит к удалению отработанного сорбента из очищенной воды.

Алюмосодержащие коагулянты представлены в табл.3

Таблица 3

Виды и состав алюминий содержащих коагулянтов

Коагулянт	Формула	Содержание, мас.%	
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нерастворимых примесей
Сульфат алюминия	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O	>9,5	<23
Неочищенный	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O	>13,5	<1
Очищенный	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·14H <sub>2</sub> O	17-19	-
Гидроксихлорид алюминия (твердая форма) (жидкая форма)	Al <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> Cl·6H <sub>2</sub> O	40-44	—
	Al <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> Cl	18	—
Алюминат натрия	NaAlO <sub>2</sub>	45-55	6-8

Сульфат алюминия Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O – неочищенный. Получают этот коагулянт в результате обработки бокситов, нефелинов или глин серной кислоты. Он должен содержать не менее 9,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, или около 30% чистого Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. В его состав обычно входит около 30% нерастворимых примесей и до 35% влаги.

Очищенный сульфат алюминия получают на ОАО «Сорбент» при переработке неочищенного продукта или растворения глинозема в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. В этом реагенте должно быть не менее 17% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, или 53% чистого Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.

Глинозем обладает недостатком: повышенной чувствительностью к рН и температуре очищаемой воды.

Изоэлектрическая область для Al(OH)<sub>3</sub>, в которой он имеет наименьшую растворимость, соответствует рН=6,5-7,8.

Гидроксихлорид алюминия Al<sub>2</sub>(OH)<sub>5</sub>Cl·6H<sub>2</sub>O может быть представлен как в твердой форме – в виде белого порошка, так и в жидкой, приготовляемой растворением свежесажженного Al(OH)<sub>3</sub> в 0,5-1%-ом растворе HCl.

Преимущества гидроксихлорида в сравнении с Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>:

—снижение дозы вводимого коагулянта в 2-3 раза; уменьшение времени коагуляции в 1,5-3,0 раза;

—возможность эффективно очищать воду в широком диапазоне температур, включая диапазон 0,5-8<sup>0</sup>С;

—значительное уменьшение или полное отсутствие остаточного алюминия в очищенной воде;

—исключение применения дополнительных реагентов, используемых для корректировки рН среды.

ОАО "АУРАТ" (Химический завод им. П. Л. Войкова) – самый крупный производитель коагулянтов в России.

Годовая мощность различных видов и марок коагулянтов составляет 150 тыс. т: 100 тыс. т сульфата алюминия и 50 тыс. т полиоксихлорида алюминия – "Аква-аурат".

"Аква-аурат" имеет преимущество перед традиционно применяемым сернокислым алюминием: существенно снижается доза коагулянта и значительно уменьшается содержание остаточного алюминия в очищенной воде; технологическая активность практически не зависит от температуры очищаемой воды; коррозионная активность воды при применении коагулянта снижается

Алюминат натрия  $\text{NaAlO}_2$  – это твердые куски белого цвета с перламутровым блеском на изломе; его получают при растворении  $\text{Al}(\text{OH})_3$  или  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в растворе  $\text{NaOH}$ . Товарный продукт содержит 55%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 35%  $\text{Na}_2\text{O}$  и до 5% свободной щелочи  $\text{NaOH}$ . Растворимость  $\text{NaAlO}_2$  – 370 г/л (при 200 °С).

В технологии очистки сточных вод используются и железосодержащие коагулянты: хлорид железа (III), сульфаты железа (II и III), хлорированный железный купорос.

Соли железа (III) имеют преимущества по сравнению с  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Так, в случае их использования улучшается коагуляция при низких температурах воды; на ход процесса почти не влияет рН среды; ускоряется осаждение с коагулированных частиц; сокращается длительность отстаивания, т.к. плотность хлопьев  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  больше, чем хлопьев  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

Недостатком солей железа (III) является необходимость их тщательного дозирования, поскольку нарушение его приводит к проскакиванию железа в очищенную воду.

Хлопья  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  осаждаются неравномерно, в связи с чем много мелких хлопьев поступает на фильтры.

Этот недостаток в значительной мере можно устранить, добавив  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

## **Флокуляция**

Одним из способов интенсификации существующих технологий очистки сточных вод является использование флокулянтов. Они принадлежат к классу линейных полимеров, для которых характерна цепочная форма макромолекул. Молекулярная масса флокулянтов находится в пределах от десятков тысяч до нескольких миллионов; длина цепочки, состоящей из ряда повторяющихся звеньев, составляет сотни нанометров.

В качестве флокулянтов используют высокомолекулярные вещества, хорошо растворимые в воде.

Высокомолекулярные флокулянты обычно делят на органические (природные и синтетические) и неорганические. В качестве природных используют крахмал, во-

дорослевую крупку, белковые гидролизные дрожжи, картофельную мезгу, жмыхи и др. Наиболее распространенным неорганическим флокулянтom является активированный силикат натрия – активная (активированная) кремниевая кислота.

Крахмал представляет собой смесь двух углеводов: линейного полимера амилозы и сильноветвленного полимера амилопектина. Его получают из клубней картофеля, зерен кукурузы, риса и др. растений в виде гранул, не растворимых в холодной воде. Крахмал относится к флокулянтам анионного типа с небольшим отрицательным зарядом.

Флокулирующее действие усиливается кислотной обработкой.

В настоящее время широко используются высокомолекулярные органические флокулянты.

Несмотря на сравнительно высокую стоимость органических флокулянтов, их применение экономически оправдано в следующих случаях:

–когда нет возможности расширить очистные сооружения из-за ограниченных площадей;

–в связи с ужесточением требований к качеству воды;

–при необходимости быстро получить желаемый результат, так как применение флокулянтов дает возможность без капитальных затрат или с небольшими затратами повысить эффект очистки на 30–40%;

–при отсутствии альтернативных способов очистки воды.

Отечественными и зарубежными фирмами предлагается обширный ассортимент флокулянтов, отличающихся молекулярной массой, основностью, товарной фирмой.

Основными характеристиками органических флокулянтов, предлагаемых различными фирмами, является торговая марка, природа флокулянта, молекулярная масса, основность (природа и количество ионогенных групп), товарная форма, санитарно-гигиенические характеристики.

Флокулянты с широким спектром физико–химических характеристик под разными торговыми марками производятся следующими зарубежными и отечественными фирмами. Фирмой Ciba выпускаются флокулянты серий Zetag и Magnafloc. Фирмой Stockhausen и российско–германским предприятием ЗАО «MSP» выпускаются флокулянты серии Praestol (Праестол), американскими фирмами Cytec Ind. – флокулянты серии Supertloc; Nalco Chemical – флокулянты серии Nalco; Kem–Tron Techn. Inc. – флокулянты серии Kem–Tron; финской фирмой Kemira – флокулянты серии Феннопол; японскими фирмами Sanyo Chem. Ind. – флокулянты серии Sanfloc; Kurita – флокулянты серии Kurifix, российскими фирмами НИИ полимеров и ЗАО «Гель» – флокулянты серии АК; МП «Флокатор» – флокулянты серии Флокатор; ПО «Оргсинтез» – катионный флокулянт КФ–91, ПО «Каустик» – флокулянты серии ВПК.

В зависимости от природы ионогенных групп все органические флокулянты можно разделить на четыре типа: катионные, анионные, неионные и амфотерные.

Катионные органические флокулянты при растворении в воде диссоциируют на положительно заряженный макроион и низкомолекулярные анионы, то есть приобретают положительный заряд.

Анионные флокулянты при растворении в воде диссоциируют на отрицательно заряженный макроион и положительно заряженные низкомолекулярные катионы. Причем, в зависимости от количества ионогенных групп и их природы катионные и анионные флокулянты делятся на сильно-, средне- и слабоосновные. Неионные флокулянты не имеют ионогенных групп и растворяются в воде за счет образования водородных и других неионных связей. Амфотерные флокулянты содержат катионные и анионные группы, т.е. сочетают в себе свойства катионных и анионных флокулянтов.

Из отечественных катионных флокулянтов нашли практическое применение флокулянты К 1020, К 580 серии АК, Флокатор 200, Флокатор 100, КФ 91, ВПК 402. Из анионных флокулянтов используются флокулянты А 930, А 1510, гидролизированный полиакриламид, из неионных – отечественный полиакриламид (ПАА), полиэтиленоксид. Примером амфотерных флокулянтов являются флокулянты серии Кама.

Недостатком порошкообразных и гелеобразных флокулянтов являются сложности, возникающие при приготовлении растворов флокулянтов, т.к. для их растворения требуется специальное оборудование. В этой связи в настоящее время стали выпускать эмульсионные флокулянты, которые хорошо смешиваются с водой, несмотря на высокую молекулярную массу.

Использование флокулянтов позволяет ускорить формирование хлопьев в камерах хлопьеобразования и их осаждение в отстойниках, повысить эффект осветления воды и увеличить скорость ее движения в очистных сооружениях.

### **Интенсификация процесса коагуляции способами повышения температуры и перемешивание.**

При низких температурах в зимнее время очистка воды сульфатом алюминия протекает неудовлетворительно: процессы хлопьеобразования и осаждения замедляются, хлопья образуются очень мелкие, в очищенной воде появляется заметное количество остаточного алюминия (вода опалесцирует). При использовании гидроксихлорида алюминия возможна эффективная очистка воды в широком диапазоне температур, включая  $0,5-8,0^{\circ}\text{C}$ . Подвижность коллоидных частичек в процессе коагуляции возрастает при перемешивании растворов. Так, при  $20^{\circ}\text{C}$  процесс коагуляции в результате перемешивания ускоряется примерно в 2 раза, поскольку при этом происходят перикинетическая и ортокинетическая коагуляции.

Ускорение процесса коагуляции и укрупнение хлопьев при низких температурах воды может быть достигнуто удлинением времени перемешивания.

Процесс коагуляции можно ускорить, применяя метод коагулирования, при котором требуемое количество коагулянта подают лишь в часть обрабатываемой воды. После тщательного смешения с раствором коагулянта поток обработанной воды объединяют (обычно в начале камер хлопьеобразования) с потоком остальной необработанной воды. Этот метод обладает некоторыми преимуществами: а) распределение всего коагулянта только в части воды создает условия для ускоренного хлопьеобразования; б) после смешения с необработанной водой хлопья, сформиро-

вавшиеся в условиях повышенной концентрации коагулянта, хорошо удаляют примеси воды.

К физическим (безэлектролитным) методам интенсификации процесса коагуляции относится воздействие электрического и магнитного полей, ультразвука и ионизирующего излучения.

Под воздействием электрического поля ускоряются процессы формирования и осаждения скоагулированной взвеси, получаемой при обработке сульфатом алюминия;

Воздействие магнитного поля приводит к уменьшению структурно-механической гидратации  $\xi$ -потенциала частичек. Сорбционная емкость продуктов гидролиза коагулянтов по отношению к гуминовым веществам возрастает на 30–40%. При очистке сточных вод, содержащих минеральные взвеси, магнитная обработка: а) вызывает увеличение плотности и гидравлической крупности хлопьев скоагулированной взвеси;

б) позволяет повысить производительность отстойников и осветлителей со взвешенным осадком; в) приводит к некоторому снижению мутности осветленной воды.

Омагничивание цветной и железосодержащей воды позволяет увеличить объемную массу скоагулированной взвеси и в 2-10 раз снизить остаточные концентрации примесей.

Для интенсификации процесса коагуляции рекомендуется омагничивать воду за 10–60 с до ввода раствора коагулянта, скорость движения воды в рабочем зазоре магнитного генератора поддерживать 1 м/с, количество знакопеременных магнитных контуров в генераторе должно составлять 4-6, длительность омагничивания – 0,6–1 с. Можно омагничивать лишь часть (например, половину) обрабатываемой воды, а затем смешивать ее (до ввода коагулянта) с остальной водой.

Интенсифицировать процесс коагуляции можно магнитной обработкой раствора коагулянта. Эффект активации раствора зависит от напряженности магнитного поля.

Улучшает процесс очистки воды коагулирование под током. По этому методу воду с добавленными к ней небольшими дозами сульфата алюминия пропускают между алюминиевыми электродами, подключенными к источнику постоянного или переменного тока. В этом случае сохраняется преимущество метода электролитического коагулирования, а расход электроэнергии не превышает 10 Вт/м<sup>3</sup> воды. Коагуляции примесей воды способствует обработка ее ультразвуком. Однако разрушение механических примесей, уменьшающее степень полидисперсности суспензии, может сказаться отрицательно. Исследования коагуляции ультразвуком показывают, что наилучшие результаты получаются при относительно низких частотах ультразвука. С увеличением частоты ультразвука возрастает скорость коагуляции; оптимальная продолжительность озвучивания составляет 1–3 мин.

Действие ионизирующих  $\gamma$ -,  $\beta$ - и рентгеновских лучей преимущественно сводится к интенсификации окисления органических и минеральных примесей растворенным в воде кислородом, в результате вода обесцвечивается, обеззараживается, дезодорируется, а также ускоряется осаждение взвешенных примесей. Все перечисленные процессы облегчают обработку воды гидролизующимися коа-

гулянтами, расширяют сферу их применения. В качестве источников излучения чаще всего используют  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , реже  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{204}\text{Tl}$ ,  $^{147}\text{Eu}$  и др.

Облучение не вызывает ядерных превращений в растворах коагулянтов и воде и, следовательно, безопасно.

### Электрохимическое коагулирование

Электрокоагуляция – это метод превращения примесей коллоидной степени дисперсности в грубодисперсное состояние, основывается он на множестве физико-химических процессов, протекающих в жидкости под воздействием электрического тока.

В случае применения растворимых металлических электродов – электродный процесс сопровождается совокупностью электрохимических явлений и реакций, скорость которых, согласно законам электрохимической кинетики, определяется общим значением потенциала на границе металл – раствор, составом раствора и условиями диффузии компонентов или продуктов реакции в растворе.

В результате электролиза на электродах восстанавливаются или окисляются компоненты электролита. Электричество переносится всеми находящимися в воде ионами, а также заряженными коллоидными и взвешенными частичками.

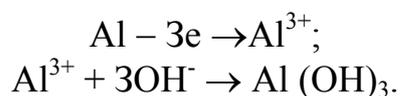
Количество металла  $m$ , растворившегося в воде в результате электролиза, определяют по формуле

$$m = \eta \frac{tAI}{Fn},$$

где  $\eta$  – коэффициент выхода металла по току, %;  $t$  – время прохождения тока, ч;  $A$  – атомная масса металла;  $I$  – сила тока, А;  $F$  – число Фарадея (96 500 Кл);  $n$  – валентность металла.

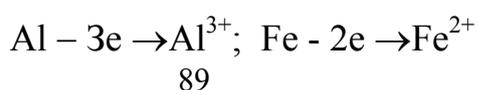
Теоретически при расходе электричества 26,8 А ч растворяется 8,99 г алюминия или 27,93 г железа.

Электрохимическое растворение металлов включает две основные группы процессов: растворение за счет внешнего тока (анодное растворение металлов) и химическое растворение в результате взаимодействия металлов с окружающей средой. Так, на алюминиевом аноде могут протекать химические реакции, непосредственно не связанные с действием электрического тока:

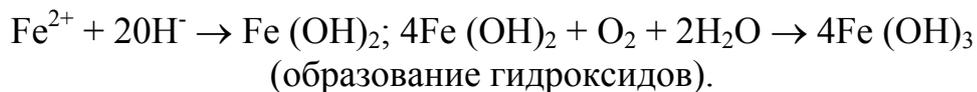
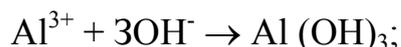


Процессу химического растворения алюминия способствуют наличие в воде ионов–депассиваторов, повышение скорости движения жидкости по отношению к поверхности металла, воздействие постоянного электрического тока и др. В связи с этим выход алюминия по току может достигать 130–140%.

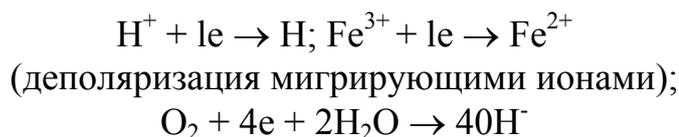
Согласно теории электрохимической коррозии, при использовании в качестве анода алюминия или железа наиболее вероятны такие реакции:



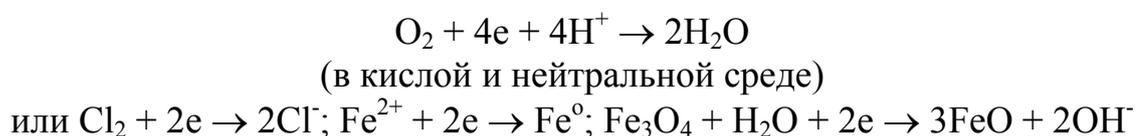
(анодное растворение);



На алюминиевом или железном катоде, помещенном в сточную воду, могут протекать следующие электрохимические процессы:



(деполяризация нейтральными молекулами в щелочной среде);



(восстановление ионов металлов и нерастворимых пленок, например, оксидов);



(восстановление органических соединений; R – радикал или органическая молекула).

Из перечисленных катодных процессов имеет место кислородная и водородная деполяризация, причем каждая из этих реакций в зависимости от условий может превалировать. Кроме того, на алюминиевом катоде возможно протекание реакций взаимодействия алюминия с водой:



благодаря значительному повышению значения pH (до 10,5-12,0) в прикатодном слое во время электролиза и растворения защитной пленки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

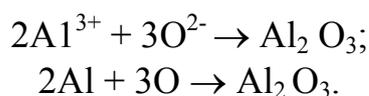
Протекание электрохимических процессов на металлических электродах сопровождается адсорбцией на них неорганических и органических веществ, которые могут ускорять или замедлять электрохимические реакции выделением на электродах пузырьков газа ( $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$  и др.), которые способны переносить вещество из жидкости на поверхность («электрофлотация»), электрофорезом (движением в воде взвешенных твердых частичек, пузырьков газа, капель другой жидкости и коллоидных частичек) и другими явлениями.

На процесс растворения электродов влияют физико–химические, электрические и гидродинамические факторы: активная реакция среды, ее солевой состав, температура, состав электрода, плотность тока, частота смены полярности, скорость движения воды в межэлектродном пространстве и др. Существенное значение при очистке воды электрокоагуляцией имеет плотность тока. Наиболее эффективной может быть работа электролизеров при высоких плотностях тока, поскольку при этом более интенсивно используется их вместимость и рабочая поверхность электродов. Однако с повышением плотности тока усиливаются поляризационные явления и пассивация электродов, что приводит к возрастанию напряжения и затрате электроэнергии на побочные процессы

Большинство исследователей рекомендует плотность тока в пределах 0,5–20 мА/см<sup>2</sup>, расстояние между электродами 10–15 мм. С учетом мероприятий по технике безопасности рабочее напряжение на электродах не должно превышать 40 В.

Для предотвращения образования осадка рекомендуется менять на электродах полярность тока. Однако смена полярности тока не всегда эффективна; в период переключения полярности резко снижается выход алюминия по току и трудно удаляются осадки на электродах.

Процесс активного окисления металлов при электролизе осложняется их пассивацией. Например, на поверхности алюминия оксидная пленка образуется в результате реакций



При этом потенциал анода смещается в сторону положительных значений. Степень активности алюминиевого анода в значительной мере зависит от природы и концентрации присутствующего в растворе аниона. На активность алюминиевого анода наиболее сильно влияет хлорид-ион.

Механизм активирующего действия хлорид–ионов обусловлен их небольшими геометрическими размерами и легкостью проникновения через пленку, в результате чего она разрушается. Относительная способность различных анионов проникать через пленку убывает в следующем порядке:



Активация алюминиевого анода хлорид–ионами объясняется также сильным замедлением процесса образования оксидной пленки, связанным с адсорбционным вытеснением кислорода.

Повышение концентрации сульфатов по отношению к постоянной концентрации хлоридов приводит к полному угнетению активирующего действия хлорид–ионов на оксидную пленку.

Рост температуры воды препятствует (образованию осадков на электродах, увеличивает скорость растворения оксидной пленки, уменьшает ее толщину и защитные свойства. Пленка становится рыхлой и легко удаляется с поверхности алю-

миния. Особенно усиливается разрушение оксидной пленки в присутствии хлорид-ионов, сорбция которых на алюминии с повышением температуры возрастает.

На основании исследований, проведенных на кафедре “Инженерных систем зданий и сооружений” Инженерно-строительного института СФУ разработана технология очистки маслоэмульсионных стоков путем электрокоагуляции с применением асимметричного тока, обеспечивающая стабильность процесса и высокий эффект очистки при меньших затратах электроэнергии (в 2–4 раза по сравнению с обработкой постоянным током), что является следствием более эффективного растворения электродов.

Асимметричный переменный ток – это импульсный ток специальной формы с различными величинами амплитуд и длительности положительных и отрицательных полярностей. При электрообработке маслоэмульсионных стоков с разной концентрацией загрязнений можно выбрать оптимальную форму тока изменяя период  $T$ , длительность обратного тока, амплитуду импульсов. Энергия обратного тока (отрицательного импульса), используемая для разрушения масляной пленки, может быть выбрана минимальной. В этом случае будут минимальными энергозатраты при высоком эффекте очистки.

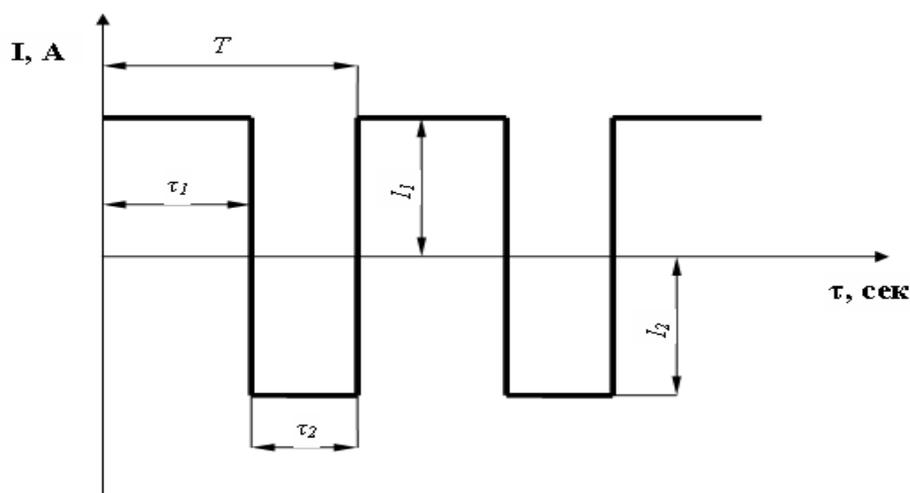


Рис 57. Форма тока:  $I_1$  – амплитуда прямого тока, А;  $I_2$  – амплитуда обратного тока, А;  $\tau_1$  – длительность прямого тока, сек;  $\tau_2$  – длительность обратного тока, сек;  $T$  – период, сек;  $t$  – время контакта, сек.

На кафедре “Инженерных систем зданий и сооружений” Инженерно-строительного института СФУ было разработано устройство для получения асимметричного тока, содержащее управляемые источниками питания прямого и обратного тока электролизера, соединенные с коммутатором тока, блок управления коммутатором тока, соединенный с электродами электролизера, электролизер для очистки сточных вод и блок датчиков контролируемых параметров очистки сточных вод. Согласно изобретению в устройстве управляемые источники питания прямого и обратного тока электролизера, выполненные в виде импульсных преобразователей тока, а коммутатор тока выполнен в виде ключевого инвертора тока на полупроводниковых приборах. Кроме того, предлагаемое устройство снабжено компьютером,

соединенным с блоком датчиков контролируемых параметров очистки сточных вод и блоком управления коммутатором тока электролизера. Особенности конструкции обеспечивают технический результат – увеличение ресурса работы установки и возможность автоматизации процесса очистки. На рис 58 приведена схема устройства.

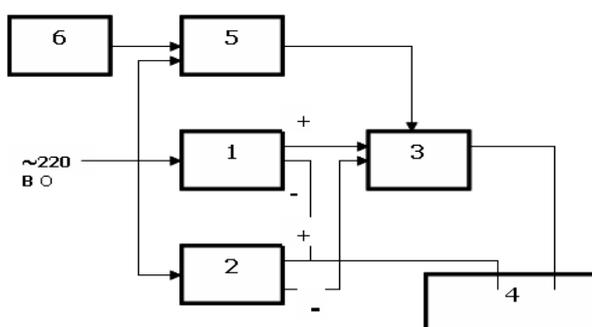


Рис. 58. Структурная схема устройства для получения асимметричного тока. 1–регулируемый импульсный источник питания (прямой ток); 2–регулируемый импульсный источник питания (обратный ток); 3–коммутатор; 4–гальванокоагулятор; 5–блок управления (задающий генератор); 6–компьютер

При электрообработке нефтесточков с различной концентрацией можно выбрать оптимальную форму тока: изменяя амплитуду и длительность импульсов. Энергия обратного тока, используемая для разрушения пленки, может быть выбрана минимальной. В этом случае будут минимальными энергозатраты при высоком эффекте очистки.

На основании исследований проведенных на кафедре ИСЗиС ИСИ СФУ была разработана технологическая схема очистки смазочноохлаждающей жидкости, применяемых в технологических процессах на кабельных заводах (рис СОЖ). По данным ЮНЕСКО, нефтепродукты являются одними из десяти наиболее опасных загрязнителей окружающей среды из-за их высокой токсичности и широкой распространенности, а содержание их в очищенной воде является наиболее жестким и труднодостижимым показателем качества очистки.

Растворение 1 г металлического алюминия эквивалентно введению в воду 12,3 г  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , растворение 1 г металлического железа – введению 4,8 г  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  или 4,9 г  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ .

Метод электрокоагуляции обеспечивает высокий эффект удаления из воды загрязнений в виде взвесей минерального, органического и биологического происхождения, коллоидов (соединений железа, веществ, обуславливающих цветность воды, и т. д.), а также отдельных веществ, находящихся в молекулярном и ионном состояниях.

Существенным преимуществом электрокоагуляции перед реагентными методами очистки воды является возможность отказа от строительства громоздких очистных сооружений. Эксплуатацию установок можно значительно упростить, поскольку электрохимические процессы легко поддаются механизации, управлению и автоматизации.

Электрокоагуляция позволяет осуществить процесс очистки воды в компактных, автоматически действующих и легко обслуживаемых.

Близок по химизму к электрокоагуляции метод гальванокоагуляции, который заключается в обработке сточных вод в поле множества короткозамкнутых гальванопар. Преимущества: использование в качестве расходного материала отходов производства (металлической стружки), значительное сокращение использования химических реагентов, снижение солесодержания, хорошая водоотдача осадка.

Институтом “Казмеханобр” разработаны и серийно выпускаются гальванокоагуляционные аппараты барабанного типа производительностью 0,5 – 50 м<sup>3</sup>/ч.

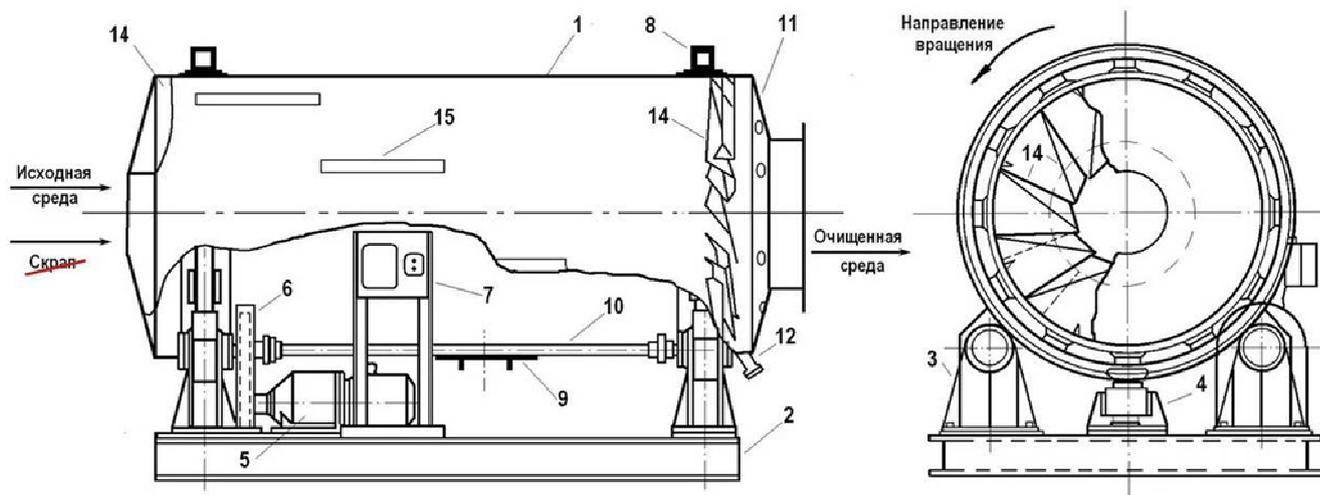


Рис. 59. Схема коагулятора барабанного КБ - 1: 1 – корпус; 2 – основание; 3 – опора; 4 – упорная станция; 5 – мотор-редуктор; 6 – зубчатая передача; 7 – пульт управления; 8 – бандаж; 9 – крышка; 10 – вал; 11 – магнит; 12 – заглушка; 14 – лопасть; 15 – полка (ворошитель)

Генерация коагулянта производится в о вращающихся частично погруженных в обрабатываемую воду барабанах, в которые помещается смесь железной и медной стружки, образующая гальванопару. Соотношение объемов железной и медной стружки – 2,5 : 1; оптимальное рН обработки – 2 - 4, скорость вращения барабана – 30–60 об/ч

Вращение барабана обеспечивает контакт стружки с воздухом и очищает её поверхность от продуктов реакции.

Для реализации гальванокоагуляционного метода разработаны аппараты различных модификаций.

На кафедре Инженерных систем зданий и сооружений Инженерно-строительного института СФУ разработан способ и устройство гальванокоагуляционной обработки сточных вод гальванического производства .

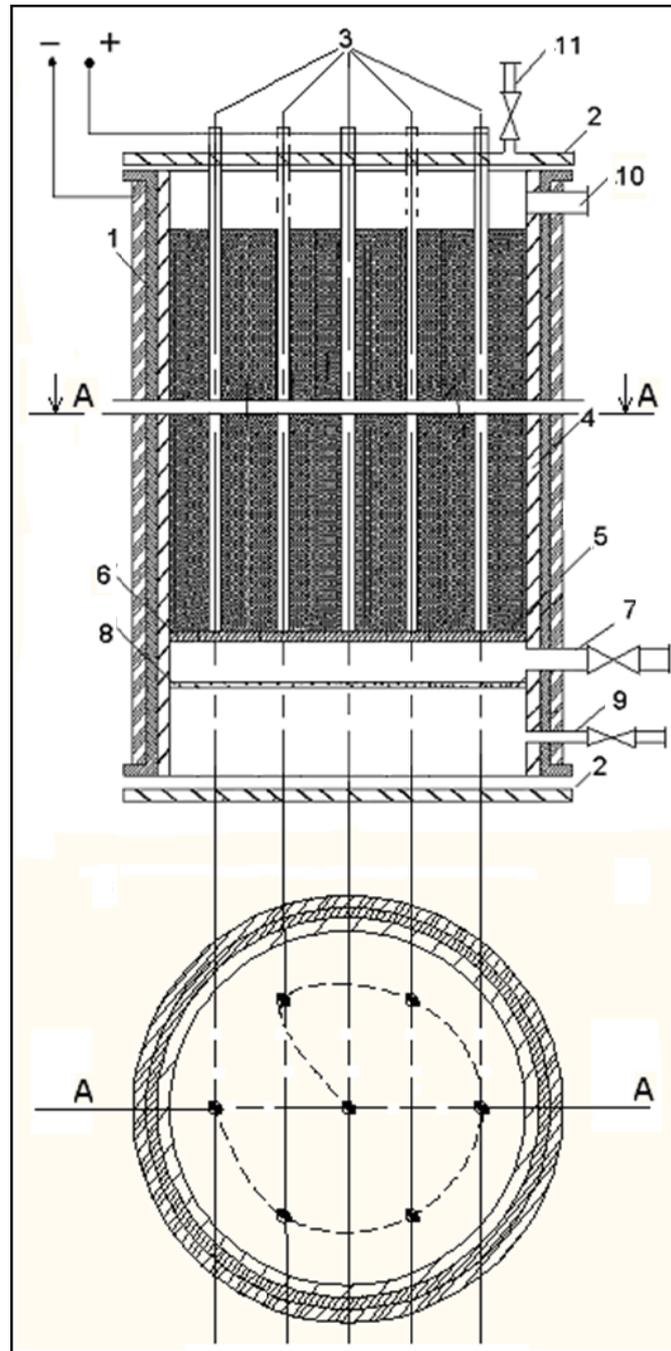
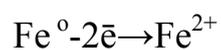
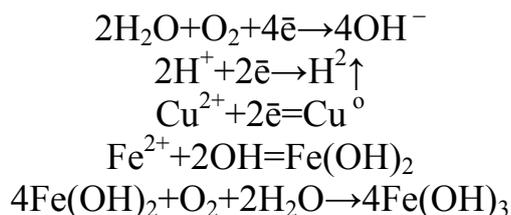


Рис. 60. Схема гальванокоагуляционного модуля: 1 – стальной цилиндрический корпус; 2 – диэлектрические крышки; 3 – стальные стержни; 4 – перфорированная цилиндрическая диэлектрическая перегородка; 5 – железо-углеродминеральная загрузка; 6 – дренажный диск; 7 – патрубок подачи воды; 8 – диспергатор воздуха; 9 – патрубок подачи воздуха; 10 – патрубок отвода очищенной воды; 11 – патрубок для отвода газовойоздушной смеси

За счет разности электрохимических потенциалов в месте контакта частиц образуется короткозамкнутый точечный элемент Fe-активированный уголь, вызывающий эффект гальванокоагуляционного растворения анода-железа и переход его в виде ионов в сточную воду:



На активной загрузке возможно протекание нескольких сопряженных реакций:



### **Флотационная очистка**

Флотация получила распространение для очистки производственных сточных вод от жиров, масел, смол, синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ) и других примесей.

Сущность флотационной очистки состоит в том, что сточные воды искусственно насыщаются воздухом или газом, на поверхности пузырьков которого адсорбируются частицы загрязнений и всплывают вместе с ними на поверхность воды, откуда удаляются. Применяется для удаления взвешенных веществ, нефтепродуктов, жиров, асбеста, шерсти и др., плотность которых меньше плотности жидкости или близка к ней. Флотация эффективна после предварительного отстаивания и удаления плавающих и крупнодисперсных взвешенных веществ. Процесс осуществляется в специальных сооружениях, называемых флотаторами. После флотации сточные воды могут быть использованы в обороте на ряде операций или направляются на доочистку путем фильтрации.

В зависимости от способа диспергирования воздуха различают:

- вакуумную флотацию;
- напорную флотацию;
- механическую (импеллерную) флотацию;
- биологическую флотацию;
- электрофлотацию.

Чаще применяют механическую и напорную флотацию.

Для очистки сточных вод промышленных предприятий широко применяются флотационные установки с многокамерными, радиальными флотаторами, с флотаторами – отстойниками, работающие по принципу напорной флотации.

Многокамерная флотационная установка (рис. 61) производительностью от 5 до 50 м<sup>3</sup>/ч включает многокамерный флотатор, работающий с коагуляцией и рециркуляцией воды, резервуар–усреднитель, реагентное хозяйство, устройства для насыщения воды воздухом, перекачивающие насосы и др. элементы.

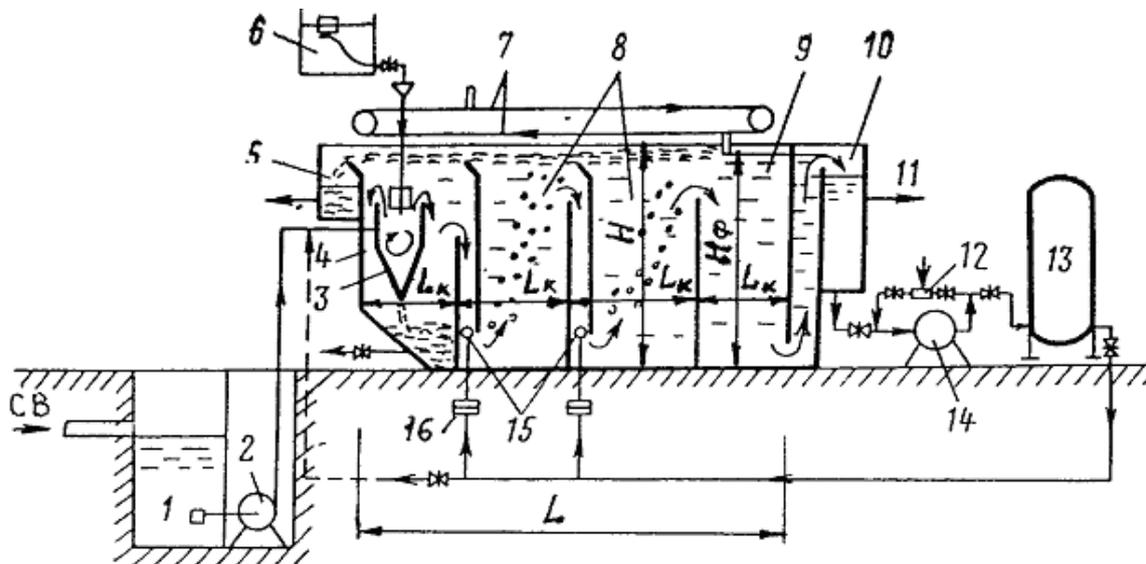


Рис. 61. Схема многокамерной флотационной установки: 1 – приемный резервуар; 2 – насос; 3 – безнапорный гидроциклон; 4 – камера грубой очистки; 5 – нефтесборный карман; 6 – бак с коагулянт; 7 – скребки; 8 – камеры флотации; 9 – отстойная камера; 10 – карман для сбора очищенной воды; 11 – подача воды в оборотную систему, на доочистку или сброс в канализацию; 12 – эжектор для насыщения рециркуляционной воды воздухом; 13 – напорный бак; 14 – рециркуляционный насос; 15 – перфорированные трубы для подачи рециркуляционной воды; 16 – диафрагма для снижения напора

Многокамерный флотатор представляет собой открытый прямоугольный в плане резервуар, разделенный поперечными направляющими перегородками на четыре последовательно расположенные камеры, в каждой из которых вода находится от 4 до 6 мин. Общая продолжительность очистки воды – 20 мин. Вода во флотатор подается из резервуара–усреднителя, емкость которого принимается равной объему притока сточных вод за время  $t$  от 5–10 до 20–30 мин. Первая камера – грубой очистки сточных вод, две последующие камеры – флотации, четвертая – камера отстаивания.

Флотаторы-отстойники (рис.62) представляют собой комбинированные сооружения, состоящие из круглого в плане радиального отстойника с встроенной в него круглой в плане подвесной флотационной камерой.

Они применяются для совместной очистки атмосферных вод с территории и производственных вод предприятий, стоки которых загрязнены одновременно всплывающими и оседающими примесями. Принцип работы сооружения состоит в следующем. Сточная вода поступает в водораспределитель. Сюда же подается рециркуляционная вода, предварительно насыщенная в напорном баке воздухом. При выходе из распределителя смесь очищаемой и рециркуляционной воды попадает в подвесную флотационную камеру, где находится около 20 мин. При этом частицы легких примесей прилипают к пузырькам воздуха, выделяющимся из рециркулирующей воды, и быстро всплывают на поверхность воды в камере флотации, образуя там пену. Из камеры флотации вода перетекает в отстойную камеру, где тяжелая взвесь, содержащаяся в воде, оседает на дно отстойника.

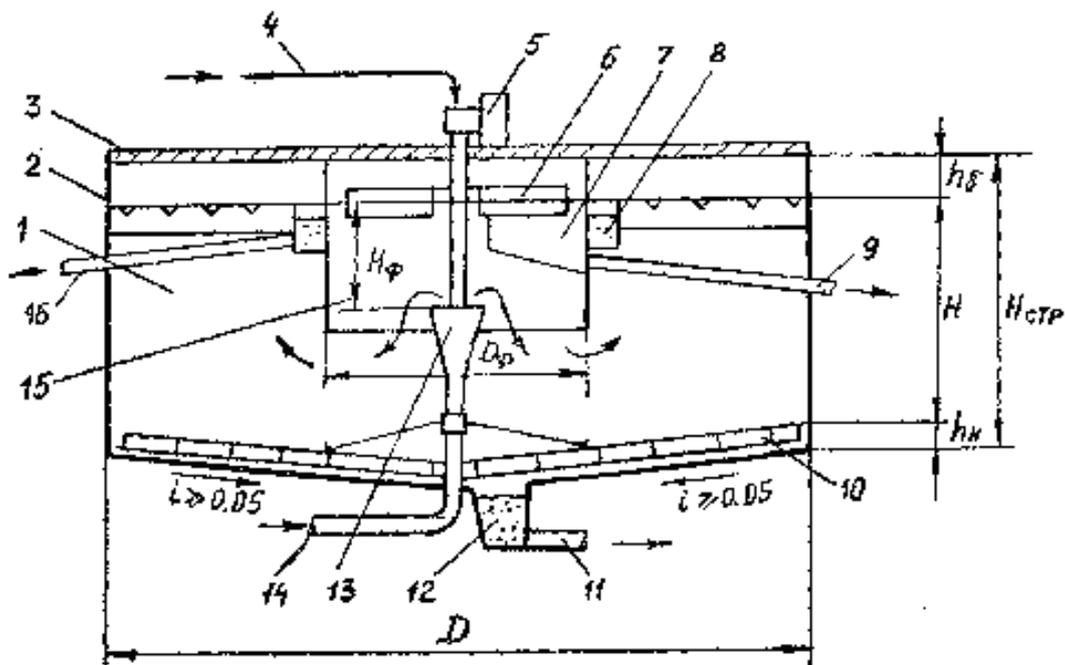


Рис. 62 Флотатор-отстойник: 1 – отстойная камера; 2 – водосборный лоток с зубчатым водосливом; 3 – мостик для обслуживания; 4 – трубопровод рециркуляционной воды; 5 – электропривод; 6 – верхние скребки для сбора всплывших загрязнений (пены); 7 – сборный карман для всплывших загрязнений (пены); 8 – кольцевой водосборный лоток; 9 – трубопровод для удаления всплывших загрязнений; 10 – донные скребки; 11 – трубопровод для удаления осадка; 12 – приямок для осадка; 13 – водораспределитель; 14 – трубопровод для подачи воды на очистку; 15 – камера флотации; 16 – трубопровод очищенной воды

Очищенная вода сливается через зубчатый водослив в радиально расположенные сборные лотки, откуда поступает в кольцевой сборный лоток, размещенный вокруг подвешной камеры флотации, и отводится из него.

Для сгребания пены и осадка предусмотрены верхние и нижние донные скребки с приводом.

Радиальные флотаторы (рис. 61) используются для очистки больших объемов сточных вод (более  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

По конструкции они аналогичны флотаторам-отстойникам, но флотационная камера расположена в нижней их части и нет донных скребков.

В практике применяются радиальные флотаторы и флотаторы-отстойники глубиной до 3 м и диаметром до 15 м.

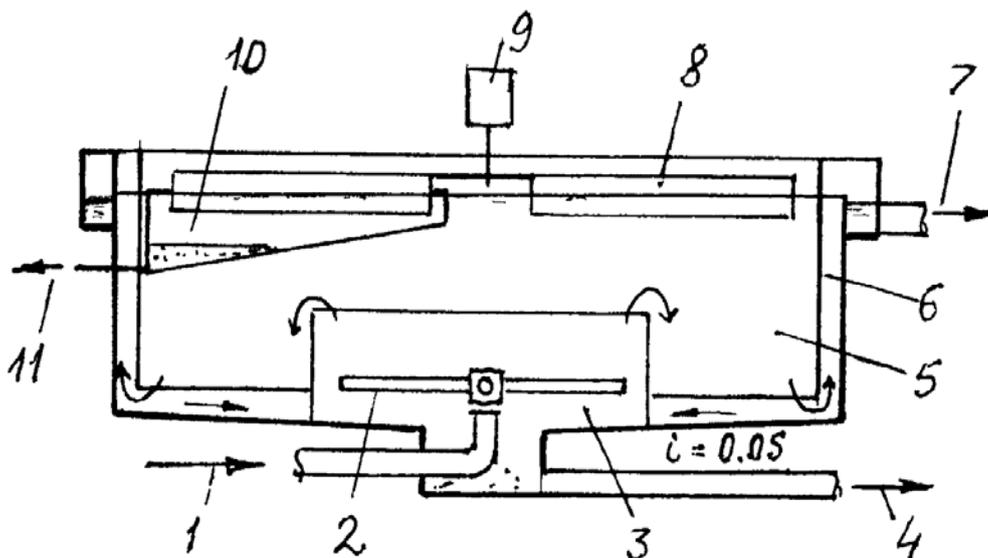


Рис.63 Радиальный флотатор: 1 – подача сточной воды; 2 – вращающийся водораспределитель; 3 – флотационная камера; 4 – отвод осадка; 5 – отстойная камера; 6 – кольцевая перегородка; 7 – отвод очищенной воды; 8 – пеносорберные скребки; 9 – электропривод скребков; 10 – пеносорберный лоток; 11 – отвод пены

Кроме напорной флотации в других различных отраслях промышленности, для извлечения нефтепродуктов, смолы, масла, жира, мелких механических примесей при высокой их концентрации (2–3 г/л) применяют механическую (импеллерную) флотацию (пенную сепарацию), при которой насыщение воды пузырьками воздуха осуществляется механическим путем.

Количество вводимого таким путем воздуха ( $V_{уд}$ ) составляет 10–40 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади сепаратора, что ускоряет процесс извлечения загрязнений. Однако эффективность их ниже, чем напорных флотаторов.

Известна конструкция самовсасывающего сепаратора с высотой всасывания до 5 м (рис. 64 а, б).

За счет вакуума, возникающего при вращении турбинки у ее оси, вода, а также воздух поступает во флотационную камеру сепаратора, частично растворяется в воде за счет повышенного давления на периферии импеллера и перемешивается со сточной водой.

Через отверстия в статоре турбинки сточная вода с диспергированным в ней воздухом выбрасывается в камеру флотации, где происходит отделение образовавшихся пузырьков воздуха с прилипшими к ним загрязнениями. Флотопродукт (пена) удаляется с поверхности флотатора (сепаратора) специальными пеносьемниками.

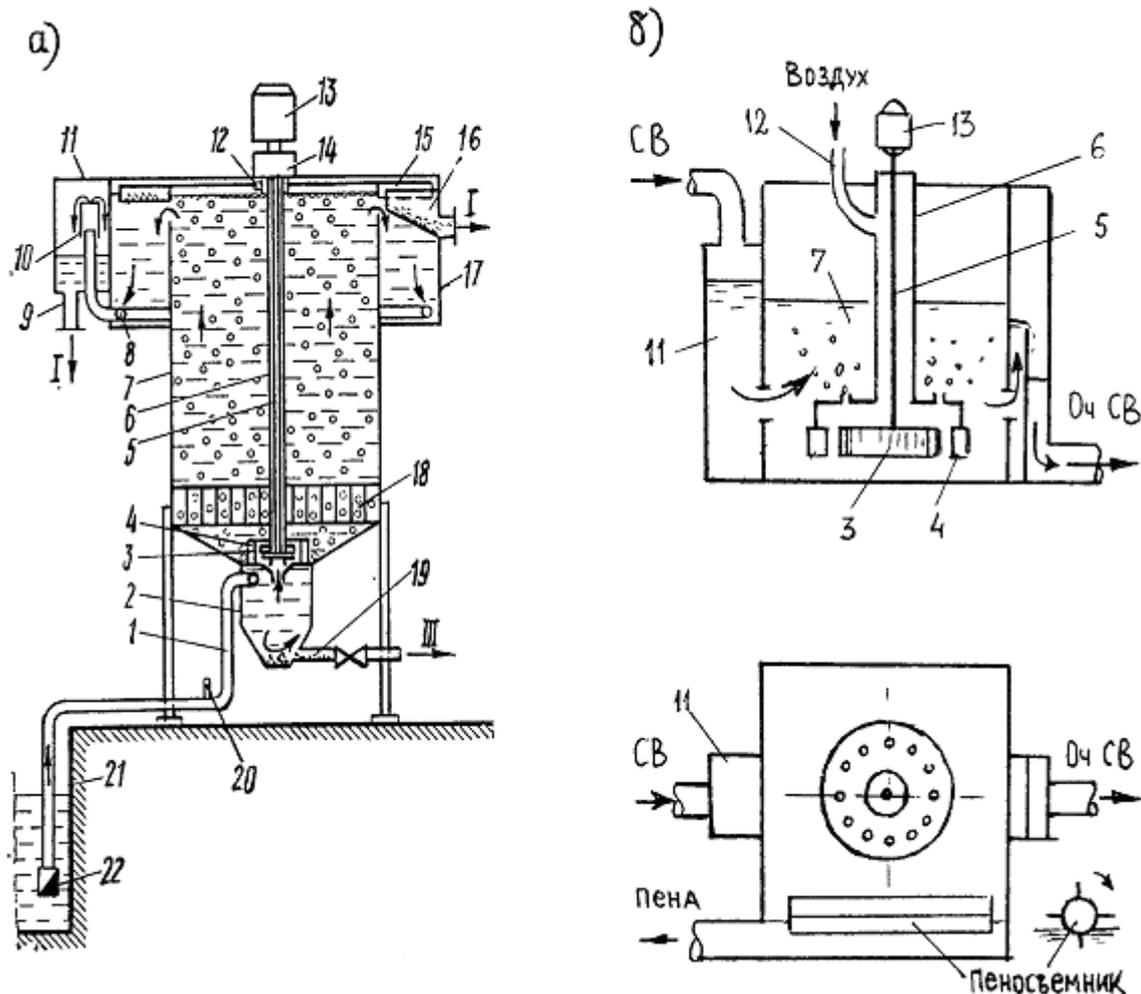


Рис. 64 Самовсасывающий пенный сепаратор (а), импеллерный флотатор (б): 1 – всасывающая труба; 2 – грязевой приемок; 3 – лопастное колесо; 4 – статор; 5 – вал; 6 – воздушная труба; 7 – флотационная камера; 8 – водосборный кольцевой трубопровод; 9 – отводящий патрубок; 10 – регулятор уровня; 11 – приемный карман; 12 – воздушный патрубок; 13 – электропривод; 14 – редуктор; 15 – скребки; 16 – пеноборный желоб; 17 – отстойная камера; 18 – успокоительная решетка; 19 – выпускной патрубок для осадка; 20 – патрубок для ввода реагентов; 21 – приемный колодец; 22 – всасывающий клапан

В практике очистки сточных вод применяется флотационная очистка с подачей воздуха через пористые материалы и электрофлотация с помощью пузырьков газов, образующихся при электролизе, главным образом катодного водорода.

Электрофлотация относится к электрохимическим методам очистки сточных вод, к которым также принадлежат:

- электрокоагуляция;
- электролиз;
- электрофорез;
- электродиализ и др.

В случае применения растворимых анодов параллельно с электрофлотацией идет процесс электрокоагуляции, т.е. растворение анодного металла в воде, с образованием хлопьев гидроокиси (гидроксида), интенсивно сорбирующих загрязнения (рис.65).

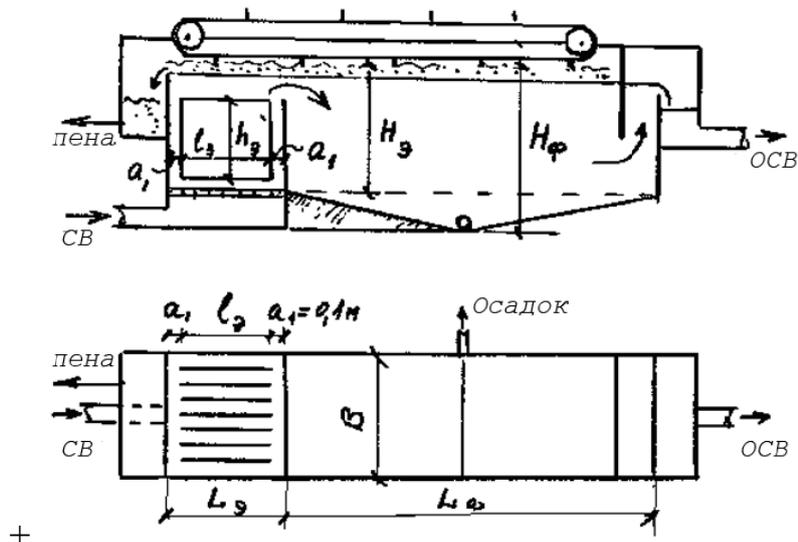


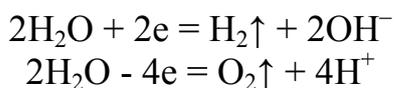
Рис 65 Схема электрофлотационной установки: 1 – электродный блок; 2 – камера флотации; 3 – скребок

Пузырьки электролизного газа прилипают к хлопьям гидроксида и всплывают вместе с ними на поверхность во флотационной камере.

От напорной флотации электрофлотация отличается наличием во флотаторе электродного блока с параллельно расположенными нерастворимыми электродами.

Подобные установки целесообразно применять в суровых климатических условиях, при малых расходах воды и в других особых случаях.

Процессы, протекающие при электрофлотации описываются следующими уравнениями:



### Контрольные вопросы

1. Когда применяются физико-химические методы очистки производственных сточных вод?
2. Какие процессы относятся к физико-химическим методам очистки?
3. Сущность процесса коагуляции примесей воды
4. От чего зависит эффективность очистки методом коагуляции?
5. Какие коагулянты используются в технологии очистки воды? Гидролиз коагулянтов.
6. В чем преимущества гидроксихлорида алюминия по сравнению с  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ?
7. Составить уравнение гидролиза солей алюминия.

8. Как можно повысить степень гидролиза?
9. Составить уравнения гидролиза солей железа.
10. В чем заключается недостаток солей железа (III) при коагуляции и как его можно устранить?
11. Какие флокулянты используются в настоящее время в процессах очистки сточных вод и основные способы их получения?
12. В каких случаях экономически оправдано применение высокомолекулярных органических флокулянтов?
13. В чем выражаются основные характеристики органических флокулянтов?
14. В чем выражаются преимущества полиамфолитов “Кама”?
15. На какие группы можно разделить органические флокулянты?
16. Чем характеризуется основность флокулянтов?
17. В чем недостаток порошкообразных и гелеобразных флокулянтов?
18. Какие преимущества флокулянтов известны при их использовании?
19. Как можно интенсифицировать процесс коагуляции?
20. Чем объяснить влияние температуры на процесс коагуляции?
21. Сущность процесса электрокоагуляции.
22. как можно определить количество металла, растворяющегося в воде в результате электролиза?
23. Составить схемы реакций восстановления и окисления, протекающие при электролизе с использованием растворимых анодов.
24. Какие факторы влияют на процесс растворения анодов?
25. Как можно снизить пассивацию электродов?
26. Дать определение асимметричному переменному току и в чем преимущество его применения?
27. Сущность процесса гальванокоагуляции.
28. В чем преимущества гальванокоагуляции?
29. Схема гальванокоагулятора и принцип работы.
30. В чем заключается механизм гальванокоагуляции, представить уравнение реакций, протекающих на электродах.
31. Сущность флотационной очистки и когда ее применяют?
32. Какие способы диспергирования воздуха известны?
33. Схемы конструкций флотаторов – отстойников.
34. Сущность процесса электрофлотации и схемы установки.
35. Что включает многокамерная флотационная установка?
36. Когда применяется механическая (импеллерная) флотация и как при этом происходит насыщение воды пузырьками воздуха?
37. Когда используют радиальный флотатор?
38. Схема электрофлотатора, какие процессы протекают на электродах?

## ЛЕКЦИЯ 6. Сорбция. Экстракция

### Сорбционные методы очистки производственных сточных вод в статических условиях

Для глубокой очистки сточных вод от растворимых органических примесей, для доочистки производственных и бытовых стоков применяются:

1. Адсорбция – поглощение загрязнений поверхностью твердого тела.
2. Абсорбция – поглощение загрязнений всем веществом сорбента; процесс сопровождается диффузией загрязненного вещества в объем сорбента с образованием раствора. Абсорбентами являются обычно жидкости. Аппараты называются абсорберами.
3. Хемосорбция – адсорбция, при которой загрязняющее вещество вступает в химическую реакцию с сорбентом.

Адсорбционная очистка представляет собой процесс поглощения загрязняющих веществ из сточных вод твердыми веществами–сорбентами. Процессы сорбции избирательны и обычно обратимы. Благодаря их обратимости становится возможным выделение поглощенных веществ (десорбция).

Сорбенты способны извлекать из воды многие органические вещества, в том числе и биологические, не удаляемые из нее другими методами. При использовании высокоактивных сорбентов воду можно очистить от загрязнений до практически нулевых остаточных концентраций. Сорбцию применяют и при небольших концентрациях загрязнений, когда другие методы очистки оказываются неэффективными и требуется глубокая степень очистки. В качестве сорбентов могут служить все мелкодисперсные твердые вещества, имеющие развитую поверхность, – активный уголь, зола, торф, опилки, разные глины, доменные шлаки и др.

Поверхностное натяжение между сорбентом и водой должно быть выше поверхностного натяжения между сорбентом и сорбируемым веществом. Сорбент должен обладать значительной механической прочностью и определенным гранулометрическим составом, а также легкой регенерируемостью.

Наиболее эффективными сорбентами являются активные угли (АУ) различных марок. Активные угли являются пористыми материалами, поры которых по своему размеру могут быть подразделены на четыре вида: макропоры размером 1000–20000 А, переходные поры – 40–1000 А, супермикропоры – 16–40 А и микропоры – не более 16 А. Эффективность АУ обуславливается наличием в них микропор, а также в определенной степени супермикропор.

Растворенные органические вещества имеют размер частиц менее 10А, Они заполняют объем микропор сорбента, полная удельная вместимость,  $\text{см}^3/\text{г}$ , которых соответствует поглощающей способности сорбента, поэтому объем микропор является одной из важнейших характеристик и приводится для соответствующих марок активных углей.

Загрязненный сорбент регенерируют разными способами: растворителями, паром, термическими способами и т.д.

Активность сорбента характеризуется количеством вещества, поглощаемого 1  $\text{м}^3$  или 1 кг сорбента.

Различают статическую активность сорбента – максимальное количество поглощаемого вещества к моменту достижения равновесия в сорбенте и растворе в покое при постоянной температуре и концентрации вещества и динамическую активность – максимальное количество вещества, поглощаемого сорбентом до момента появления сорбируемого вещества в фильтрате при пропуске сточной воды через слой сорбента. В промышленных адсорберах динамическая сорбционная активность составляет 45–90% статической.

Статическая активность характеризуется изотермой сорбции

$$a' = A_{\max} = \frac{C'}{K_1 + C'}$$

где  $A_{\max}$  – предельная величина сорбции кг/кг;  $a'$ ,  $C'$  – равновесные концентрации загрязнений в сорбенте и в сточных водах;  $K_1$  – константа сорбции, зависящая от марки и диаметра частиц сорбента.

Схема сорбционной очистки и тип адсорбера определяются исходя из области применения метода, места расположения адсорберов в общей схеме очистки, состава воды, вида и крупности сорбента. Перед сооружениями биологической очистки применяются насыпные фильтры с диаметром 3 – 5 мм. Или адсорбер с псевдооживленным слоем сорбента с диаметром 0,8 – 1 мм. При глубокой очистке производственных сточных вод и возврате их в оборотную систему предприятия применяют аппараты с мешалкой и намывные фильтры с диаметром зерен 0,1 мм и менее.

Сорбционная установка с последовательным введением сорбента и интенсивного его перемешивания (сорбция в статических условиях). Перемешивания осуществляется в течение времени  $t$ , с последующим отделением сорбента от воды отстаиванием, фильтрованием и т.д.

При последовательном введении сорбента сточную воду можно очистить от любой концентрации загрязняющих веществ.

При одноступенчатой схеме сорбционной очистки концентрацию сорбата можно определить из выражения

$$C = \frac{Q}{Q + k \cdot m} \cdot C_0,$$

где  $Q$  – количество сточной воды,  $m^3$ ;  $c_0$  – начальная концентрация вещества в воде;  $k$  – константа адсорбционного распределения сорбата;  $m$  – количество сорбента, кг.

$$m = \frac{Q(C_0 - C_{\text{равн}})}{k \cdot C_{\text{равн}}},$$

где  $C_{\text{равн}}$  – равновесная концентрация вещества.

При применении многоступенчатой сорбционной очистки с последовательным введением в воду сорбента расчет следует выполнять по формулам:

Концентрация сорбата после  $n$ -й ступени введения сорбента

$$C_n = \left( \frac{Q}{Q + k \cdot m_1} \right)^n \cdot C_o;$$

$m_1$  – доза сорбента, вводимого на каждой ступени установки;  $n$  – число ступеней сорбционной очистки.

$$m_1 = \frac{Q}{k} \left( \sqrt[n]{\frac{C_o}{C_n}} - 1 \right);$$

$$n = \frac{1q C_o - 1q C_n}{1q(Q + k \cdot m_1) - 1q Q};$$

Общий расход сорбента

$$m_{об} = n \cdot m_1$$

Более экономичное использование сорбента достигается на противоточных сорбционных установках. Здесь чистый сорбент в количестве  $m_1$  вводится только один раз на последней ступени и затем перекачивается из каждой последующей ступени на предыдущую. Расчет установки осуществляется по следующим формулам:

– концентрация вещества в очищенной воде после  $n$ -й ступени

$$C_n = \frac{k \cdot m / Q - 1}{(k \cdot m / Q)^{n+1} - 1} \cdot C_o;$$

– доза сорбента, вводимого на последней ступени установки,

$$\alpha \cdot m^{n+1} - \beta \cdot m - \gamma = 0,$$

$$\alpha = (k / Q)^{n-1}; \beta = k C_o / Q C_n;$$

$$\gamma = C_o / C_n - 1;$$

– число ступеней

$$n = \frac{1q [C_o (km / (Q - 1) + C_n)] - 1q C_n - 1}{1q \frac{m}{Q} \cdot k}$$

На каждой ступени осуществляется перемешивание угля, сточной воды и реагента, происходит реакция сорбции, хлопьеобразование и отстаивание.

После последней ступени вода фильтруется через песчаную загрузку для задержания частиц, не выпадающих в осадок при отстаивании.

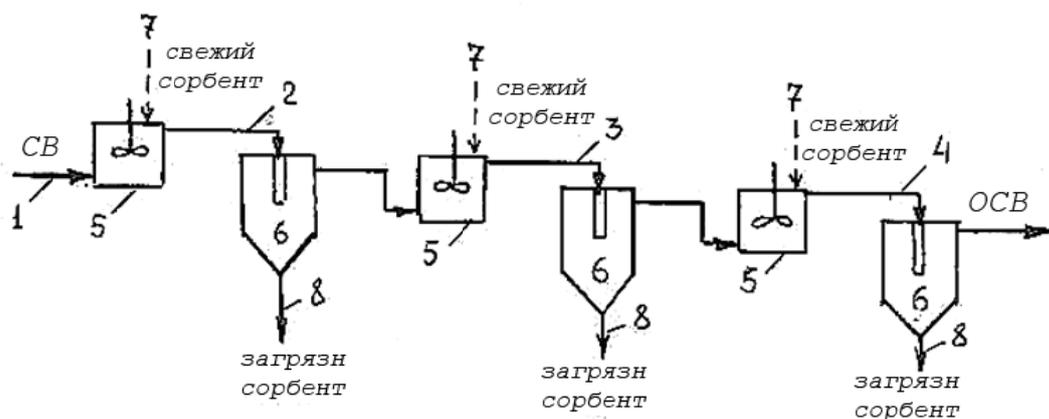


Рис. 66. Схема трехступенчатой сорбционной установки с последовательным введением сорбента: 1 – подача неочищенной воды; 2, 3, 4 – вода после первой, второй и третьей обработки сорбентом; 5 – мешалки; 6 – отстойники для выделения отработанного сорбента от воды; 7 – ввод в воду чистого сорбента; 8 – отвод отработанного сорбента из воды

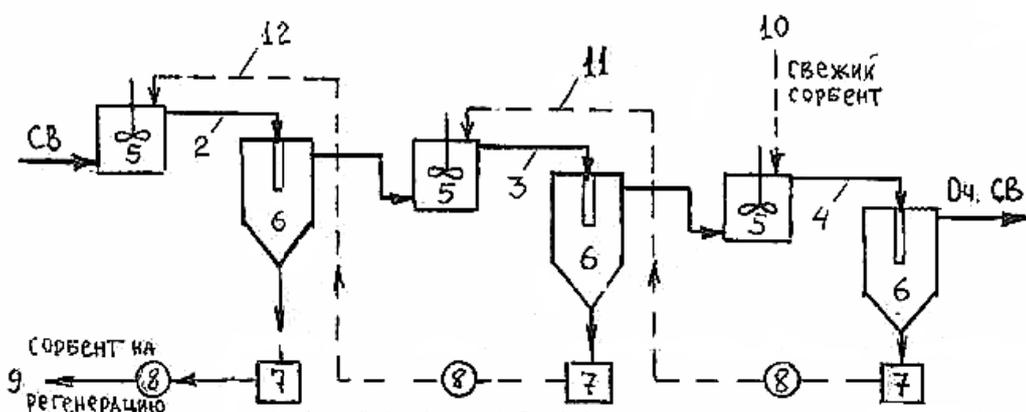


Рис. 67. Схема трехступенчатой сорбционной установки с противоточным введением сорбента: 1 – подача неочищенной воды; 2, 3, 4 – вода после первой, второй и третьей обработки сорбентом; 5 – мешалки; 6 – отстойники для отделения отработанного сорбента от воды; 7 – приемники отработанного сорбента; 8 – насосы для перекачки сорбента; 9 – отвод отработанного сорбента; 10 – ввод свежего сорбента; 11 – подача сорбента из третьей ступени во вторую; 12 – подача сорбента из второй ступени в первую

При последовательном введении сорбента на каждой ступени используется свежий сорбент и может быть обеспечена очистка СВ до минимальных концентраций.

Адсорбция растворенных веществ – результат перехода молекулы растворенного вещества из раствора на поверхность твердого сорбента под действием силового поля поверхности. При этом наблюдается два вида межмолекулярного взаимодействия: а) молекул растворенного вещества с молекулами (или атомами) поверхности сорбента; б) молекул растворенного вещества с молекулами воды в растворе (гидратация). Разность этих двух сил межмолекулярного взаимодействия и есть та сила, с которой удерживается извлеченное из раствора вещество на поверх-

ности сорбента. Чем больше энергия гидратации молекул растворенного вещества, тем большее противодействие испытывают эти молекулы при переходе на поверхность сорбента и тем слабее адсорбируется вещество из раствора. Сорбционная очистка наиболее рациональна, если в сточной воде содержатся преимущественно ароматические соединения, неэлектролиты, красители, непредельные соединения или гидрофобные (содержащие, например, хлор или нитрогруппы) алифатические соединения. При содержании в сточной воде только органических соединений, а также низших одноатомных спиртов этот метод не применим.

### Адсорбционная очистка производственных сточных вод в динамических условиях

Различают следующие виды адсорбционной очистки в динамических условиях:

1. Сорбция активированным гранулированным углем. Осуществляется фильтрацией сточной воды через насыпной фильтр с неподвижным слоем сорбента. Сточные воды предварительно освобождаются от взвешенных веществ. Наиболее часто применяют последовательную работу фильтров со скоростями фильтрации 1–6 м/ч; размеры частиц сорбента 1–5 мм (чаще 3–5 мм).

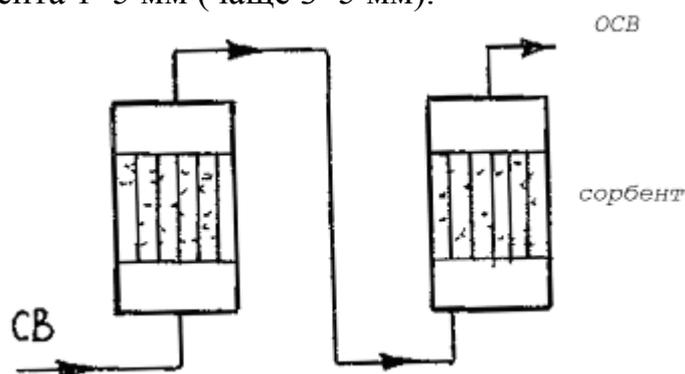


Рис.68. Схема адсорбционной очистки с неподвижным слоем сорбента.

Насыпной фильтр. Представляет собой колонну с неподвижным слоем сорбента, через который фильтруется сточная вода. Скорость фильтрации зависит от концентрации в сточной воде веществ и колеблется от 1 до 6 м/ч. Крупность зерен сорбента – 1,5–5мм. Фильтрация жидкости происходит снизу вверх. В колонне слой мелкого щебня и крупного гравия высотой 400–500 мм. Предохраняющий зерна сорбента от проваливания в подрешетное пространство и обеспечивающий равномерное распределение потока жидкости по всему сечению. Сверху слой сорбента для предотвращения выноса закрывают сначала слоем гравия, затем слоем щебня и покрывают решеткой. Фильтр с неподвижным слоем применяют при регенерации цеховых сточных вод с целью утилизации выделенных относительно чистых продуктов. Процесс десорбции осуществляют химическими растворителями или паром. Количество вещества, задерживаемого насыпным фильтром,

$$V = (H - h) F a_d,$$

где  $H$  – высота слоя сорбента, м;  $h$  – эмпирическая константа;  $F$  – площадь фильтра, м<sup>2</sup>;  $a_d$  – динамическая активность сорбента, кг/м<sup>3</sup>

Сорбция в динамических условиях позволяет более полно использовать емкость сорбента. Последнее вытекает из характера работы загрузки фильтра. По мере прохождения очищаемой жидкости через загрузку АУ (активированного угля) концентрация вещества в ней снижается за счет поглощения его сорбентом. Так же постепенно, начиная от входного сечения, увеличивается насыщенность сорбента извлекаемым из воды веществом. По прошествии некоторого времени сначала первый слой, а затем и последующие слои загрузки перестанут извлекать из воды загрязняющее вещество. При этом, очевидно, концентрация вещества в фильтрате, выходящем из этих слоев, будет равна первоначальному содержанию его поступающей на фильтр воде  $C_0$ . Для таких полностью насыщенных слоев эта концентрация  $C_0$  будет равновесной с предельной емкостью сорбента  $a_0$  в данных условиях. Обычно сорбционная установка представляет собой несколько параллельно работающих секций, состоящих из нескольких (трех – пяти) последовательно расположенных фильтров, что позволяет выключать на регенерацию головной фильтр лишь после того, как его загрузка достигнет предельного насыщения  $a_0$  и он перестанет извлекать из воды загрязняющее вещество. Это обстоятельство имеет большое экономическое значение, поскольку можно реже регенерировать АУ.

Сорбция в динамических условиях имеет также и такие эксплуатационные преимущества, как возможность автоматизации или диспетчеризации работы сорбционной установки. Для расчета сорбционных фильтров служит известное выражение И.А.Шилова

$$T = kH - \tau,$$

где  $T$  – время защитного действия сорбционного фильтра;  $H$  – высота слоя сорбционной загрузки (при нескольких последовательно работающих фильтрах  $H$  представляет собой общую высоту загрузки всех фильтров);  $K$  – коэффициент защитного действия;  $\tau$  – потеря времени защитного действия. Значение  $k$  определяется по формуле

$$K = \frac{a_0}{VC_0}$$

где  $a_0$  – равновесная с концентрацией предельная насыщенности сорбента;  $V$  – скорость фильтрации;  $C_0$  – концентрация загрязняющего вещества в исходной воде. Величина  $a_0$  устанавливается по экспериментальной изотерме сорбции (см. рис. 69).

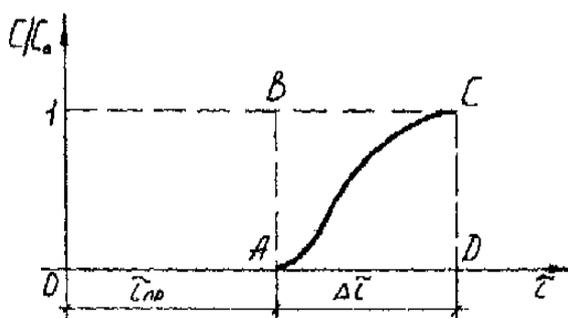


Рис. 69. Изотерма сорбции

Потеря времени защитного действия

$$\tau = \varepsilon \cdot t.$$

где  $\varepsilon$  – пористость активного угля.

$$\varepsilon = 1 - \bar{b}_n / \bar{b}_k$$

(здесь  $\bar{b}_n$  – насыпная плотность АУ;  $\bar{b}_k$  – кажущаяся плотность АУ);  $t$  – время, в течение которого концентрация вещества в фильтрате изменяется от концентрации сорбата при допустимом проскоке  $C_{д.н}$  до  $C_0$ .

2. Сорбция в псевдооживленном слое активированного угля. Вода пропускается через слой сорбента с диаметром частиц 0,25–1 мм со скоростью 7–10 м/ч; при этой скорости частицы сорбента взвешиваются восходящим потоком воды и насыщаются загрязнениями сточных вод. Весь процесс происходит в псевдооживленном слое с расширением его в 1,5 раза ( $H_{дин} / H_{ст} = 1,5$ ); контакт улучшается, процесс ускоряется. Чаще всего применяются одноступенчатые адсорберы с псевдооживленным слоем.

3. Сорбция на порошкообразном активированном угле. Уменьшение размеров частиц угля сильно влияет на процесс сорбции, например: при гранулированном угле для достижения состояния равновесия нужно несколько дней, для порошкообразного – несколько минут. Процесс очистки с использованием порошкообразного сорбента происходит в несколько ступеней.

Сорбционная очистка может быть регенеративной, т.е. когда извлеченные вещества утилизируются, или деструктивной. Регенеративные способы: а) экстрагирование органическим растворителем; б) изменение степени диссоциации слабого электролита в равновесном растворе; в) отгонка с водным паром; г) испарение адсорбированного вещества током инертного газообразного теплоносителя; д) химическое превращение сорбированных веществ с последующей десорбцией. При деструктивной очистке обычно применяют термические методы (рис. 70).

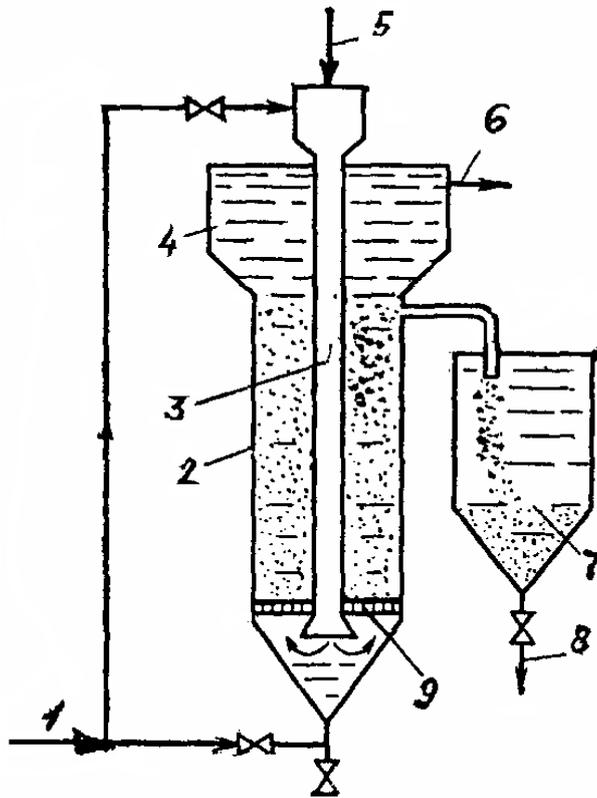


Рис. 70. Одноступенчатый адсорбер с псевдооживленным слоем сорбента: 1 – подача сточной воды; 2 – псевдооживленный слой сорбента; 3 – центральная труба с диффузором; 4 – зона отстаивания; 5 – подача сорбента; 6 – выпуск обработанной сточной воды; 7 – сгуститель сорбента; 8 – выпуск отработанного сорбента; 9 – распределительная решетка

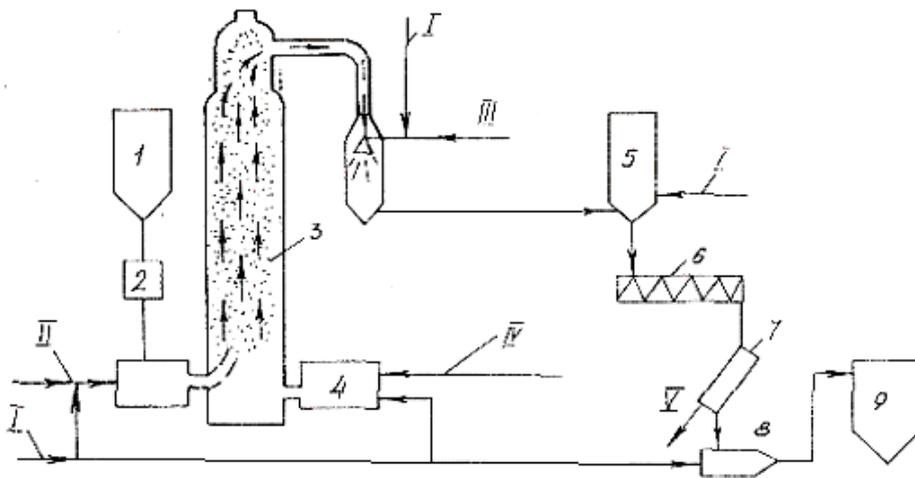


Рис.71 Установка термической регенерации высокодисперсного активированного угля: 1 – 1 У – трубопроводы для подачи воздуха, пара, воды и природного газа; У – трубопроводы для выпуска отходов; 1 – сборник отработанного угля; 2 – дозатор; 3 – регенератор; 4 – камера сгорания; 5 – сепаратор; 6 – шнек; 7 – фильтр; 8 – пневматический транспортер; 9 – сборник регенирированного угля

## Экстракционные методы очистки производственных сточных вод.

Экстракционный метод широко применяется для очистки сточных вод от органических примесей.

Использование метода экстракции экономически целесообразно при значительных концентрациях извлекаемых веществ или их высокой товарной ценности, а также при обработке высокотоксичных сточных вод, когда не приемлемы, либо не осуществимы другие известные методы.

При экстракции происходит извлечение из сточных вод растворенных в ней веществ с переходом их в другую несмешивающуюся с водой жидкость — экстрагент. Исходные сточные воды и экстрагент смешивают.

В результате взаимодействия фаз получают экстракт (раствор извлеченных веществ в экстрагенте) и рафинат (остаточный водный раствор). Полученную смесь экстракта с рафинатом отделяют друг от друга отстаиванием, иногда центрифугированием и вещества извлекают из экстрагента при регенерации. Экстрагент должен обладать следующими свойствами: иметь хорошую экстрагирующую способность по отношению к извлекаемому веществу, т.е. высокий коэффициент распределения; обладать определенной селективностью – способностью экстрагировать из сложной водной системы одно вещество или группу; отличаться малой растворимостью в воде; заметно отличаться плотностью от плотности воды, что обеспечивает быстрое и полное разделение фаз; иметь температуру кипения, значительно отличающуюся от температуры кипения экстрагируемого вещества, что обеспечивает легкость их разделения; не взаимодействовать с экстрагируемым веществом, материалом аппаратуры; иметь небольшую теплоту испарения на малую теплоемкость, что позволяет снижать расходы пара и охлаждающей воды; иметь возможно меньшую огнеопасность, взрывоопасность и токсичность; иметь низкую стоимость.

Методы экстрагирования органических веществ можно разделить на перекрестноточные (рис. 72), ступенчато – противоточные и непрерывно – противоточные.

При многоступенчатой перекрестной схеме сточная вода на каждой ступени контактирует со свежим экстрагентом, что требует значительных расходов.

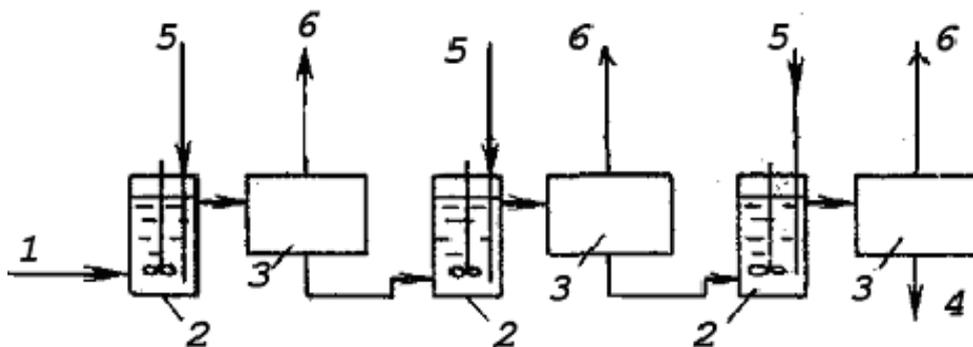


Рис. 72. Схема перекрестной многоступенчатой экстракции: 1–исходные сточные воды; 2 – экстрактор; 3 – отстойник; 4 – очищенные сточные воды (рафинат); 5 – экстрагент; 6 – конечный экстракт

При очистке сточных вод в качестве экстрагентов обычно применяют органические растворители (бензол, четыреххлористый углерод, бутилацетат и др.). Извлекаемое при экстракции вещество распределяется между экстрагентом и водой таким образом, что устанавливается динамическое равновесие, характеризуемое коэффициентом распределения:

$$K = C_{\text{Э}}/C_{\text{В}},$$

где  $C_{\text{Э}}$  и  $C_{\text{В}}$  – концентрация вещества в экстрагенте и в воде в момент равновесия.

Для выделения из производственных сточных вод, растворенных в них органических веществ (фенолов, жирных кислот) можно использовать способность этих веществ растворяться в какой-либо иной жидкости, не растворимой в очищаемой воде. Если такую жидкость прибавлять к сточной воде и перемешивать, то эти вещества будут растворяться в прибавленной жидкости, а концентрация их в сточной воде будет уменьшаться. Этот способ удаления растворенных веществ из сточной воды называется жидкостной экстракцией. Сущность этого процесса в том, что при тщательном перемешивании двух взаимно нерастворимых жидкостей всякое вещество, находящееся в растворе, распределяется между ними в соответствии со своей растворимостью согласно закону распределения. Удаляемые растворенные вещества – экстрагируемые вещества. Добавляемую не смешивающуюся со сточными водами жидкость называют экстрагентом. Экстрагенты, используемые для очистки сточных вод, – бутилацетат, изобутилацетат, диизопрпиловый эфир, бензол и др.

Эффективность процесса экстракции зависит от следующих факторов: величины поверхности взаимодействия между фазами, градиента концентрации извлекаемого вещества, скорости взаимного перемещения фаз, продолжительности контакта. Чем выше эти показатели, тем больше возрастают скорость процесса и полнота очистки.

В практике очистки сточных вод наиболее часто применяется многоступенчатая противоточная экстракция.

Исходные сточные воды и экстрагент поступают с противоположных сторон. Конечный экстракт удаляется из первой ступени установки, а очищенные сточные воды (рафинат) из последней ступени. При этом на последней ступени сточные воды, наиболее обедненные удаляемым компонентом, взаимодействуют со свежим экстрагентом, а на первой ступени исходные сточные воды – с близким к насыщению удаляемым компонентом (экстрактом). Благодаря этому достигается высокая средняя движущая сила процесса и более полная очистка сточных вод.

При многократной противоточной экстракции свежий экстрагент вводится в сточную воду на последнем этапе, когда концентрация загрязнений в воде мала, а загрязненный экстрагент смешивается с исходной сточной жидкостью (рис. 73). Это позволяет более полно использовать его экстрагирующую способность.

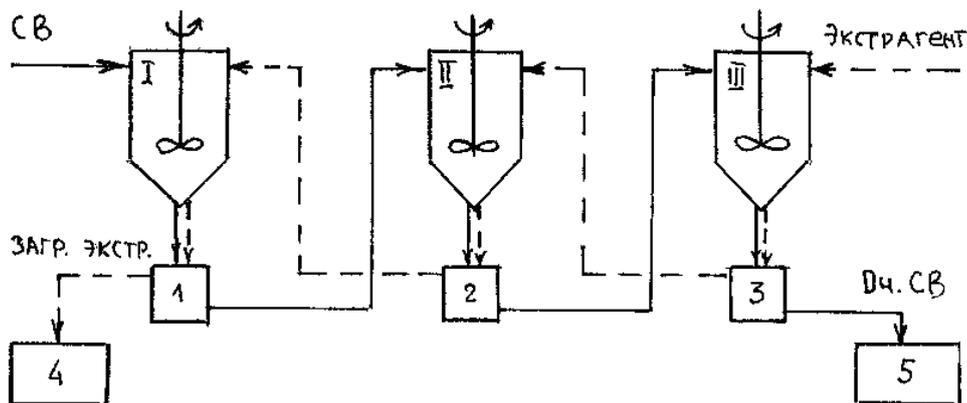


Рис. 73. Многократная экстракция с противотоком: I, II, III – экстракторы; 1, 2, 3 – отстойники; 4 – сборник загрязненного экстрагента; 5 – сборник очищенной воды

Для экстракции фенолов из сточных вод в качестве экстрагентов могут быть применены простые и сложные эфиры.

Непрерывная экстракция в одном аппарате по принципу противотока (рис. 74). Она является более экономичной. Производится в специальных аппаратах с загрузкой, позволяющей увеличить турбулизацию потока и перемешивание. Экстрактор представляет собой колонну с насадками, в которую подается вода и экстрагент. В тех случаях, когда удельный вес экстрагента меньше удельного веса воды, экстрагент подают снизу, как показано на схеме; при обратном соотношении удельных весов экстрагент подают сверху.

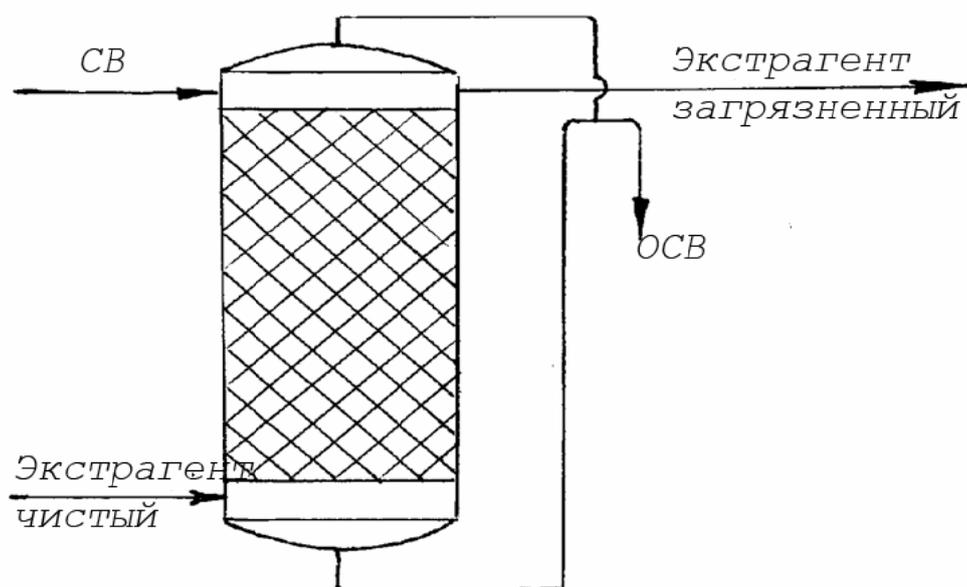


Рис. 74. Схема непрерывной экстракции с противотоком.

Чтобы поддержать постоянный уровень жидкости, воду выпускают из колонны через сифон, сообщающийся с ее верхней частью.

Поперечное сечение аппарата заполняется специальными перегородками и насадками для лучшего смешения.

Количество экстрагента при непрерывной противоточной экстракции значительно снижается (до 4–х раз) по сравнению с периодической экстракцией.

Размеры колонного экстрактора – его высота  $H$ , достаточная для достижения необходимой степени очистки сточной жидкости, и диаметр  $D$ , обеспечивающий необходимую производительность, находят графоаналитическим методом по лабораторным исследованиям хода процесса экстракции для каждого растворенного вещества и экстрагента.

Применение противоточных экстракционных колонн непрерывного действия целесообразно при многоступенчатой экстракции. Технологическая схема зависит от количества и состава сточной воды, свойств экстрагента, способов его регенерации и включает следующие четыре установки. 1. Установка подготовки сточной воды перед экстрагированием – отстойники, флотаторы, фильтры, нейтрализаторы, охладительные устройства. 2. Установка экстракции – колонна для улавливания паров экстрагента и резервуары (сборники экстрагента). Конструкция экстракционной колонны зависит от способа контакта сточной воды и экстрагента. Существуют колонны без насадки: распылительные, инсекторные. Насадки – блочные конструкции из керамики, металла, пластических масс, а также засыпные элементы, выполненные из керамики, металла (кольца Рашига, кольца Палля, седла Берля и др.). Для повышения интенсивности и эффективности перемешивания применяют тарельчатые колонны. Выбор типа колонны определяется необходимым числом ступеней экстракции и допустимыми затратами энергии. 3. Установка регенерации экстрагента. Отгонка осуществляется в насадочной колонне, в которой сверху подается очищенная сточная вода, а снизу – острый пар. Регенерация в зависимости от свойств экстрагента и его товарной стоимости может осуществляться отдувкой воздухом или другими газами. 4. Установка регенерации экстрагента из экстракта – теплообменник, подогреватель, одно– или двухступенчатая регенерационная (ректификационная) колонна, охлаждающие устройства, сепараторы, сборники регенерационного экстракта и экстрагируемых веществ. Данный метод применим для очистки сточных вод предприятий по термической переработке твердых топлив (каменного и бурого углей, сланцев, торфа), содержащих значительное количество фенолов. Эффект извлечения фенолов – 80–97%.

## Контрольные вопросы

1. Назначение сорбционных методов очистки производственных сточных вод.
2. Что такое адсорбция, абсорбция и хемосорбция?
3. Что собой представляет процесс адсорбционной очистки?
4. Сорбенты, используемые для очистки сточных вод.
5. Какими свойствами должны обладать сорбенты?
6. На какие виды подразделяют поры активных углей?
7. Чем характеризуется статическая активность сорбента?
8. Технологические схемы сорбционных установок с последовательным введением сорбента.
9. Технологические схемы сорбционных установок с противоточным введением сорбента.
10. Принцип расчета установок сорбционной очистки.
11. В чем преимущества сорбции в динамических условиях?
12. Сорбционная установка с неподвижным слоем сорбента и условия её применения.
13. Особенности расчета сорбционных фильтров.
14. Установка сорбционной очистки с подвижным слоем сорбента.
15. Принцип работы установки с псевдоожиженным слоем сорбента.
16. Как осуществляется регенерация сорбента?
17. Что представляет собой регенеративная сорбционная очистка сточных вод?
18. Установка термической регенерации сорбента.
19. Какие методы применяются при деструктивной очистке?
20. Как влияет уменьшение размера частиц активированного угля на процесс сорбции?
21. Назначение экстракционного метода очистки, сущность процесса.
22. Какими свойствами должен обладать экстракт?
23. Что применяют в качестве экстрагента?
24. Что характеризует коэффициент распределения при экстракционной очистке?
25. От чего зависит эффективность процесса экстракции?
26. Схема перекрестной многоступенчатой экстракции.
27. Схема непрерывной экстракции с противотоком.
28. Схема многократной экстракции с противотоком.

## ЛЕКЦИЯ 7. Метод ионного обмена. Электродиализ. Гиперфльтрация. Ультрафльтрация.

### Очистка производственных сточных вод методом ионного обмена

Ионный обмен применяется для очистки производственных стоков, отличающихся токсичностью загрязняющих веществ (циан, ртуть, мышьяк, хром, никель, цинк, медь и др.).

Гетерогенный ионный обмен или ионообменная сорбция – это процесс обмена между ионами, находящимися в растворе, и ионами, присутствующими на поверхности твердой части ионита. По знаку заряда обмениваемых ионов иониты делятся на катионы (проявляют кислотные свойства) и аниониты (проявляют основные свойства).

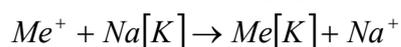
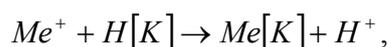
Иониты делятся на природные и искусственные (синтетические). Практическое значение имеют неорганические природные и искусственные алюмосиликаты, гидроксиды и соли многовалентных металлов, а также иониты, полученные химической обработкой угля, целлюлозы, лигнина. Ведущая роль принадлежит синтетическим органическим ионообменным смолам. Виды ионитов:

1.) Сильнокислотные катиониты, содержащие сульфатные группы и сильноосновные аниониты, содержащие четвертичные аммониевые основания;

2) Слабокислотные катиониты, содержащие карбоксильные  $\text{COOH}$  и фенольные группы, диссоциирующие при  $\text{pH} > 7$ , а также слабоосновные аниониты, содержащие первичные и вторичные аминогруппы, диссоциирующие при  $\text{pH} < 7$ ;

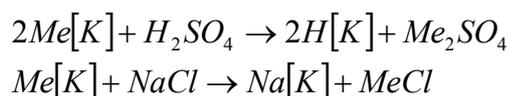
3) Смешанного типа, проявляющие свойства смеси сильных и слабых кислот или оснований. Важнейшим свойством ионитов является их способность к обменной емкости.

Полная емкость ионита – количество находящихся в воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 м<sup>3</sup> ионита до полного насыщения. Рабочая емкость ионита – количество находящихся в воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 м<sup>3</sup> ионита до начала проскока в фильтрат поглощаемых ионов. При соприкосновении с водой происходит набухание ионита за счет осмотических явлений, объем его увеличивается в 1,2–2 раза. На кинетику ионного обмена влияет также температура, концентрация ионов и др. характерная особенность ионитов – их обратимость, что и лежит в основе их регенерации. Если катиониты находятся в  $\text{H}$ -форме или  $\text{Na}$ -форме, обмен катионов будет проходить по реакции,

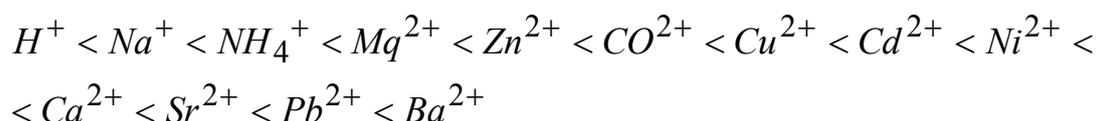


где  $\text{Me}^+$  – катионы, находящиеся в сточной воде;  $\text{K}$  – сложный комплекс катионита. Сильнокислотные катиониты позволяют осуществлять реакцию обмена при любых  $\text{pH}$ , а слабокислотные – при  $\text{pH} \geq 7$ .

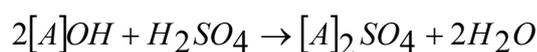
Регенерация катионитов происходит при промывке кислотой (при  $\text{H}$ -катионите) или раствором  $\text{NaCl}$  (при  $\text{Na}$ -катионите):



Поскольку в сточной воды содержится, в основном, несколько катионов, большое значение имеет селективность их поглощения. Для каждого вида катионита установлены ряды катионов по энергии их вытеснения. Например, для катионита КУ–2



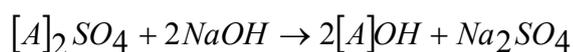
Слабоосновные аниониты поглощают анионы сильных кислот:



где [A] – сложный органический комплекс анионита. Для большинства анионов справедлив следующий ряд поглощающей способности:



Регенерация слабоосновных анионитов достигается фильтрованием через слой анионита, 2–4%-ных водных растворов NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> или NH<sub>4</sub>OH.



Ионообменная очистка осуществляется в аппаратах периодического действия (фильтрах) и непрерывного действия. При очистке сточных вод, загрязненных взвешенными веществами, применяют ионообменные колонны с псевдоожиженным слоем ионита. Процесс регенерации ионитов состоит из взрыхления ионита, собственно регенерации, отмывки ионита от продуктов регенерации и избытка регенерирующего вещества. Объем промывных вод – 75–100% объема регенерационных растворов.

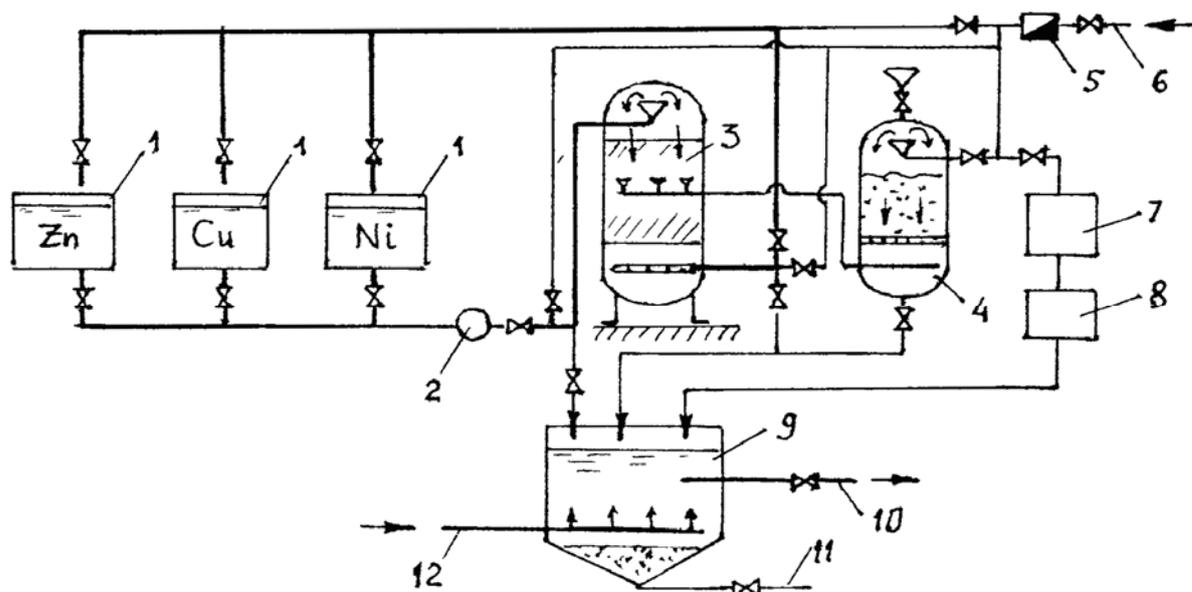


Рис. 75 Ионнообменный способ очистки оборотной воды от тяжелых металлов: 1 – ванна для промывки деталей; 2 – насос; 3 – натрий-катионитовый фильтр; 4 – соле-растворитель; 5 – водомер; 6 – водопровод; 7 – бак раствора щелочи; 8 – дозатор раствора щелочи; 9 – емкость для нейтрализации стоков и осаждения гидроокиси цинка, меди и никеля; 10 – выпуск в канализацию; 11 – отвод осадка; 12 – подвод сжатого воздуха

Ионный обмен применяется для очистки производственных сточных вод от мышьяка, фосфора, хрома, цинка, свинца, меди, ртути и др. металлов, ПАВ, радиоактивных веществ с утилизацией ценных примесей и последующим оборотным использованием воды. Ионный способ очистки оборотной воды от тяжелых металлов (рис. 75) обеспечивает высокий (до 100%) эффект очистки от ионов цинка, меди, никеля. Рабочий цикл (показано на схеме жирными линиями) осуществляется до момента появления в фильтрате ионов удаляемого металла сверх допустимых пределов, после чего производится регенерация загрузки катионита. Содержание солей контролируется.

### Процесс регенерации

1. Взрыхление катионита водопроводной водой ( $q = 3$  л/с на  $m^2$  площади фильтра;  $t = 15$  мин).

2. Регенерация катионита. Осуществляется 10% раствором поваренной соли. Расход соли – 200 г на 1 г-экв. сорбированных ионов. Отработанный раствор сбрасывается в емкость 9 для нейтрализации и осаждения гидроокисей металлов. Продолжительность регенерации катионита  $t_2 = 25$  мин.

3. Отмывка катионита осуществляется обычно водопроводной водой ( $q_{уд} = 4$   $m^3$  на  $1 m^3$  катионита,  $t_3 = 50$  мин). Вода собирается в емкость 9.

Перспективным направлением является применение ионообменных аппаратов непрерывного действия (рис. 76), которые в отличие от обычных ионообменных фильтров не требуют остановки оборудования для регенерации ионита. Аппарат непрерывного действия. Ионит движется по замкнутому контуру, последовательно проходя стадии сорбции, регенерации, промывки. Состоит из ионообменной емкости, выполненной в виде усеченного конуса. Внутри конуса находится второй усеченный конус, где происходят процессы регенерации и отмывки. Сточная вода в колонну поступает через трубу с коническими насадками. Пройдя через псевдосжиженный слой ионита, сточная вода выходит из верхней части колонны. Отработанный ионит осаждается в нижней части колонны, откуда через трубчатое устройство с помощью эрлифта или эжектора подается в верхнюю часть колонны. Во внутреннем полем усеченном конусе скорость движения потока воды уменьшает с помощью регулятора, что способствует вовлечению отработанного ионита в этот конус и последующему осаждению его в нижней части ионообменной колонны. Регенерационный раствор подается в нижнюю часть внутреннего усеченного конуса, а отводится из верхней части. Регенерированный ионит, продолжая опускаться навстречу восходящему потоку воды, промывается и переходит в рабочую зону колонны. Аппарат прост конструктивно и эффективен в работе.

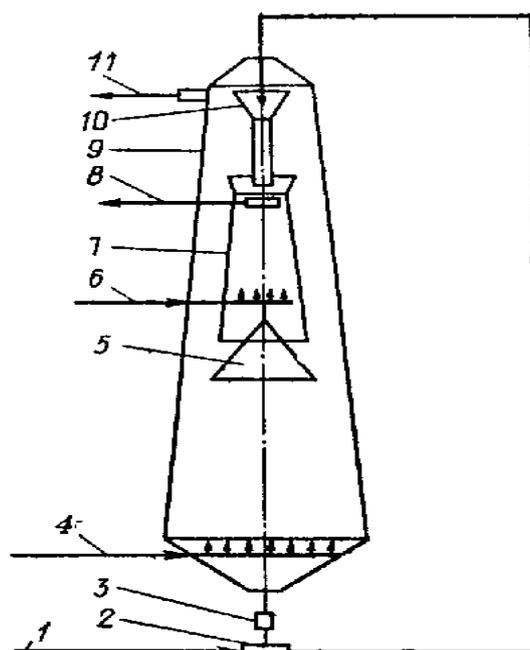


Рис. 76. Ионообменный аппарат непрерывного действия: 1 – подача рабочей жидкости для транспортирования ионита; 2, 3 – устройства соответственно для транспортирования и отбора ионита; 4 – подача сточной воды; 5 – регулятор скорости движения потока воды в регенераторе; 6 – подача регенерационного раствора; 7 – внутренний корпус для регенерации ионита; 8 – отвод послерегенерационного раствора; 9 – ионообменная колонна; 10 – воронка для приема отработанного ионита; 11 – выпуск очищенной сточной воды.

Выбор схемы ионообменной очистки и обессоливания сточных вод производится в зависимости от назначения установки, состава и расходов сточных вод, требований к качеству очищенной воды.

Очистка и частичное обессоливание сточных вод, имеющих слабокислую или нейтральную реакцию, от ионов 2- и 3- валентных металлов, при отсутствии или малом содержании катионов щелочных металлов, а также аммония, анионов слабых кислот (карбонатов, силикатов, боратов) или допустимости их присутствия в очищенной воде производится по одноступенчатой схеме последовательным фильтрованием через катионит в водородной форме и слабоосновный анионит в гидроксильной форме. При наличии в воде, подвергаемой очистке, окислителей (хромат- и бихроматионов), в качестве анионообменника необходимо применять слабоосновные аниониты АН-18-10П, АН-251 или сильноосновный анионит АВ-17, стойкие к окислительному действию указанных ионов (рис. 77 а).

Для более глубокой очистки сточных вод от анионов слабых кислот (боратов, силикатов) применяют схему с одноступенчатым Н-катионированием и 2-ступенчатым анионированием (рис. 77 б). На первой ступени анионирование производится с использованием слабоосновных анионитов, на второй ступени используются сильноосновные аниониты.

Для обессоливания и очистки сточных вод при большом содержании катионов щелочных металлов и аммония, а также при наличии ионов 2- и 3-валентных металлов целесообразно применять 2-ступенчатое Н-катионирование (рис. 77, в).

При наличии в обрабатываемой воде большого количества солей угольной кислоты, для предотвращения быстрого истощения емкости сильноосновных анионитов 2-й ступени анионирования, из воды, после Н-катионирования, удаляется углекислота в специальных дегазаторах с насадкой из колец Рашига, с деревянной хордовой насадкой или в других массообменных аппаратах (рис. 77, г).

В ряде случаев для стабилизации показателя рН очищенной воды или глубокого обессоливания ее и удаления анионов слабых кислот вместо анионитовых фильтров второй ступени или после них используют фильтры смешанного действия (ФСД), загружаемые сильнокислотными катионитами и сильноосновными анионитами.

Содержание взвешенных веществ в воде, поступающей на ионообменные фильтры, не должно превышать 8 мг/л. Величина ХПК не должна быть более 8 мг О/л. В противном случае в схему ионообменной установки включаются сооружения предочистки с механическими и сорбционными фильтрами (рис 77, з).

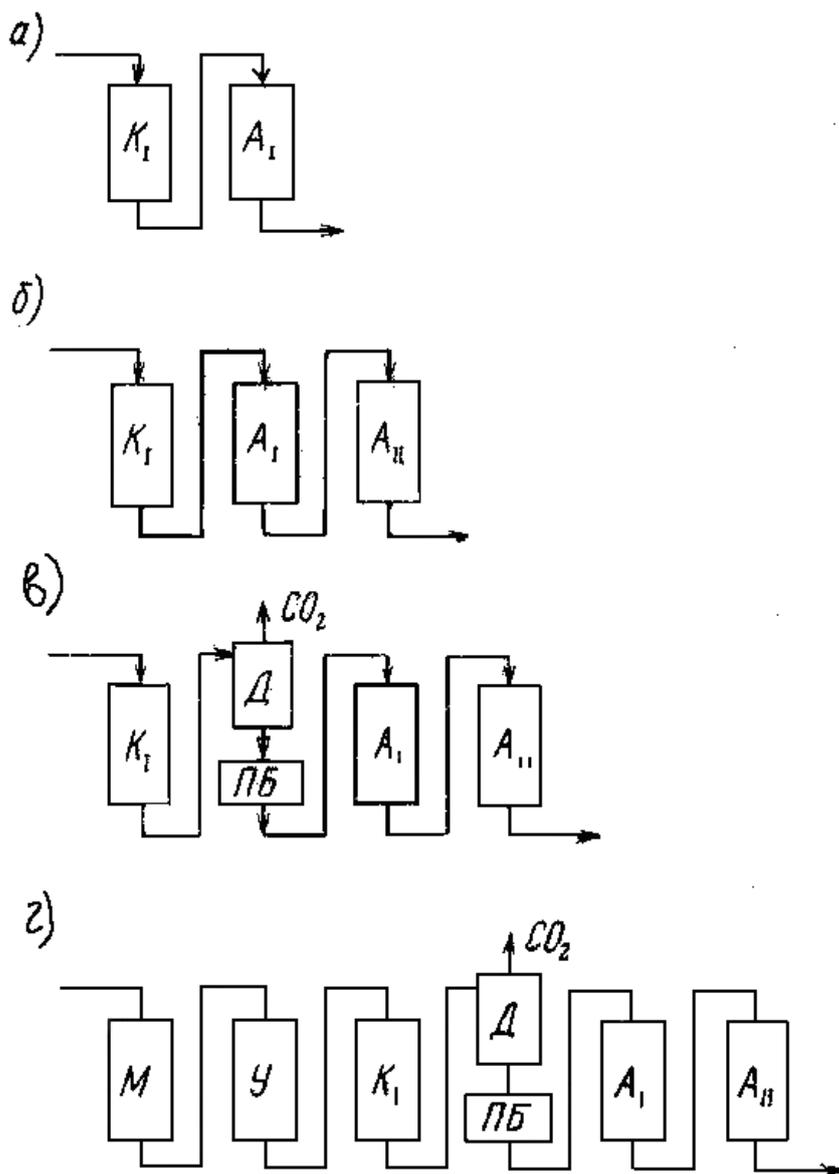


Рис. 77. а) – одноступенчатая схема для очистки и частичного обессоливания сточных вод; б) – схема очистки и полного обессоливания сточных вод с двухступенчатым анионированием; в) – схема очистки и полного обессоливания сточных вод с двухступенчатым катионированием и двухступенчатым анионированием; г) – схема очистки и полного обессоливания сточных вод с двухступенчатым анионированием, удалением углекислоты дегазацией и предочисткой на механических и сорбционных фильтрах:  $K_I$  и  $K_{II}$  – Н – катионовые фильтры I и II ступени;  $A_I$  и  $A_{II}$  – ОН – анионитовые фильтры I и II ступени; Д - декарбонизация; ПБ – промежуточный бак; М – механические фильтры; У – сорбционные фильтры; Ф – фильтры смешанного действия (ФСД).

### Применение электродиализа и гиперfiltrации для обессоливания производственных сточных вод

Электродиализ — процесс сепарации ионов солей, осуществляемый в мембранном аппарате под действием постоянного электрического тока, применяемый для опреснения высокоминерализованных сточных вод.

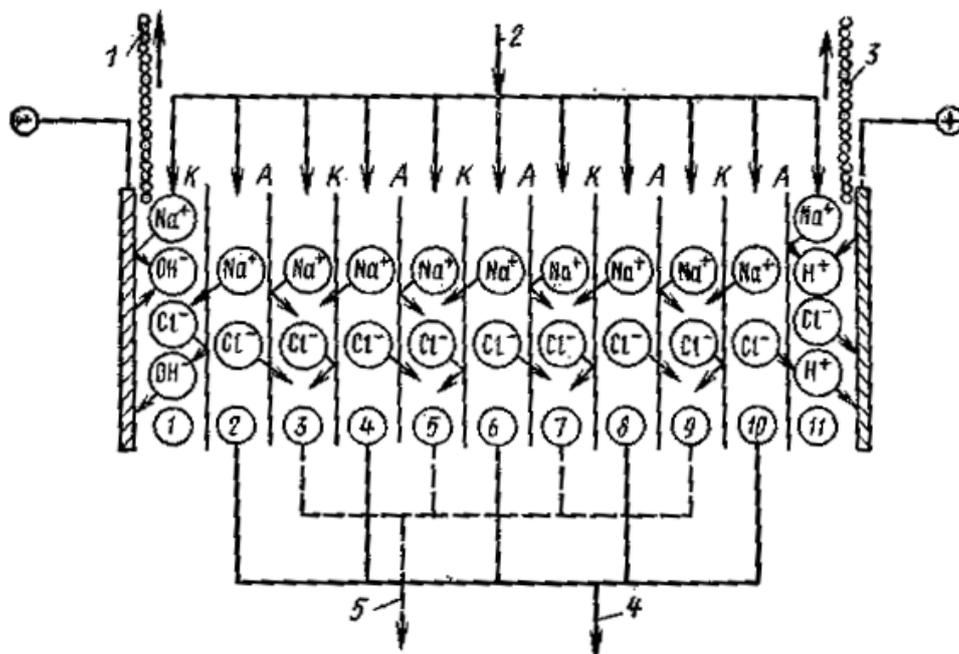


Рис 78. Схема процесса электродиализа (цифры в кружках – номер камер) А - анионитовые мембраны; к – катионитовые мембраны; 1 – выход газообразного водорода; 2 – подача сточной воды; 3 – выход газообразных кислорода и хлора; 4 – выпуск обессоленной воды; 5 – выпуск концентрированного рассола

Электродиализатор разделен чередующимися катионитовыми и анионитовыми мембранами, образующими концентрирующие (рассольные) и обессоливающие (дилюатные) камеры. Под воздействием постоянного тока катионы, двигаясь к катоду («—»), проникают через катионитовые мембраны, но задерживаются анионитовыми, а анионы, двигаясь в направлении анода («+»), проходят через анионитовые мембраны, но задерживаются катионитовыми. В результате этого из одного ряда камер (например, четных) ионы обоих знаков выводятся в смежный ряд камер (рис. 78).

Мембраны для электродиализатора изготовляют в виде гибких листов прямоугольной формы или рулонов из термопластичного полимерного связующего и порошка ионообменных смол. В табл.4 приведены основные свойства иононитовых мембран, выпускаемых отечественной промышленностью.

## Основные свойства ионитовых мембран

Марка	Толщина, мм	Ионообменная емкость, мг-экв/г	Селективность в 0,1 н. растворе NaCl	Электрическое сопротивление, Ом/см <sup>2</sup>		Прочность на разрыв, МПа
				Удельное	Поверхностное	
Анионитовые мембраны						
Ma-40	0,5-0,7	3-4,4	0,94	200-	12-17	12-13
Ma-	0,3	2-2,3	0,97	250	3,5-6	12-14
100	0,6	3,5	0,93	150-	—	—
A-4	0,1	5	0,96	180	1	8
PMA				—		
				104		
Катионитовые мембраны						
МК-40	0,4-0,7	2,3-2,5	0,96	180-	9,8-16,2	12-15
МК-	0,3	2,5-2,8	0,97	203	2,4-5	12-15
100	0,;-0,7	2	0,96	120-	—	—
K-2	0,3	1,9	0,86	150	13	13
PMK-				—		
10				208		

Электродиализные аппараты применяются двух типов: прокладочные и лабиринтные. Электродиализаторы прокладочного типа (ЭДУ-50, ЭХО-М-5000Х200, «Родник-3») имеют горизонтальную ось электрического поля; их пропускная способность 2–20 м<sup>3</sup>/ч. Электродиализаторы лабиринтного типа (Э-400М, ЭДУ-2, ЭДУ-1000, АЭ-25) имеют вертикальную ось электрического поля; их пропускная способность 1–25 м<sup>3</sup>/ч. Оптимальная область применения электродиализаторов – при концентрации солей в сточной воде 3–8 г/л. Во всех конструкциях электродиализаторов в основном применяют электроды, изготовленные из платинированного титана. Для эффективной работы аппаратов большое значение имеет промывка приэлектродных камер, что предохраняет крайние мембраны от разрушения продуктами электролиза.

Технологические схемы электродиализных установок (ЭДУ) состоят из следующих узлов: аппаратов предварительной подготовки исходной воды; собственно электродиализной установки; кислотного хозяйства и системы сжатого воздуха; фильтров, загруженных активированным углем БАУ или АГ-3. Технологические схемы бывают следующих типов:

1) прямоточные ЭДУ, в которых сточная вода последовательно или параллельно проходит через аппараты установки и солесодержание воды снижается от исходного до заданного за один проход;

2) циркуляционные (порционные) ЭДУ, в которых определенный объем частично обессоленной воды из бака дилюата перекачивается через мембранный электродиализный аппарат обратно в бак до тех пор, пока не будет достигнута необходимая степень обессоливания;

3) циркуляционные ЭДУ непрерывного действия, в которых часть сточной воды непрерывно смешивается с частью неполностью обессоленной воды (дилюата), проходит через электродиализатор и подается потребителю или в резервуар очищенной воды;

4) ЭДУ с аппаратами, имеющими последовательную гидравлическую систему движения потоков в рабочих камерах.

Каждая из указанных выше технологических схем имеет определенные преимущества и недостатки, и их выбор производится на основании технико-экономических расчетов. Исходными параметрами для расчета являются: конкретные местные условия, пропускная способность ЭДУ, солесодержание и состав обрабатываемых сточных вод. Например, при суточном расходе более 300—500 м<sup>3</sup> сточных вод считается рациональным применение технологических схем проточного типа.

**Применение мембран обессоливания.** Для мембран обессоливания, работающих при больших давлениях, возможно как параллельное, так и последовательное соединение модулей.

Обратный осмос (гиперфльтрация) применяется для выделения из воды тончайших примесей на уровне молекул и ионов, поэтому в установках обессоливания значительную роль, в отличие от установок осветления, играет осмотическое давление раствора. Наиболее широко обратный осмос используется для обессоливания воды и доочистки СВ от растворенных органических и минеральных примесей, гидратированных ионов солей, мельчайших коллоидных примесей, бактерий и вирусов. Связь между осмотическим давлением и концентрацией раствора определяется законом Вант-Гоффа

$$P_{\text{осм}} = CRT$$

где  $P_{\text{осм}}$  – осмотическое давление, Па;  $C$  – концентрация моль/м<sup>3</sup>,

$$C = \frac{\text{концентрация, кг / м}^3}{\text{молярная масса, кг / моль}};$$

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8.314$  Дж·К/моль;  $T$  – температура, °К.

Для преодоления значительного гидравлического сопротивления мембран и осмотического давления раствора и растворителя нужно создать перед мембраной рабочее давление, значительно превышающее осмотическое, в пределах от 4 до 10 МПа. При этом будет происходить переход растворенных веществ из концентрированного раствора в разбавленный. Это явление называется обратным осмосом.

Перенос воды через мембрану характеризуется уравнением:

$$Q_S = K_p \cdot S(\Delta P - \Delta P_{\text{осм}})K_t,$$

где  $Q_\phi$  – расход воды, прошедшей через мембрану;  $K_p$  – коэффициент проницаемости мембраны по воде;  $S$  – площадь поверхности мембраны;  $\Delta P$  – разность давлений по обе стороны мембраны;  $\Delta P_{\text{осм}}$  – разность осмотических давлений по обе стороны мембраны;  $K_t$  – температурный коэффициент, учитывающий влияния вязкости воды.

Расход воды при увеличении температуры на каждые  $15^\circ\text{C}$  возрастает на 2,5–3%.

Перенос вещества через мембрану не зависит для данного раствора и данной мембраны от величины прикладываемого давления:

$$Q_S = K_S \cdot S \cdot \Delta C \cdot K_t$$

где  $K_S$  – коэффициент проницаемости мембраны в отношении растворенного вещества;  $\Delta C$  – разность концентраций ионов по обе стороны мембраны;  $\Delta C = C_m - C_p = C_E \cdot \psi - C_p$ ;  $C_p$  – концентрация ионов за мембраной.

Концентрация солей в фильтрате:

$$C_p = \frac{Q_S}{Q_P} = \frac{K_S \cdot C_m - C_p}{K_p \cdot \Delta P - \Delta P_{\text{осм}}}.$$

Так как  $C_p$  мала по сравнению с  $C_m$ :

$$C_p = \frac{K_S \cdot \psi \cdot C_c}{K_p \cdot (\Delta P - \Delta P_{\text{осм}})}$$

Степень концентрирования раствора перед мембраной:

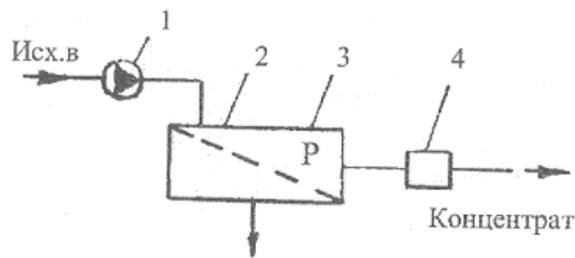
$$CK = \frac{C_R}{C_c}$$

где  $C_R$  — концентрация солей в отводимом рассоле.

Суммарный проход соли PS зависит от выбора мембраны

$$PS = \frac{C_p}{C_E}$$

В существующих обратноосмотических аппаратах (рис. 79) исходная сточная вода (раствор) под давлением  $P$  проходит мембрану и собирается в приемнике.



Фильтрат (оч. вода)

Рис. 79. Схема процесса очистки воды методом обратного осмоса: 1 – насос; 2 – мембранный модуль; 3 – полупроницаемая мембрана; 4 – редукционный клапан

Размеры пор мембраны могут изменяться в широких пределах и определяются размерами задерживаемых загрязнений. Концентрат растворенных загрязнений отводится в специальную емкость из напорной камеры через клапан, редуцирующий давление до атмосферного. При содержании растворенных загрязнений (5–10) % потребное рабочее давление  $P$  составляет (5–10) МПа (обычно не более 8 МПа). Эффективность процесса определяется типом и свойствами применяемых мембран, а диаметр задерживаемых частиц – размерами пор. Основными характеристиками их являются:

- удельная производительность (проницаемость)  $q$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ ;
- селективность (разделяющая способность);
- стойкость и прочность;
- стоимость.

В промышленности применяют ацетатцеллюлозные, плоские (листовые), трубчатые, спиральные (рулонные) мембраны и полиамидные мембраны из полых волокон с внутренним диаметром 24–80 мкм. Последние более устойчивы к воздействию химических и биологических факторов, более долговечны. При эксплуатации под влиянием высокого давления и засорения проницаемость мембран снижается. Срок службы ацетатцеллюлозных мембран составляет 2–3 года, полиамидных 3–5 лет. Отечественная промышленность выпускает гиперфильтрационные ацетатные мембраны МГА–80, МГА–90, МГА–95 (цифра указывает процент улавливания примесей, т.е. характеризует селективную способность мембраны). Они рассчитаны на давление  $P = 1 \dots 8$  МПа, температуру  $T \leq 30$  °С и  $\text{pH} = 3 \dots 8$ . Пропускная способность (проницаемость) этих мембран составляет соответственно 0,6; 0,35 и 0,25  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ .

При обработке воды обратным осмосом в объеме установки до мембраны происходит концентрирование примесей, которые могут осаждаются на поверхности мембраны, выводя их из строя. Содержание веществ в концентрате непосредственно связано с коэффициентом выхода фильтрата.

$$K_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{Q} \cdot 100\%$$

где  $Q_{\phi}$  – расход фильтрата,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $Q$  – расход исходной воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; солесодержание концентрата

$$S_k \approx \frac{100}{100 - K_\phi} \cdot S_{исх}$$

где  $S_{исх}$  – концентрация веществ в исходной воде, мг/л.

Для обратного осмоса (гиперфльтрации) рабочее давление обычно составляет от 5 до 80 бар, а удельный выход фильтра  $q_{vd} = 10...40$  л/м<sup>2</sup> ч. Для нанофльтрации рабочее давление составляет от 3 до 12 бар, проход одновалентных солей – 10...80 %, двухвалентных – от 1 до 10 %. Растворенные органические вещества задерживаются также как на осмотических мембранах,  $q_{vd} = 50...1000$  л/м<sup>2</sup>-ч.

Преимущества нанофльтрации по сравнению с гиперфльтрацией:

- пониженные значения  $\Delta P_{осм}$  и энергопотребления;
- более экономичны для частичного обессоливания с обеспечением необходимого умягчения воды;

- обеспечивается очистка от органических загрязнений (обесцвечивание, удаление пестицидов и т.п.) при меньшей опасности забивания мембран.

По сравнению с традиционными способами обработки воды методы гиперфльтрации и нанофльтрации обладают рядом преимуществ:

- энергозатраты относительно не велики;
- установки просты и компактны;
- химикаты не применяются;
- не требуется высокой квалификации обслуживающего персонала;
- фильтрат может использоваться по оборотной схеме;
- ввиду уменьшения объема концентрата он может быть легко использован или уничтожен.

Однако следует подчеркнуть, что большое влияние на стоимость процесса обессоливания оказывает качество исходной воды и требуемая глубина обессоливания. Необходимо тщательно учитывать затраты на предварительную обработку воды, особенности эксплуатации установок и соответствующие эксплуатационные затраты.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение ионного обмена, сущность процесса.
2. Классификация ионитов.
3. Что такое рабочая емкость ионита и его полная емкость.
4. Составить уравнения реакций обмена катионов при использовании H – и Na – катионов.
5. Как осуществляется регенерация ионитов?
6. Составить уравнения реакции регенерации H – и Na – катионов.
7. Составить уравнения реакции обмена анионов
8. Как осуществляется регенерация слабоосновных анионов, составить уравнения реакций.

9. Когда применяются ионообменные установки с псевдооживленным слоем ионита?
10. Составить схемы установок ионного обмена.
11. Сущность и схема процесса электродиализа.
12. Типы электродиализных аппаратов.
13. Схема процесса электродиализа.
14. Какие типы электродиализных аппаратов применяются?
15. Назначение обратного осмоса (гиперфильтрация).
16. Схема осмотического процесса.
17. Что выражает закон Вант-Гоффа ?
18. От чего зависит эффективность процесса очистки методом обратного осмоса?
19. Какие мембраны применяются при гиперфильтрации?
20. В чем преимущества нанофильтрации по сравнению с гиперфильтрацией?

## **ЛЕКЦИЯ 8. Биологическая очистка производственных сточных вод.**

### **Биологическая очистка производственных сточных вод**

Биологическая очистка производственных сточных вод применяется для удаления из воды растворенных органических веществ. Наиболее часто происходит биохимическое их окисление в природных или искусственно созданных условиях. В первом случае для этого используются почвы, проточные и замкнутые водоемы (реки, озера, лагуны и т. п.), во втором – специально построенные для очистки сооружения (биофильтры, аэротенки и другие окислители различных модификаций). Эти сооружения аналогичны сооружениям очистки бытовых сточных вод; специфичны лишь исходные расчетные данные (нагрузки по воде и по количеству загрязняющих веществ на единицу объема сооружения), которые определяются особенностями состава производственных стоков.

При очистке бытовых и производственных сточных вод сложно удалять тонкодисперсные и растворенные органических веществ. Для извлечения таких примесей используются биологические, точнее биохимические процессы, осуществляемые комплексом различных видов микроорганизмов, способных адаптироваться (приспосабливаться) к условиям среды, т.е. к составу воды, концентрации в ней загрязнений, к температуре и активной реакции среды.

Биологическая очистка сточных вод основана на способности, микроорганизмов использовать в качестве питательного субстрата, находящиеся в сточных водах органические вещества (кислоты, спирты, белки, углеводы и т.д.), которые являются для них источником углерода, а азот – из аммиака, нитратов, аминокислот и др.; фосфор и калий – из минеральных солей этих веществ. В процессе питания микроорганизмов происходит прирост их био массы.

Процесс биологической очистки условно разделяют на две стадии (протекающие одновременно, но с различной скоростью): адсорбция из сточных вод тонкодисперсной и растворенной примеси органических и неорганических веществ поверхностью тела микроорганизмов и разрушение адсорбированных веществ внутри клетки микроорганизмов при протекающих в ней биохимических процессах (окис-

лении, восстановлений). Обе стадии наблюдаются как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Соответственно и микроорганизмы разделяются на две группы: аэробные и анаэробные.

Суммарное количество органических веществ, которое может быть изъято и разрушено комплексом микроорганизмов, зависит в основном от биомассы этого комплекса. Скорость же изъятия веществ и их окисления зависит от многочисленных факторов: от структуры веществ и их концентрации, от их сочетания в очищаемых водах и способности взаимодействовать, от степени их токсичности и т.д.

Биохимическому окислению могут подвергаться и некоторые минеральные вещества: например, сероводород с помощью серобактерий окисляется до элементарной серы и серной кислоты; аммиак окисляется до азотистой и азотной кислоты (нитрификация).

В количественном отношении биомасса не остается постоянной. В зависимости от условий жизнедеятельности микроорганизмов в процессе очистки она может уменьшаться или увеличиваться. Прирост ее зависит от соотношения между количеством органических веществ, поддающихся биохимическому распаду, выраженным БПК, и общим количеством органических веществ, содержащихся в очищаемой сточной жидкости, выраженным ХПК. Чем больше величина этого соотношения, тем выше прирост биомассы, так как происходит он за счет разницы в количестве органического вещества, оцениваемого по ХПК и БПК. В производственных сточных водах соотношение БПК и ХПК колеблется в пределах от 0 до 0,9.

Зависимость между приростом биомассы и БПК необходимо учитывать при выборе типа биоокислителя. Очевидно, что для очистки стоков с большой ХПК и малой БПК нельзя применять биофильтры обычной конструкции с мелко- и даже крупнозернистым загрузочным материалом, так как будет неизбежным их заиливание биопленкой и нарушение нормальной работы. В этом случае рекомендуется применять аэротенки. Прирост биомассы трудно определить расчетом, поэтому его устанавливают экспериментально при изучении сточных вод и выяснении возможных, наиболее эффективных методов их очистки или принимают по данным эксплуатации очистных сооружений для аналогичных сточных вод. При ориентировочных расчетах можно пользоваться (по данным ВНИИ ВОДГЕО) уравнением

$$P_p = K(XPK - BPK_{полн}),$$

где  $P_p$  – прирост биомассы активного ила в аэротенках, рассчитанных на полную очистку;  $K$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий количество ила; для промышленных сточных вод  $K = 0,1-0,9$ , или уравнением

$$P_p = \frac{XPK_n - XPK_0 - BPK_n - BPK_0}{r} - a$$

где  $XPK_n$ ,  $XPK_0$  – химическая потребность кислорода соответственно в неочищенной и очищенной воде;  $BPK_n$ ,  $BPK_0$  – биологическая потребность кислорода соответственно в неочищенной и очищенной воде;  $a$  – убыль биомассы активного ила вследст-

вие автолиза за время пребывания жидкости в аэротенке;  $r$  – ХПК 1 мг биомассы активного ила.

Теоретические расчеты технологического процесса биологической очистки производственных сточных вод осложняются большим разнообразием их состава не только в различных отраслях промышленности, но и на предприятиях одной и той же отрасли. В производственных стоках наряду с трудноокисляющимися веществами нередко встречаются и токсичные. Попадая в биологические окислители, эти вещества могут снижать скорость процесса или совсем его останавливать, что нарушает нормальную работу очистных сооружений, снижает полноту очистки и повышает ее стоимость.

Влияние токсичных веществ значительно ослабляется при применении биологических окислителей, обеспечивающих высокую интенсивность процесса окисления. Допустимая концентрация токсичных веществ, при которой возможно биологическое их окисление, зависит от природы этих веществ.

Весьма разнообразно влияние на биохимические процессы органических токсичных веществ. Многие из них служат источником углерода для микроорганизмов, вследствие чего они могут перерабатываться при значительных концентрациях в очищаемых сточных водах. Однако процесс их биохимического окисления протекает замедленно, особенно в его начале; по мере приспособления микроорганизмов интенсивность процесса повышается и через какой-то период времени достигает максимального своего значения. Продолжительность периода адаптации зависит от вида токсичных веществ и их концентрации; обычно он занимает до двух месяцев и лишь иногда больше.

Существенное влияние на ход биохимического процесса очистки сточных вод имеет соотношение между количеством загрязняющих веществ и биомассой комплекса микроорганизмов, осуществляющих процесс. Эта связь используется при проектировании и эксплуатации очистных сооружений и выражается так называемой нагрузкой загрязнений, г, на единицу биомассы, г. Последняя является основным исходным параметром при технологическом расчете наиболее распространенных современных окислителей – аэротенков. О возможности очистки производственных сточных вод судят по многим показателям качественной и количественной их характеристики. Основными из них являются: способность органических веществ сточных вод биохимически окисляться; эта способность определяется по соотношению БПК и ХПК; концентрация загрязняющих веществ; наличие и концентрация веществ, способных оказывать токсическое воздействие на микроорганизмы; активная реакция сточных вод.

Многие виды производственных стоков лишь в какой – то мере удовлетворяют всем перечисленным требованиям биологической очистки и нуждаются в предварительной подготовке к ней (например, сульфатные и сульфитные щелоки предприятий целлюлозно-бумажной промышленности имеют резко кислую реакцию и весьма высокую концентрацию органических веществ; стоки фабрик искусственного волокна, отработавшие воды цехов гальванопокрытий, травильных ванн и др. содержат недопустимые количества токсичных веществ).

Первым этапом подготовки производственных сточных вод любого вида к последующей их очистке следует считать возможно полное извлечение из них ценных

примесей, например: фенолов – из газогенераторных стоков; кислот и щелочей – из сточных вод от производства искусственного волокна; волокна – из стоков целлюлозно-бумажной промышленности; купороса - из стоков травильных цехов и т. д. В результате не только собирается ценное сырье, но и снижается общая загрязненность стоков. Часто предварительная подготовка производственных сточных вод к биологической очистке сводится к снижению начальной концентрации в них загрязняющих веществ. В этих случаях ограничиваются разбавлением концентрированных стоков. В качестве разбавляющей воды используются условно-чистые производственные воды и биологически очищенные стоки; последние можно применять лишь в тех случаях, если они не содержат токсичных веществ, которые не разрушаются биохимически и при повышении их концентрации за счет рециркуляции могут затормозить или приостановить биохимические процессы окисления органических веществ разбавляемой сточной жидкости. Количество рециркулируемой биологически очищенной воды, как правило, не должно превышать 25% разбавляемого стока. Сильнощелочные или кислые производственные стоки нередко приходится предварительно нейтрализовать до оптимального значения активной реакции 6,5–8,5. Отрицательное влияние на ход биологических процессов оказывает наличие в сточных водах нерастворенных примесей, особенно таких, как нефть, масла, смолы и др. Возможно полное удаление их необходимо предусматривать при предварительной обработке производственных стоков, направляемых на биологическую очистку; остаточное количество взвешенных веществ не должно превышать 150 мг/л независимо от химической природы примесей. Ограничивается также концентрация растворенных солей: общее их количество, как правило, не должно превышать 10 г/л, хотя из практики известно, что биологическая очистка успешно протекает и при значительно более высокой концентрации солей.

Одной из особенностей производственных сточных вод является сложность и непостоянство их состава. Это необходимо учитывать при выборе типа окислителей и технологической схемы их работы. При очистке стоков с резкими колебаниями их состава необходимо иметь в виду возможность периодических нарушений нормальной жизнедеятельности микроорганизмов-минерализаторов и снижение эффекта биологической очистки. Поэтому следует предусматривать возможность регулирования нагрузки (по загрязняющим веществам) на очистные сооружения, которая должна соответствовать изменившемуся составу сточных вод, а также меры по восстановлению жизнедеятельности микроорганизмов.

В зависимости от местных условий эти требования выполняются различным образом. В одних случаях устраивают регулирующие емкости, рассчитанные на прием избыточного (против проектного) количества воды с последующим сбросом ее на очистные сооружения; в других - повышают предварительную очистку сточных вод за счет более длительного их отстаивания, коагуляции (в том числе) повышенными дозами коагулянта, предварительной аэрации стоков и т. п.

Особенно важное значение при биологической очистке имеет регулирование количества биомассы и сохранение ее активности. В аэротенках это достигается регенерацией циркулирующего активного ила. Наличие регенераторов в комплексе сооружений очистной станции исключает вероятность выхода из строя на длитель-

ный период биоокислителей при попадании в сточную воду каких-либо веществ, оказывающих токсическое действие на биоценоз окислителей.

Другой особенностью производственных стоков является наличие в них загрязняющих веществ, окисляющихся с различной скоростью и требующих для окисления различные количества кислорода. С этим связана неравномерность потребления кислорода в процессе очистки. Скорость его потребления зависит от ряда факторов, в том числе от характера загрязнений сточных вод, и пропорциональна биомассе микроорганизмов, осуществляющих окисление. Следует иметь в виду, что даже при одинаковой биомассе она может быть различной. В меньших пределах колеблется биомасса микробного комплекса (активного ила в аэротенках или биопленки в биофильтрах). Оптимальная концентрация активного ила для производственных сточных вод большинства видов, как показывает практика их очистки, 2,5–3 г/л. Определение ее теоретическим путем крайне затруднено вследствие большого числа определяющих факторов.

Одно из основных исходных положений, на котором базируется расчет биоокислителей для сточных вод относительно стабильного состава (например, бытовых вод), а именно строгая пропорциональность между скоростью потребления кислорода и БПК сточных вод, в подавляющем большинстве случаев очистки производственных стоков нарушается, что отрицательно отражается на ходе процесса очистки.

Неравномерность режима потребления кислорода в процессе биохимической очистки сточных вод вызывает необходимость подачи воздуха в соответствии с этим режимом. В окислителях с принудительной аэрацией необходимое соответствие достигается путем дифференцированной подачи воздуха и биомассы. Нарушение оптимального соотношения между биомассой и подаваемым количеством воздуха при его недостаточности приводит к ряду крайне нежелательных последствий: снижению активности биомассы, к вспуханию активного ила в аэротенках, к плохому отделению его в отстойниках и к повышению его влажности – все это нарушает нормальную работу очистных сооружений и снижает степень очистки сточных вод.

Вероятность неблагоприятных условий, создающихся при очистке производственных стоков, особенно велика в тех случаях, когда стоки содержат большое количество легко окисляющихся органических веществ. Эффективными мерами борьбы с такими явлениями служат повышенная интенсивность аэрации в той зоне аэротенка, где скорость потребления кислорода достигает максимума; к положительным результатам приводит и снижение концентрации активного ила.

В системах с принудительной подачей воздуха общее его количество и интенсивность аэрации следует определять по максимальной концентрации активного ила, а не по средним значениям этих показателей. Это вызывает некоторое увеличение стоимости очистки сточных вод, но зато повышает санитарную надежность работы очистных сооружений, что во многих случаях имеет важное значение.

Снабжать биоокислители кислородом воздуха следует непрерывно. Общее его количество, подаваемое в сооружение, должно быть таким, чтобы в выходящей из вторичного отстойника очищенной воде было не менее 2 мг/л кислорода.

Скорость и полнота процесса биологической очистки зависят от температуры среды, она должна быть не ниже 6<sup>0</sup>С и не выше 40<sup>0</sup>С.

Степень очистки воды в биоокислителях любого типа зависит от начальной концентрации поступающих на них сточных вод – поэтому предварительной их очистке следует уделять большое внимание.

При повышенном содержании в сточных водах трудно оседающих примесей целесообразно предусматривать предварительную аэрацию или биокоагуляцию таких вод. В результате достигается более высокий эффект удаления взвешенных веществ при последующем отстаивании, а также значительное снижение БПК. Необходимая продолжительность аэрации в обоих случаях 10-20 мин. при интенсивности 5-10 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади аэратора (в плане). Расход воздуха на 1 м<sup>3</sup> аэрируемой жидкости составляет 0,3-0,5 м<sup>3</sup>. Эффект снижения начальной концентрации нерастворенных примесей таким путем удается увеличивать на 10–25%, примерно на столько же снижается количество органических веществ. Высококонцентрированные по органическим веществам сточные воды до подачи их на биоокислители можно подвергать сбраживанию в метантенках. Целесообразность такой предварительной обработки производственных стоков и ее эффективность определяются в каждом случае экспериментально, так как общих для всех видов стоков количественных показателей еще не установлено. Если по характеру загрязнений производственных сточных вод к ним применимы те же методы очистки, что и к бытовым водам, то по технико-экономическим показателям, как правило, целесообразна совместная их обработка. Однако к решению вопроса о возможности их объединения следует подходить с большой осторожностью, особенно при биохимической очистке объединенного стока. Здесь необходимо учитывать не только имеющиеся данные о режиме притока, количестве и составе производственных стоков при существующем профиле промышленного предприятия, используемом им сырье и технологии его обработки, но и вероятные изменения этих показателей в будущем при расширении и реконструкции предприятия. Недостаточный учет их может привести к тому, что очистная станция не будет обеспечивать такую степень очистки стоков, какая предусматривалась при ее проектировании, а это может привести к необходимости расширения или переустройства станции. Кроме того, необходимо также учитывать неизбежность бактериального загрязнения производственных стоков и трудности их последующего обеззараживания.

Объединение производственных сточных вод с бытовыми допустимо, если количество их мало по сравнению с количеством бытовых вод и если производственные стоки не нарушат нормальную работу очистных сооружений.

Промышленные сточные воды, направляемые на биологическую очистку, должны удовлетворять определенным требованиям:

- в промышленных сточных водах должны содержаться растворенные и коллоидные органические загрязнения;
- вода должна содержать необходимое количество биогенных элементов (азот, фосфор, калий и др.);
- БПК<sub>20</sub> сточной воды не должно быть очень большим (БПК<sub>20</sub> ≤ 1000 мг/л);
- оптимальное рН = 7...8 (допускается рН = 6,5...9);
- содержание ВВ ≤ 150 мг/л;
- температура СВ 6...30 °С (оптимальная 20 °С);

- сточные воды не должны содержать ядовитых веществ в концентрациях выше допустимых (например, свинец  $\leq 5$  мг/л; медь  $\leq 10$  мг/л);
- общее солесодержание должно быть  $< 10$  г/л;

В необходимых случаях для соблюдения этих требований стоки подвергаются предварительной специальной обработке механическими, физико-химическими и другими способами для снижения концентрации вредных и ядовитых веществ, БПК, изменения рН среды, охлаждения.

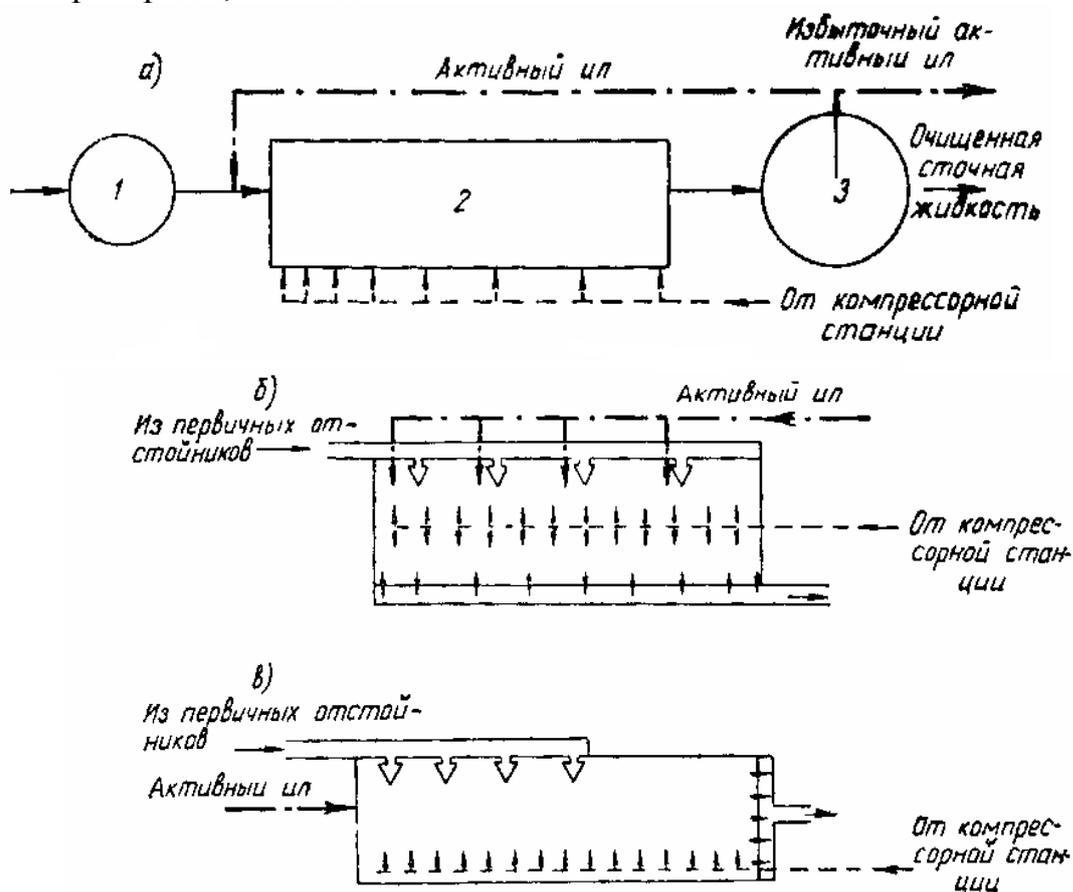


Рис. 80. Схемы аэротенков: а–аэротенк – вытеснитель с рассредоточенной подачей воздуха; б–аэротенк-смеситель с рассредоточенной подачей сточной жидкости и активного ила; в–аэротенк-смеситель с рассредоточенной подачей сточной жидкости; 1–первичный отстойник; 2–аэротенк; 3– вторичный отстойник

Для снижения БПК часто применяют также разбавление промышленных сточных вод бытовыми стоками и речной водой. Бытовые стоки содержат все необходимые биогенные вещества и их всегда рекомендуется добавлять к промышленным сточным водам для обеспечения нормальной жизнедеятельности бактерий, особенно в пусковой период.

При отсутствии бытовых сточных вод в промышленных сточных вод добавляют:

- удобрения в виде порошка или растворов (суперфосфат и др.);
- измельченный бытовой мусор.

В качестве основных сооружений для биохимической очистки ПСВ применяют те же, что и при очистке бытовых сточных вод (аэротенки, высоконагружаемые

биофильтры, поля фильтрации, биопруды и т.д.). Если  $\text{БПК}_{20} < 500$  мг/л, применяют обычные аэротенки–вытеснители (АВ); при  $\text{БПК}_{20} > 500$  мг/л – аэротенки–смесители (АС), предложенные проф. Н.А.Базякиной. Преимущество аэротенков–смесителей в том, что скорость потребления кислорода в аэротенке постоянная.

Аэротенки–вытеснители (АВ) представляют собой сооружения, в которых очищаемая сточная вода постепенно перемещается от места впуска к месту ее выпуска. При этом не происходит активного перемешивания поступающей сточной воды с ранее поступившей, протекающие в этих сооружениях процессы биохимического окисления загрязнений характеризуются переменной скоростью реакции, поскольку концентрация органических загрязнений уменьшается по ходу движения воды. Аэротенки–вытеснители весьма чувствительны к изменению концентрации органических веществ в поступающей воде, особенно к залповым поступлениям со сточными водами токсических веществ, поэтому такие сооружения рекомендуется применять для очистки городских и близких по составу к бытовым промышленных сточным водам при исходной  $\text{БПК}_{20} < 500$  мг/л. Иногда для выравнивания скорости окисления органических веществ в аэротенках – вытеснителях предусматривается дифференцированная подача воздуха.

Преимущества аэротенков–вытеснителей по сравнению с аэротенками–смесителями:

- простота конструкции;
- меньший объем и стоимость.

Недостатки:

• чувствительность к изменению концентрации органических соединений и токсичных веществ.

В них выравнивается скорость потребления кислорода во всех частях сооружения за счет интенсивного смешения поступающей жидкости с водой, находящейся в нем. Оно достигается децентрализованным впуском поступающей воды и активного ила или только поступающей воды. На таких сооружениях можно очищать воду с  $\text{БПК}_{20}$  до 1000 мг/л.

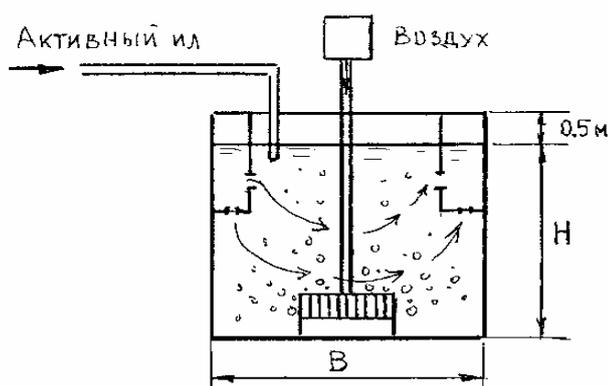


Рис. 81. Аэротенк – смеситель (поперечное сечение)

Для высококонцентрированных сточных вод (при  $\text{БПК}_{20} \geq 1000$  мг/л) широко применяют 2–х ступенчатые схемы очистки:

- Аэротенк I –й ступени – смеситель;
- Аэротенк II –й ступени – вытеснитель.

При этом I ступень устраивается с регенерацией активного ила; II ступень – без регенерации.

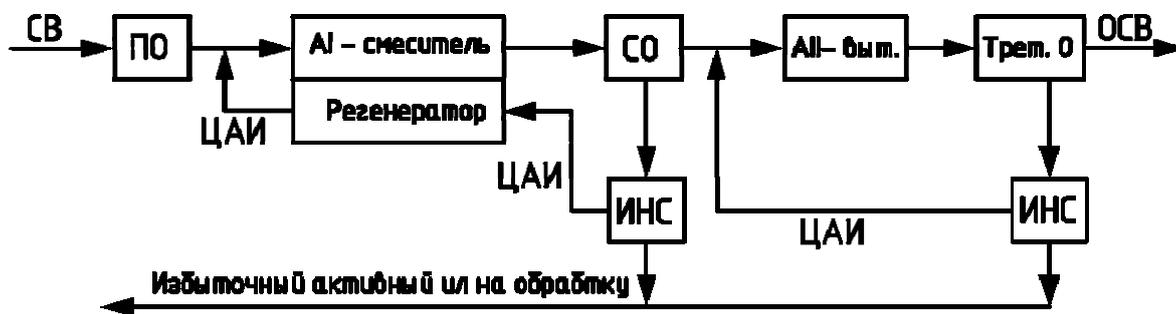


Схема двухступенчатой очистки сточных вод в аэротенках

Рис. 82. Схема двухступенчатой очистки сточных вод в аэротенках

Аэротенки – отстойники это комбинированные сооружения, представляющие собой аэротенк, совмещенный со вторичным отстойником. Практически все аэротенки–отстойники с механическими аэраторами относятся к аэротенкам–смесителям.

### Биологическая очистка высококонцентрированных сточных вод

В сточных водах на некоторых предприятиях содержатся очень большие концентрации органических загрязнений (до 30 г/л).

Очистка таких стоков в аэробных условиях неэкономична, так как требуется предварительное разбавление по БПК до 1000 мгО<sub>2</sub>/л, что приводит к увеличению расхода сточных вод и стоимости очистных сооружений, поэтому предварительно такие сточные воды подвергают анаэробному сбраживанию в метантенках, доводя концентрацию органических загрязнений до приемлемых значений.

Сбраживание проводится в 2 ступени. Для стоков пивоваренных заводов, дрожжевых, сахарных, винокуренных и консервных заводов, фабрик первичной переработки шерсти.

Сбраживанию подвергают только часть наиболее концентрированной сточной воды, что позволяет органические загрязнения уменьшить в 10...20 раз.

При этом снижается БПК<sub>20</sub> с 10000мгО<sub>2</sub>/л до 1000мг О<sub>2</sub>/л, а при БПК<sub>20</sub> > 10000 примерно до 2000 О<sub>2</sub>мг/л.

Доочистку после метантенков производят по 2–х ступенчатой схеме:

1. Аэротенк– смеситель.
2. Аэротенк– вытеснитель.

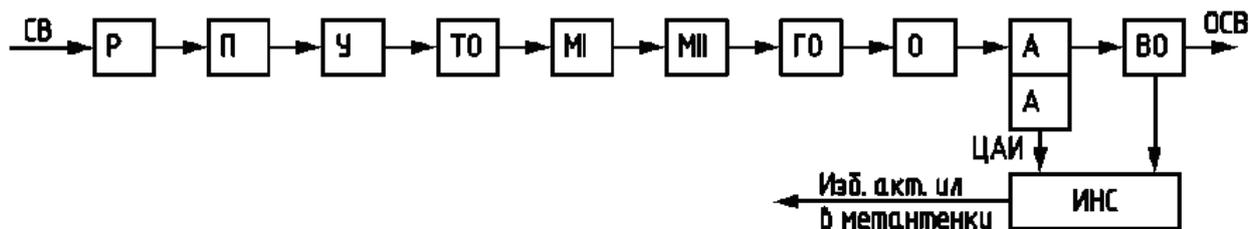


Рис. 83. Схема биологической очистки высококонцентрированных сточных вод: Р – решетка; П – песколовка; У – усреднитель; ТО – теплообменник; МІ – метантенк 1-й ступени; МІІ – метантенк 2-й ступени; ГО – газоотделитель; О – отстойник (Т = 2 ч); А – аэротенк; ВО – вторичный отстойник; ИНС – иловая насосная станция; РЕГ – регенератор.

После обычной биологической очистки производственные сточные воды содержат значительное количество загрязнений, то их подвергают доочистке. Для этой цели используют методы:

- фильтрации (скорые фильтры, контактные осветлители и т.д.). При этом БПК снижается на 70...80%, ХПК снижается на 30...40%, концентрация нефтепродуктов снижается на 40%, концентрация ВВ – на 70...80%;
- окисления, флотации, сорбции и др.;
- биологической доочистки.

В качестве сооружений биологической доочистки широко применяют биологические пруды, биореакторы, биосорберы.

Биореактор разработан в НИИ ВОДГЕО, по конструкции представляет собой биофильтр, совмещенный с каркасно – засыпным фильтром. Они используются в составе сооружений доочистки пропускной способностью 2 – 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут. В биореакторах качество очистки по БПК<sub>полн</sub> на 50 – 60 % выше, чем у каркасно – засыпных фильтров.

Исследования в НИИ ВОДГЕО показали высокую эффективность применения биосорберов. В результате доочистки на биосорберах биологически очищенных сточных вод их БПК<sub>полн</sub> снижается до 1,5 – 3 мгО<sub>2</sub>/л, ХПК на 40 – 60 %, практически полностью удаляются СПАВ и нефтепродукты, содержание взвешенных веществ не превышает 3 мг/л.

Биологические пруды устраивают прямоугольными в плане; они состоят из 4–х секций; их располагают перпендикулярно к направлению господствующих ветров. Пруды бывают с естественной и искусственной аэрацией. Объем прудов:

$$W = Q \cdot T;$$

$$T = \frac{C_n - C_0}{R}, \text{сут},$$

где  $C_n$ ,  $C_0$  – концентрация загрязнений в поступающих и выходящих из пруда стоков по БПК<sub>20</sub>, мг/л;  $R$  – скорость изъятия загрязнений, кг/м<sup>3</sup> · сут.

Наиболее широко применяются аэрируемые пруды

Для интенсификации процесса в I и II секцию вводят микроводоросли и высшую водную растительность, а в III секции используется зоопланктон.

Концентрация водорослей летом составляет 100...150мг/л, съём планктона 200...250мг/л. Флотаторы используются для выделения водорослей. Центрифуги – для концентрации водорослей (обезвоживания) с целью уменьшения их объема.

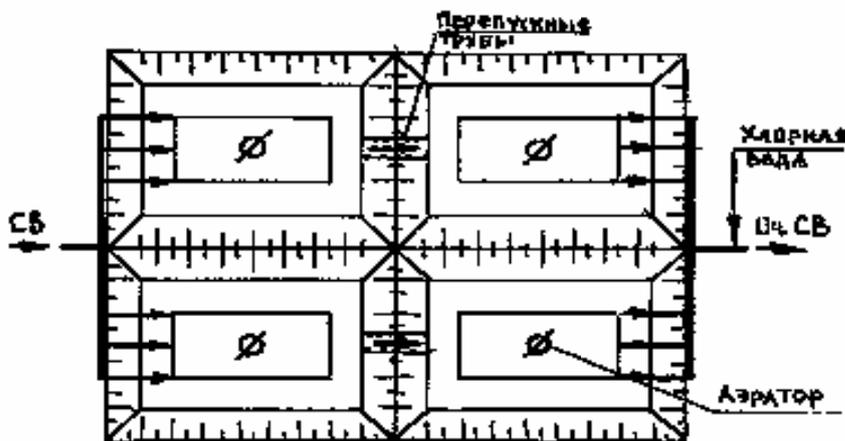


Рис. 84. Схема биологического пруда с механической аэрацией.

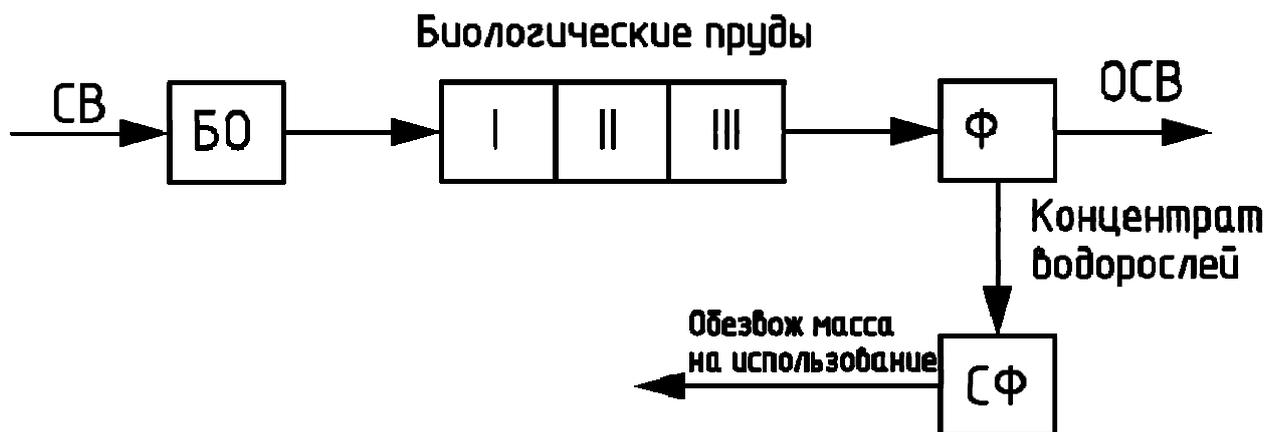


Рис. 85. Технологическая схема доочистки СВ в аэрируемых биологических прудах с использованием водорослей: БО – сооружения биологической очистки; I, II, III – секции пруда; Ф – флотатор; ЦФ – центрифуга.

### Очистка сточных вод в биологических прудах.

Искусственно созданные или естественные водоемы, используемые для очистки сточных вод под воздействием природных процессов самоочищения, называются биологическими прудами. Применяться пруды могут как в качестве самостоятельных сооружений биологической очистки, так и в сочетании с аэротенками или биофильтрами для целей доочистки биологически очищенных в них сточных вод. К достоинствам биопрудов относят сравнительно низкие строительные и эксплуатационные затраты, хорошее качество очистки при условии эффективного илоотделения, высокую стабилизацию ила, буферную способность при залповых сборо-

сах сточных вод, колебаниях рН, температуры, достаточную степень обеззараживания сточных вод и изъятия из нее биогенных веществ. Следует, однако, отметить зависимость работы прудов от климатических условий, сравнительно высокую потребность в заливных площадях, из-за низких скоростей окисления загрязнений, необходимость периодической чистки, затруднения с отделением и отведением ила при высоких на него органических нагрузках. В процессах, протекающих в биопрудах, наблюдается полный природный цикл разрушения органических загрязнений. Однако воздействие на работу прудов различных факторов (осаждение органических веществ, отмирание и размножение водорослей, сезонные и суточные снижения температур, небольшая глубина проникания солнечных лучей в воду и пр.) существенно затрудняет поддержание равновесия между самоочищающей способностью прудов и поступающей в них массой органических загрязнений, в результате чего в прудах могут создаваться как аэробные, так и аэробно-анаэробные условия. Пруды, постоянно работающие в аэробных условиях, получили название аэрируемых, а пруды с переменными условиями (или при наличии в них аэробных и анаэробных зон) называются факультативными или аэробно-анаэробными (рис. 86). Не следует допускать образования и развития постоянных анаэробных процессов, поскольку при них выделяются неприятные запахи и размножаются комары и мошки.

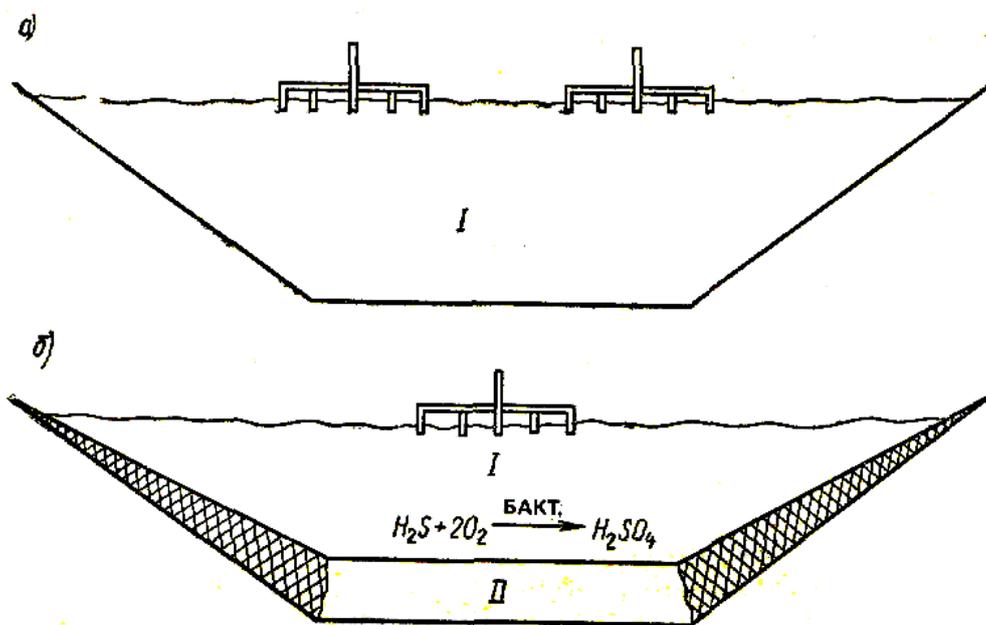


Рис. 86. Биологические пруды

а). – аэрируемый; б). – аэробно – анаэробный; I – зона аэробная; II – зона анаэробная

Аэробные условия в прудах могут поддерживаться либо за счет естественного поступления кислорода из атмосферы и фотосинтеза (естественно аэрируемые пруды), либо за счет принудительной подачи воздуха в воду путем применения той или иной системы аэрации (пруды с искусственной аэрацией).

Конструируются пруды в виде нескольких (от двух до пяти) последовательно работающих секций, из которых последняя в случае искусственной аэрации предназначена для отделения ила, т.е. отстойная секция.

Всесторонний учет достоинств и недостатков биологических прудов показывает, что наиболее целесообразным является их применение для доочистки биологически очищенных сточных вод до остаточной концентрации БПК<sub>полн</sub> = 4÷6 мгО<sub>2</sub>/л, а опыт их эксплуатации выявил необходимость введения искусственной аэрации. Поскольку в прудах с естественной аэрацией практически полностью отсутствует перемешивание, даже то незначительное количество кислорода, которое поступает за счет поверхностной реаэрации (0,6—1,3 г на 1 м<sup>3</sup> пруда в 1 сут), не потребляется, так как оседающий на дно пруда активный ил практически не участвует в очистке. Накопление донных осадков в течение холодного периода года и развитие анаэробных условий в них в теплое время являются причиной повышенного выноса взвешенных веществ летом из-за флотации их газообразными продуктами распада.

Вследствие равномерного распределения биомассы по объему сооружения и должного снабжения ее кислородом искусственная аэрация позволяет в 1,5—2 раза повысить скорости изъятия и окисления загрязнений, исключить сезонные колебания в работе прудов, обеспечить постоянное и более высокое качество очистки в течение всего года.

Учет скоростей окисления загрязнений в прудах и количества находящейся в них активной биомассы позволяет не только более обоснованно оценить окислительную способность прудов и осуществить расчет как самих прудов, так и системы аэрации на основе необходимой степени очистки, но и обеспечить технологический контроль за работой прудов. секций.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение и условия применения биологической очистки производственных сточных вод.
2. От чего зависит суммарное количество органических веществ, которое может быть разрушено микроорганизмами?
3. От чего зависит скорость изъятия органических веществ и их окисление?
4. На какие стадии условно разделяют процесс биологической очистки?
5. Что оказывает влияние на ход биохимического процесса очистки?
6. Что показывает биохимическое потребление кислорода?
7. Что показывает химическое потребление кислорода?
8. От чего зависит прирост биомассы?
9. Требования к промышленным сточным водам, направленным на биологическую очистку.
10. Конструкции сооружений для биологической очистки производственных сточных вод (аэротенки-вытеснители).
11. Когда можно очищать воду на аэротенках-смесителях, и какова особенность их конструкции?
12. Как осуществляется биологическая очистка высококонцентрированных сточных вод?
13. Схема биологической очистки высококонцентрированных сточных вод.

14. Какие методы используются для доочистки биологически очищенных сточных вод?
15. Схема доочистки СВ в аэрируемых биологических прудах.
16. За счет чего поддерживаются аэробные условия в прудах?
17. Вследствие чего искусственная аэрация позволяет повысить скорость изъятия и окисления загрязнений?

## **ЛЕКЦИЯ 9. Современные технологии обработки осадков и их утилизации.**

### **Особенности методов и конструкций сооружений по обработке осадков производственных сточных вод**

При совместной очистке бытовых и производственных сточных вод объем образующихся осадков равен 0,5 – 2% расхода сточной воды, при очистке производственных стоков до 10 – 40%.

Осадки производственных сточных вод можно разделить на осадок:

- 1) преимущественно минерального состава;
- 2) преимущественно органического состава;
- 3) имеющий в своей составе минеральные и органические вещества (зольность таких осадков от 10 до 60%). Осадок первой группы обрабатывается в шламонакопителях и по возможности утилизируется. Осадок второй и третьей группы разнообразен по составу и свойствам. Поэтому при выборе метода обработки осадков учитывается изменение их состава и свойств. Это изменение отражает обобщающий параметр: удельное сопротивление осадков – сопротивление единицы массы твердой фазы, отлагающейся на единице площади фильтра при фильтровании под постоянным давлением суспензии, вязкость жидкой фазы которой равна единице.

В общем случае обработка осадков сточной воды состоит из следующих стадий: а) уплотнение (сгущение); б) стабилизация; в) кондиционирование; г) обезвоживание; д) утилизация; е) ликвидация. При любом принятом способе обработки осадков последние подвергаются уплотнению, целью которого является уменьшение их вла-госодержания. Чем больше при уплотнении уменьшается влажность осадков, тем существеннее снизятся затраты на последующие стадии обработки.

Различают следующие способы уплотнения (сгущения) осадков: а) гравитационное уплотнение; б) флотация; в) сгущение в центробежном поле; г) фильтрование; д) комбинация этих методов. Выбор способов уплотнения зависит от состава и свойств осадков, а также от последующей обработки и использования осадка.

**Стабилизация.** Проводится с целью предотвращения их загнивания. Наиболее распространенный прием стабилизации – анаэробное сбраживание в метантенках (в две фазы – кислую и щелочную). В кислой среде – органические вещества под действием микроорганизмов гидролизуются до органических кислот; в щелочной – до метана и угольной кислоты. Процесс мезофильный, если температура 30 – 35°C, термофильный при температуре 52 – 55°C. Применяют также аэробную стабилизацию, т.е. длительное аэрирование осадков либо ила в сооружениях типа аэротенков–стабилизаторов.

### **Кондиционирование.**

Механическое обезвоживание требует предварительной обработки – кондиционирования. Цель кондиционирования – улучшение водоотдающих свойств осадков путём изменения их структуры и форм связей воды. От условий кондиционирования зависит производительность обезвоживающих аппаратов, влажность обезвоженных осадков и чистота отделяемой воды.

Кондиционирование может осуществляться несколькими способами, различными по своему физико-химическому воздействию на структуру обрабатываемого осадка. Наиболее распространенные из них: реагентная обработка, тепловая обработка, жидкофазное окисление, криогенез.

Реагентная обработка изменяет структуру осадка и улучшает его способность отдавать влагу. Процесс укрупнения и объединения в хлопья тонкодисперсных и коллоидных частиц происходящий при введении в осадок коагулянтов, является основным приёмом подготовки осадков к механическому обезвоживанию на вакуум-фильтрах и фильтр-прессах. Обычно применяют коагулянты и флокулянты минерального и органического происхождения. Минеральные коагулянты – соли железа, алюминия, известь, сочетания хлорного железа, сернокислого окисного железа, хлорированного железного купороса с известью (эти коагулянты дефицитны и дороги, вызывают трудности в эксплуатации установок кондиционирования: они коррозионны, сложны в транспортировании, хранении, приготовлении и дозировке).

Отмечено положительное влияние повышения объемной концентрации частиц определенной полидисперсности в исходной суспензии и способности к агрегации на появление консолидированного осадка. Для ускорения процессов осадка применяются высокомолекулярные флокулянты. Коллоидные частицы суспензии осадка имеют отрицательный заряд, и силы электростатического отталкивания могут длительное время препятствовать коагуляции. Из высокомолекулярных коагулянтов-флокулянтов, активно способствующих слипанию частиц между собой и образованию хлопьев, наиболее широко применяется полиакриламид (ПАА). Скорость осадка в этом случае может возрасти более чем в 20 раз при увеличении диаметра частиц гидроксидов в 40 раз.

Эффективность коагулянтов зависит от величины заряда частиц осадка, концентрации реагента, химических реакций, происходящих при введении реагентов, значения рН среды, степени перемешивания и времени контакта с осадком, агрегативной устойчивости образующихся хлопьев, степени их сжимаемости. Выбор коагулянтов и флокулянтов производится с учетом происхождения, свойств и условий применения данного реагента. В связи со сложностью механизма коагуляции осадков и зависимости его от многих факторов, дозу коагулянтов целесообразно определять косвенно, путем использования обобщающего показателя водоотдачи осадков, то есть удельного сопротивления осадка фильтрации. Для обработки осадков могут также применяться окиси, гидроокиси, карбонат кальция, доменный шлак, могут быть использованы цемент и сульфалюминат кальция, весовое соотношение алюмината и гипса  $1 \div 0,2 \div 4$ . Широкое применение получило использование коагулянтов в сочетании с известью, что позволяет понизить влажность кека. Известь нейтрализует кислоты, которые образуются при гидролизе коагулянтов, вступает в химические реакции с кислотами и органическими веществами, находящимися в осадках.

При этом сокращается не только расход основного реагента и предотвращается загнивание осадка. Одновременно известь играет роль присадочного материала, который изменяет и повышает жесткость структуры осадка.

Некоторыми авторами предлагается для обезвоживания гидроокисных осадков применять смесь цеолита и полиакриламида, что позволяет снизить влажность, сократить время обезвоживания и площадь складирования осадков. К гидроокисному осадку добавляют соли щелочных металлов и спекают смесь, при этом получают клинкер. Уменьшение влажности осадков сточных вод, содержащих ПАВ, может быть достигнуто следующим путем: после коагуляционной обработки в осадок вводят низкомолекулярную фракцию синтетических жирных кислот, с числом углеродных атомов от 5 до 9 в количестве 28 – 55% от массы сухого вещества осадка. Процесс проводится при температуре 40 – 70<sup>0</sup>С. Усовершенствовать технологию реагентной обработки осадка можно также путем ультрафильтрации и обратного осмоса.

Главными недостатками реагентной обработки осадков являются значительный расход реагентов, стоимость которых велика, а также увеличение солесодержания отделяемой воды. Поэтому наиболее перспективно для обработки осадков применение полиэлектролитов. Для стабилизации и регулирования процесса в дополнении к коагулянту добавляют некоторые высокомолекулярные вещества, способствующие процессу коагуляции и обезвоживанию хлопьев. Для ускорения процессов осаждения применяются высокомолекулярные флокулянты. Коллоидные частицы суспензии осадка имеют отрицательный заряд, и силы электростатического отталкивания могут длительное время препятствовать коагуляции. Высокомолекулярные флокулянты подразделяются на три группы: активная кремниевая кислота; вещества, получаемые из растительного сырья; синтетические органические полимеры. Введение в осадок ПАА повышает степень его сгущения и уменьшает удельное сопротивление осадков фильтрации. В настоящее время он применяется для обработки осадков сточных вод аккумуляторных заводов, цехов гальванических покрытий машиностроительных заводов, газоочисток конверторных печей и др.

Бакинским филиалом НИИ ВОДГЕО предложен следующий способ обезвоживания осадка путем введения флокулянта ПАА. В сгущенный осадок вводится ПАА, перемешивается с последующим добавлением вспомогательного кальцийсодержащего фильтровального вещества. Перемешивается до получения однородного структурного осадка. В качестве вспомогательного кальцийсодержащего фильтровального вещества предлагается использовать пыль от производства известнякового камня-кубика. При этом ПАА вводят в количестве 0,1 – 1,0%, а пыль – в количестве 10 – 100% от массы сухого вещества осадка. Таким образом, предложенный способ обработки осадка по сравнению с известным позволяет снизить влажность обезвоженного осадка в 1,13 – 1,2 раза за счет равномерной усадки нерастрескивающегося при просушке отфильтрованного осадка однородной плотности. Обезвоженный осадок хорошо снимается с фильтровальной ткани, обеспечивается рациональное использование многотоннажного карьерного производства камня-кубика.

В области синтетических органических флокулянтов на основе полиакриламидов применяют полиэлектролиты со смежными или частично смежными молекулами, полимерные цепи которых имеют поперечные связи. Преимущество их ис-

пользования заключается в увеличении плотности осадка, т.е. повышенном содержании твердого вещества. Наиболее рациональным является применение синтетических флокулянтов при последующей обработке осадков на центрифугах. Известно также комбинированное применение минеральных коагулянтов и синтетических флокулянтов перед подачей осадка на фильтр-пресс с дозой по сухому веществу: флокулянта 0,001 – 0,5%; коагулянта ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) 0,5-10,0%. Для улучшения качества предварительного обезвоживания осадка перед его сжиганием, обработку полиэлектролитами регулируют их дозой путем измерения потенциала. Для обработки осадков, содержащих значительное количество органических веществ (зольность 25 – 30%), целесообразно применять катионные флокулянты: ВА-2, ВА-3, ВА-102. Широкое применение флокулянтов в технологии обработки осадков затруднено из-за их высокой стоимости. Достаточно широкое применение за рубежом находят синтетические флокулянты. Различают катионные, анионные и неионногенные флокулянты. Широко используют синтетический флокулянт - полиакриламид (ПАА) – для обработки сточных вод аккумуляторных заводов, машиностроительных (цехов гальванических покрытий) и т.д.

Для обработки осадков, содержащих большое количество органических веществ (зольность 25–50%), применяются катионные флокулянты; при более высокой зольности – смесь катионных и анионных флокулянтов.

Для сильноминерализованных осадков используют анионные флокулянты. Наиболее эффективно применение синтетических флокулянтов при последующей обработке осадка на центрифугах и вакуум фильтрах. Для кондиционирования осадка наиболее эффективны катионные флокулянты типа ВА – 2 прайстола, эффективно также комбинированное применение минеральных коагулянтов и искусственных флокулянтов перед подачей осадка на фильтр-пресс.

С целью улучшения обезвоживания достаточно эффективно применение присадочных материалов, которые способствуют формированию жесткого скелета на фильтровальной поверхности, препятствуют слипанию частиц осадка и их дефлокации. В качестве присадочного материала наиболее применима зола, образующаяся при сжигании осадков.

**Тепловая обработка.** Перспективна для органических осадков, имеющих зольность 30–40%. Осадок нагревают в герметичном резервуаре (типа автоклав) до температуры 150-200°C и выдерживают 0,5–2 ч. До 40% сухого вещества переходит в раствор. Осадок быстро уплотняется до влажности 92–94%, приобретает хорошие водоотдающие свойства, стерилен, хорошо обезвоживается на вакуум-фильтрах и фильтр-прессах. Но вода имеет высокую загрязненность (ХПК – 10 г/л) и направляется на обработку в аэрационные сооружения. Впервые этот метод внедрил английский инженер Портеус в 1935 г. Сейчас эксплуатируется более 50 установок с производительностью по осадку от 50 до 2000 м<sup>3</sup>/сут.

Союзводоканалпроектом разработана улучшенная схема, где надосадочная вода подается на фильтр с активированным углем. Эту воду можно выпаривать на многокорпусной вакуум-испарительной установке. Конденсат подается на очистные сооружения, концентрированный сток сжигается. Иногда эту воду сбрасывают в метантенках, затем направляют в аэротенки. Достоинства данного вида обработки:

непрерывность процесса, осуществление в реакторе кондиционирования и стерилизации, компактность установки. Недостатки: сложность конструктивного оформления и эксплуатации, трудность очистки надильной воды.

**Жидкофазное окисление.** Метод Циммермана. Сущность: окисление органической части осадка кислородом воздуха при поддержании в аппарате высоких температур и давления.

В приемный резервуар подается смесь сырого осадка и избыточного активного ила (АИ), нагревается до 45–50°C и насосами перекачивается через теплообменник в реактор. Сжатый воздух от компрессора подается в напорный трубопровод. Из реактора смесь продуктов окисления, воздуха и золы поступает через теплообменник в сепаратор. Выделившиеся в сепараторе газы поступают в атмосферу или используются в турбогенераторе. Осадок из сепаратора проходит первый теплообменник и отдает часть тепла осадку резервуара, охлажденный осадок поступает в уплотнитель (до 95% влажности), затем на иловые площадки на установки для механического обезвоживания. Сливная вода (с ХПК – 5–6 г/л) поступает на обработку в аэротенки.

**Замораживание и оттаивание.** Сущность процесса состоит в следующем: при замораживании часть связанной влаги переходит в свободную, происходит коагуляция твердых частиц осадка и снижается удельное сопротивление осадка; при оттаивании осадки образуют зернистую структуру, их влагоотдача повышается. Замораживание проводят при 5–10°C в течение 5–120 мин. Впервые метод изучен в Великобритании в 1961–63 гг. для обработки осадков водоочистных станций. Для замораживания применялись аммиачные холодильные машины трубчатого типа, оттаивание производилось в том же резервуаре, что и замораживание. При оттаивании резервуар играл роль теплообменника для охлаждения аммиака после его сжатия в компрессоре. В резервуары с осадком подается жидкий аммиак, который, испаряясь в трубах, замораживает осадок. Пары аммиака из трубок, поступают в компрессор, где сжимаются и через маслоотделитель направляются в промежуточный теплообменник. Здесь пары конденсируются с выделением тепла. Теплый аммиак проходит через трубки резервуара для оттаивания, куда заранее подается замороженный осадок. Жидкий аммиак из резервуара подается в вакуумный отделитель, а оттуда в первый резервуар (для охлаждения). В Академии коммунального хозяйства им. Панфилова проводились испытания по использованию серийных испарителей панельного типа, выпускаемых московским заводом "Компрессор" (искусственное замораживание и оттаивание осадков сточных вод в холодильных установках с теплообменниками поверхностного типа). Фирмой "Линзе" (Германия) предложена установка барабанного типа, где замораживание производится на поверхности вращающегося барабана, частично погруженного в поддон с исходным осадком, подаваемым по трубопроводу. Толщина намораживаемого слоя регулируется ножом или же снимается с барабана. Оттаивание – на наклонной пустотелой решетке со сквозными отверстиями, куда по трубопроводу нагнетается разреженный хладагент, отсасываемый из барабана. Здесь он охлаждается и возвращается в барабан.

На кафедре "Инженерных систем зданий и сооружений" Инженерно-строительного института СФУ разработана установка (рис. 87), предназначенная для

обработки осадков сточных вод путем замораживания и оттаивания в естественных условиях для улучшения их водоотдающей способности. (Патент2486140)

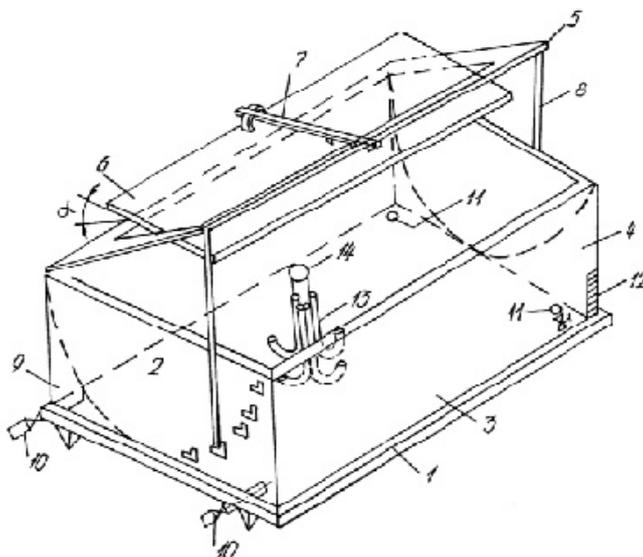


Рис 87. Установка для замораживания осадка: 1-передвижная емкость; 2-полуцилиндрическая рабочая камера; 3-боковые стенки; 4-гидроотсеки; 5-щит; 6-корректирующая плоскость; 7-система подъема щита; 8-система установки щита; 9-торцевые стенки; 10-патрубки подачи горячей воды; 11-патрубки сброса горячей воды; 12-термоматчик; 13-траверса; 14-монтажная петля для выгрузки замороженного осадка.

Установка содержит передвижной резервуар, внутри которого размещена полуцилиндрическая рабочая камера, образующая с боковыми стенами резервуара гидроотсеки. Резервуар оборудован щитом, в который вмонтирована плоскость, корректирующая направление движения воздушных потоков. Системы подъема и установки щита позволяют регулировать высоту расположения и угол поворота  $\alpha=50-70^\circ$  плоскости. Резервуар содержит расположенные в торцевых стенках патрубки подачи и сброса горячей воды, термоматчик, а также расположенную в камере траверсу с монтажной петлей для выгрузки замороженного осадка. Жидкий осадок сточных вод, подлежащий обработке, заливают в рабочую камеру передвижного резервуара, закрывают щитом и помещают на площадку охлаждения. Учитывая скорость ветра и температуру окружающей среды, устанавливают высоту оси плоскости и требуемый угол  $\alpha=50-70^\circ$ . По температуре определяют время промораживания осадка. После полного промораживания осадка резервуар возвращают в закрытое помещение для удаления замороженного осадка, для чего через патрубки в гидроотсеки подают горячую воду. По термоматчику определяют время появления нулевой изотермы ( $0,2^\circ\text{C}$ ), устанавливают плоскость в первоначальное положение и открывают щит. С помощью траверсы подъемно-транспортным оборудованием удаляют осадок из гидроотсеков через патрубки. Резервуар направляют на следующий цикл замораживания. Установка позволяет интенсифицировать процесс замораживания осадка, улучшить его водоотдающие свойства и снизить его объем в 8–10 раз.

**Сушка осадков на иловых площадках.** Сброженные в метатенках осадки подсушиваются на иловых площадках или в иловых прудах. Этот метод находит широкое распространение, но требуются большие земельные площади.

При механическом обезвоживании иловые площадки используются в качестве аварийных сооружений.

Площадь иловых площадок определяется из условий подачи на них 20–25% годового количества осадка, и площадки могут быть: а) без дренажа; б) с дренажом – на искусственном дренирующем или на асфальтобетонном основании; в) каскадные иловые площадки с оттаиванием и поверхностным удалением иловой воды; г) площадки–уплотнители; д) площадки с механическим удалением осадка-

При подсушивании на них осадка протекают процессы уплотнения осадка, удаления жидкой фазы с поверхности, фильтрации жидкой фазы через слой осадка с удалением ее с помощью дренажа и испарения жидкости со свободной поверхности осадка.

Нагрузка на иловую площадку зависит от конструкции иловых площадок, климатических условий, гранулометрического состава твердой фазы осадка, влагоотделения осадка и т.д.

Для интенсификации работы иловых площадок и повышения на них нагрузки можно проводить предварительную промывку труднофильтрующихся осадков очищенной сточной воды, коагуляцию осадков химическими реагентами, замораживание и оттаивание. Промывка позволяет увеличить нагрузку на 70%, коагуляция – в 2–3 раза, замораживание и оттаивание способствует лучшему обезвоживанию. Для равномерного отвода воды с площадок водоотводящие колодцы с водосливами устраивают по периметру карт на расстоянии 30–50 метров друг от друга.

### **Механическое обезвоживание осадков**

Механическое обезвоживание позволяет улучшить условия транспортирования и утилизации осадков. Это также может быть этап к последующей сушке или сжиганию. Для механического обезвоживания применяют фильтры различных конструкций или центрифуги. Фильтрование осуществляется на вакуум–фильтрах, листовых фильтрах, фильтрах–прессах, гравитационных фильтрах и виброфильтрах. Выбор фильтра зависит от технико–экономических показателей, следовательно, от условий последующего использования или дальнейшей обработки осадка. Вакуум–фильтры нашли широкое применение. С их помощью можно обрабатывать любые виды осадков. Удаляется 80% общего количества связанной воды в осадке. Различают фильтры барабанные, со входящим полотном, дисковые и ленточные.

Барабанный фильтр состоит из вращающегося горизонтально расположенного барабана, частично погруженного в корыто с осадком. Барабан имеет две боковые стенки – внутреннюю сплошную и наружную перфорированную, обтянутую фильтровальной тканью. Пространство между ними разделено на 16–32 секции, не сообщающиеся между собой. Каждая секция имеет отводящий коллектор, входящий в торце в цапфу, к которой прижата неподвижная распределительная головка. В зоне фильтрования осадок под действием вакуума фильтруется. Фильтрат из фильтра отводится по коллектору. В зоне просушивания осадок просушивается атмосферным воздухом. Фильтрат и воздух отводятся в общую вакуумную линию. В зону съема

осадка подается сжатый воздух для отделения его от фильтровальной ткани. Через 8–24 ч работы фильтр регенерируют – промывают водой, ингибированной кислотой или растворами ПАВ.

Вакуум–фильтры со сходящим полотном эффективны при обезвоживании осадков производственных сточных вод. Имеют регенерационный узел. Кек, образовавшийся на фильтровальной ткани, при прохождении последней через отдувочно–разгрузочный ролик снимается ножом. Перед подходом к ножу происходит отдувка ткани воздухом. Затем ткань промывается с двух сторон водой, подаваемой из насадок, очищается вращающейся щеткой и дополнительно промывается водой, подаваемой через щель. Промывная вода отводится в канализацию. На этих фильтрах успешно обезвоживаются шламы мокрой доменной газоочистки, шламы конвекторных газоочисток, осадки свинцово–цинковых заводов, заводов обработки цветных металлов, гидролизно–дрожжевых, вязкого волокна, синтетического каучука, кожевенных заводов, фабрик первичной обработки шерсти. Дисковой вакуум–фильтр имеет площадь поверхности фильтрования 9–100 м<sup>2</sup>, применяется для обработки осадков сточных вод предприятий черной металлургии и угольной промышленности. Диски фильтра, обтянутые с обеих сторон фильтровальной тканью, расположены на горизонтальном вращающемся валу, внутри которого расположены коллекторы, отводящие фильтрат. В зависимости от производительности фильтра число дисков от 2 до 12. Преимущества в том, что занимает меньшую площадь, чем барабанный.

Ленточный вакуум–фильтр используется для обезвоживания быстро расслаивающихся осадков, преимущественно минерального происхождения (окалина, осадки газоочисток доменного и конвекторного цехов). Имеет бесконечную резиноканевую ленту, натянутую на двух барабанах, и фильтровальный стол. Щелевое отверстие, расположенное посередине стола, сообщается с вакуум–камерой. Лента имеет поперечные рифления и продольные сквозные прорези. Фильтровальная ткань укладывается на ленту и закрепляется в пазах резиновым шнуром. Верхняя рабочая ветвь ленты протягивается по столу так, что ее продольные прорезы совпадают с щелевым отверстием стола. Фильтрат отводится с внутренней стороны ткани по поперечным пазам и через продольные отверстия поступает в вакуум–камеру и сборный коллектор. При фильтровании быстро осаждающиеся крупные частицы образуют подслои, который улучшает условия фильтрования и повышает производительность фильтра.

Листовой фильтр (типа ЛВАВ – листовой, вертикальный автоматизированный с вибровыгрузкой осадка) представляет собой герметичный корпус с поворотной заслонкой, внутри находятся фильтровальные элементы (листы) – плоские стальные коробки, обтянутые фильтровальной тканью с перфорированными боковыми поверхностями. Каждый лист имеет трубку для отвода фильтрата в коллектор.

Подача осадка на фильтр центробежным насосом прекращается после образования определенного слоя на фильтрующей поверхности. Затем в фильтр подается сжатый воздух и пар. Одновременно из фильтра удаляется избыток неотфильтрованного осадка. Путем отдувки воздухом или паром обезвоженный осадок снимает-

ся с фильтровальной ткани. Эти фильтры компактны, имеют высокую производительность, позволяют автоматизировать весь процесс фильтрации.

Фильтр–пресс применяют для обработки сжимаемых аморфных осадков. Осадки получают с меньшей влажностью, их направляют на сушку или сжигание. Различают рамные, камерные, ленточные, барабанные, винтовые (шнековые) фильтр–прессы.

Рамный фильтр–пресс имеет набор вертикально расположенных чередующихся плит и рам. Между поверхностями плит и рам проложена фильтровальная ткань. Сначала собирают комплект рам и плит, загружают камеры осадком, отжимают его. Затем рамы и плиты поочередно отодвигают и обезвоженный осадок сбрасывают в бункер. Имеют низкую производительность, выгрузка осадка производится вручную.

Камерный фильтр–пресс – ФПАКМ (фильтр–пресс автоматический камерный модернизированный) состоит из нескольких фильтровальных плит и фильтрующей ткани, протянутой между ними с помощью направляющих роликов. Поддерживающие плиты связаны между собой четырьмя вертикальными опорами, воспринимающими нагрузку от давления внутри фильтровальных плит. В натянутом состоянии ткань поддерживается с помощью гидравлических устройств. Каждая фильтроплита состоит из верхней и нижней части. Верхняя часть перекрыта перфорированным листом, под которым находится камера для приема фильтрата. На перфорированном листе находится фильтровальная ткань. Нижняя часть плиты – рама, которая при сжатии плит образует камеру, куда подается осадок. Между верхней и нижней частями фильтровальных плит расположены эластичные водонепроницаемые диафрагмы. В камеру по коллектору подается осадок и воздух. По каналам фильтрат и воздух отводятся в коллектор. Затем осадок отжимается диафрагмой, для чего в полость нагнетается вода под давлением. После чего плиты раздвигаются, передвигается фильтровальная ткань и кек снимается с нее ножами. Ткань промывается и очищается в специальном устройстве. При необходимости перед подачей на фильтр–пресс в осадок вводятся химические реагенты – хлорное железо, известь, полиакриламид и др.

Ленточный пресс относительно прост по конструкции и в эксплуатации. Имеет нижнюю горизонтальную фильтрующую ленту и верхнюю прижимную ленту. Фильтрация и отжим осуществляется между этими лентами. Обезвоженный осадок срезается ножом и сбрасывается в транспортер. Фильтрующая лента промывается водой, подаваемой по трубопроводу. Фильтрат и промывная вода отводятся по второму трубопроводу. Имеются также конструкции вертикальных ленточных фильтр–прессов.

Гравитационные фильтры не нашли еще достаточного применения для очистки осадков сточных вод. Схема фирмы "Пермутит". Имеет два полых вращающихся барабана с решетчатой боковой поверхностью. Барабаны протягивают фильтровальную ленту (нейлоновую). Одна торцевая стена барабана – сгустителя глухая, а вторая – с отверстием посередине, куда по трубопроводу подается осадок. Фильтрат собирается в поддоне, а осадок выносится лентой и через прозоры в решетке попадает

внутри барабана, где он дополнительно обезвоживается. Осадок в виде комьев удаляется из барабана через отверстие в торце и сбрасывается на транспортер.

Виброфильтры – относительно новые аппараты для обезвоживания суспензий. Бывают напорные и безнапорные. Просты по конструкции и требуют малых энергетических затрат. Могут применяться для обезвоживания труднофильтруемых осадков без кондиционирования. Однако после обработки на этих фильтрах осадок имеет относительно высокую влажность, а фильтрат – загрязнения в большой концентрации.

Во ВНИИ ВОДГЕО исследована конструкция безнапорного саморазгружающегося виброфильтра для обезвоживания осадков сточных вод животноводческих комплексов. Это лоток с фильтрующим основанием установлен под определенным углом и связан с источником низкочастотных колебаний, направленных по отношению к плоскости фильтрования также под определенным углом. Направленные колебания обеспечивают одновременно с фильтрованием транспортирование сгущенного осадка по фильтровальной перегородке. Производительность фильтра и степень обезвоживания могут регулироваться изменением направления колебаний или угла наклона фильтровальной перегородки.

Для уменьшения выноса взвешенных веществ с фильтратом следует проводить последовательно сгущение и обезвоживание на отдельных аппаратах. Центрифугирование находит в последнее время широкое распространение. Достоинства этого процесса: простота, экономичность, управляемость процессом, осадки получаются низкой влажности. Центрифугирование производится с применением флокулянтов и без них. Если используются флокулянты, осадок имеет меньшую влажность, центрифуги – большую производительность, фугат – меньше загрязнений.

Без флокулянтов фугат загрязнен, его направляют на биологическую очистку, следовательно, увеличивается нагрузка на очистные сооружения.

Применяют серийные непрерывно действующие осадительные центрифуги типа ОГШ. Основной элемент – конический ротор со сплошными стенками и полый шнек. Ротор и шнек вращаются в одну сторону, но с разными скоростями. Под действием центробежной силы нерастворенные частицы осадка отбрасываются к стенкам ротора и вследствие разности частоты вращения ротора и шнека перемещаются к отверстию в роторе, через которое обезвоженный осадок попадает в бункер кека. Жидкая фаза (фугат) отводится через отверстия, расположенные с противоположной стороны ротора.

Эффективность задержания твердой фазы осадков и влажность кека зависят от характера исходного осадка.

Обработка фугата может осуществляться по различным схемам:

1) отдельное центрифугирование сырого осадка первичных отстойников и АИ. Фугат сырого осадка сбрасывается в первичные отстойники. Фугат используется в качестве возвратного ила в аэротенках;

2) центрифугирование сырого осадка с последующей аэробной стабилизацией фугата в смеси с неуплотненным избыточным АИ и центрифугирование уплотненной сброженной смеси;

3) центрифугирование сброженного осадка с подачей фугата на иловые площадки.

Применение центрифугирования эффективно для станций с пропускной способностью до 70–100 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Подбор центрифуг ведется по их пропускной способности и по исходному осадку.

Сепарирование. Применяют сепараторы с ручной и с пульсирующей выгрузкой кека; сепараторы соплового типа, тарельчатые сепараторы с сопловой выгрузкой применяются для обработки осадков окислительного крашения на меховых фабриках, а также при обезвреживании.

Термическая сушка осадков предназначена для обеззараживания и уменьшения массы осадков сточных вод, предварительно прошедших механическое обезвреживание. Способы термической сушки: а) конвективный; б) радиационно–конвективный; в) кондуктивный; г) сублимационный в электромагнитном поле.

Наиболее распространен конвективный, при котором необходимая тепловая энергия для испарения передается теплоносителем (сушильным агентом) непосредственно высушиваемому материалу (топочные газы, перегретый пар, горячий воздух).

Сушилки конвективного типа могут быть такими, в которых при продувании сушильного агента через слой материала частицы его остаются неподвижными (барабанные, ленточные, щелевые и др.) и в которых частицы материала перемещаются и перемешиваются потоком сушильного агента и (сушилки со взвешенным (псевдожизненным) слоем (кипящим, фонтанирующим, вихревым) и пневмосушилки).

Наиболее распространены барабанные сушилки с прямоточным движением осадка и топочных газов, диаметром 1–3,5 м, длиной 4–27 м. Влажность высушенного осадка 30–40% – это сыпучий полидисперсный материал. Недостатки: громоздкость, большая металлоемкость, высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

В последние годы распространение получили сушилки со встречными струями газозвеси. Сущность в том, что частицы материалов, находясь во взвешенном состоянии в горячем газовом потоке, т.е. образуя газо–взвесь, движутся по горизонтальным трубам навстречу друг другу и в результате ударной встречи струй вступают в колебательное движение, проникая из одной струи в другую. Это приводит к увеличению истинных концентраций материалов в зоне сушки. Основными элементами сушильной установки являются аппарат со встречными струями, который выполнен в виде двух горизонтальных разгонных труб, врезанных в вертикальную пневмотрубу, и воздушно–проходной сепаратор. Для обезвреживания сушильного агента используют камеры сгорания авиационных газотурбинных двигателей (РД–3м–500), переведенные на газообразное топливо.

За рубежом широко применяются пневматические сушилки (трубы–сушилки) фирмы "Раймона". Обезвоженный осадок смешивают с термически высушенным и измельчают в сушильной мельнице. Осадок сушат в вертикальной трубе длиной до 20 м, где происходит движение снизу вверх топочных газов к взвешенным в их потоке частицам осадка. Высушенный осадок (влажность до 10%) отделяют от отходящих газов в циклоне и с помощью раздаточного узла либо расфасовывают, либо подают в печь, где его сжигают. Туда же отсасывающим вентилятором подаются запыленные отходящие газы. Часть обезвоженного осадка шнековым питателем пода-

ется в сушильную мельницу. Сушилка с фонтанирующим слоем действует следующим образом. Влажный осадок из бункера с помощью питателя подается в сушильную камеру. Теплоноситель, поступающий в сушилку через газораспределительную решетку, подхватывает частицы влажного осадка, увлекает их за собой и фонтаном отбрасывает к стенкам камеры. Частицы осадка сползают по боковым поверхностям конуса к решетке, где вновь подхватываются потоком теплоносителя. Осадок таким образом циркулирует в сушильной камере. Высушенный осадок выгружается через разгрузочное устройство. Термическую сушку применяют как метод обработки осадков производственных сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности, фабрик первичной обработки шерсти, автомобильных и кожевенных заводов, текстильных, трикотажных предприятий.

Сжигание осадков – этот процесс проводится, если полезные свойства осадков невозможно или экономически нецелесообразно использовать. Большинство осадков используется при сжигании как топливо, так как по составу горючей массы и теплоте сгорания они близки к бурому углю и торфу.

Зола, образующаяся при сжигании, применяется для подщелачивания почв, в промышленности строительных материалов, в качестве присадочного материала в процессе кондиционирования осадков перед обезвоживанием. Термический метод обезвоживания производственных отходов в зависимости от условий режима окисления, технологического оформления процесса и состава отходов подразделяется на ряд способов: а) окисление органических веществ при температуре более 700°C и давлении ниже 0,2 МПа кислородом воздуха (сжигание); б) окисление органических веществ в присутствии катализаторов при температуре 100–500°C и атмосферном давлении; в) окисление органических веществ в присутствии катализаторов при температуре 100–500°C и давлении до 35 МПа; г) окисление органических веществ при температуре 100–300°C и давлении выше 0,2 МПа и неполном испарении воды – "мокрое" сжигание или процесс Циммермана (жидкофазное окисление); д) разложение органических веществ при температуре 1500–1700°C в бескислородной или бедной кислородом среде – пиролиз.

Управление процессами обработки производственных осадков сточных вод в настоящее время является одной из наиболее острых экологических проблем.

Помимо этого оно усугубляется рядом локальных факторов и требует индивидуального поиска конкретных решений для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду. Эта проблема требует изучения состава, структуры и свойств различных осадков, выявления возможности изменения их исходных свойств и определения оптимальных параметров обработки для последующей утилизации.

На металлообрабатывающих предприятиях образуются в технологических процессах маслоэмульсионные сточные воды (МЭС), при обработке поверхностей изделий смазывающе-охлаждающими жидкостями и моющими растворами.

В процессе очистки сточных вод металлообрабатывающих предприятий различными методами, образуется осадок-шлам, который в виде обезвоженных отходов вывозится в отвалы, загрязняя окружающую среду.

Присутствие шламов в отвалах приводит к загрязнению водоемов, связанному с просачиванием в водоносные горизонты загрязнений с поверхности. Это привлекает пристальное внимание ученых к выявлению отраслей промышленности, которые имеют наибольшее количество подобных отходов, и изучению методов их обезвреживания и утилизации.

Вместе с тем шлам не только загрязняет окружающую среду, но и уносит с собой безвозвратно большое количество ценных элементов.

В настоящее время требуется разработка специальных методов обработки и утилизации осадков, способствующих уменьшению вредного воздействия на окружающую среду.

Одним из эффективных способов обезвреживания осадков является термическая обработка. Обезвоженный осадок можно сжигать как самостоятельно, так и в смеси с мусором или утилизировать. Сжигание – это процесс окисления органической части осадков при повышенной температуре до нетоксичных газов и выделения минеральной части в виде расплава или сухого порошка, т.е. золы. С технологической точки зрения сжигание представляет собой метод обезвреживания осадков с одновременным использованием их в качестве топлива и утилизацией выделившейся теплоты, а иногда и образовавшейся золы в технологической схеме обработки осадков сточных вод. Теплота используется для подогрева воздуха, необходимого для сжигания, а зола расходуется как присадочный материал. В качестве топочных устройств для сжигания осадков сточных вод за рубежом применяют в основном многоподовые печи и печи с кипящим слоем инертного носителя, а также барабанные печи.

В процессе обработки сточных вод в осадок переходит множество органических и минеральных веществ, что определяет их токсичность. Наиболее перспективный метод обезвреживания таких осадков – термический. На сжигание осадок может направляться как после механического обезвреживания, так и после термической сушки. В настоящее время для сжигания осадка может применяться различное оборудование, например: многоподовые печи, печи с кипящим слоем, циклонные или барабанные печи.

Традиционные технологии промышленной обработки осадков сточных вод – пиролиз и сжигание при высокой энергоемкости приводит к нерациональному расходованию органической составляющей и образованию неутраченных вторичных отходов. В то же время переработка и использование накопленных техногенных отходов, в том числе осадков сточных вод, при кооперировании со строительной индустрией позволяют быстро получить реальные экономические и социально-экологические результаты при минимальных затратах. Разработанная обжиговая технология может решить проблему безотходной утилизации техногенных отходов в производстве керамзита из вскрышного глинистого сырья при корректировании его свойств осадками сточных вод, обеспечивая включение в работу добавок, содержащихся в них. Она позволит максимально утилизировать минеральную часть осадков и получить экологически чистые, полезные конечные продукты: керамзитовый гравий и песок.

Обжиговая технология позволяет использовать некондиционные мало- и среднепластичные глины, а также техногенное сырье – запесоченную вскрышную гли-

нистую породу совместно с многокомпонентными отходами станций аэрации. Эти отходы – осадки городских сточных вод и ранее не употреблявшиеся осадки поверхностных сточных вод, включающие коагулянты (флокулянты) и другие составляющие, произведут комплексное корректирование свойств пористых заполнителей, способствуя получению низкой насыпной плотности и улучшенных эксплуатационных характеристик керамзита.

Одним из путей кондиционирования осадка является обезвоживание и сушка. Существующее обезвоживающее оборудование позволяет снизить влажность гидроксидных осадков до 65–85 %, что весьма затрудняет их сбор и транспортирование в места захоронения и утилизации. Дальнейшее снижение влажности возможно лишь путем сушки, однако интенсивные методы сушки требуют применения систем пылеочистки и связаны с образованием дополнительного (вторичного) осадка.

В Челябинском филиале НИИ ВОДГЕО использован способ сушки путем продувки нагретого воздуха через неподвижный слой осадка и разработан ряд конструкций для осуществления этого способа. Во всех случаях основной элемент сушки представляет собой емкость с расположенной в нижней части воздухораспределительной системой. Подогретый до 120–180 °С воздух поступает в слои осадка, продувает его и отсасывается вытяжной вентиляцией.

Основными недостатками метода тепловой обработки осадка являются большой расход электроэнергии и высокие концентрации загрязнений в отделяемой воде, образование газов и запахов.

Известно применение метода криогенной обработки, т.е. замораживания и оттаивания осадка, что приводит к изменению структуры, переходу части связанной влаги в свободную и к значительному улучшению водоотдачи осадка. При замораживании происходит коагуляция твердых частиц осадка, при оттаивании они образуют зернистую структуру и хорошо отдают воду. Японскими учеными предложен метод обезвоживания осадка с предварительным нагреванием и замораживанием его, а также последующим оттаиванием и обезвоживанием. Нагревание осадка при температуре более 60°С способствует увеличению количества удаляемой воды при оттаивании и обезвоживании. Основным преимуществом этого метода является то, что отделяемая вода не содержит дополнительных загрязнений, как это происходит при реагентных или тепловых методах обработки. Способ и скорость оттаивания не влияет на процесс дальнейшего обезвоживания, но все же рекомендуется как можно более быстрое отделение твердой фазы осадка от воды. Для обезвоживания осадка путем замораживания в искусственных условиях используют аммиачные холодильники трубчатого, капельного, барабанного типа, аппараты непрерывного действия поверхностного типа. После замораживания осадок уплотняется и далее подсушивается на иловых площадках. Для интенсификации процесса искусственного замораживания – оттаивания требуется замораживать осадок тонким слоем. Наиболее экономичной и эффективной является обработка осадка с использованием замораживания и оттаивания, если в схеме установки с внутренней рекуперацией тепла осуществлять промежуточную конденсацию холодильного агента при отводе тепла плавающим льдом. При использовании теплообменных аппаратов непрерывного действия, появляется возможность тонкослойного промораживания осадка.

Недостатком искусственного замораживания осадка является значительный

расход и стоимость электроэнергии.

Учитывая региональные условия Сибири и Крайнего Севера при обезвоживании осадка наиболее перспективно использовать метод замораживания в естественных условиях. К недостаткам реализации этого способа относится то, что требуются большие по площади хранилища, так как на большую глубину осадок сточных вод не промерзает, кроме того, невозможно регулировать процесс обезвоживания. Установлено, что на водоотдающие свойства осадков при замораживании значительно влияет температура и скорость ветра. Реализация метода криогенной обработки на локальных установках зависит прежде всего от возможности регулирования процесса замораживания осадка в естественных условиях.

На кафедре ИЗСиС ИСИ СФУ разработана установка для замораживания и оттаивания осадка, в которой рабочая камера оборудована щитом, с вмонтированной плоскостью-элероном, ее можно установить на определенный угол движения воздушного потока, что позволяет изменять скорость движения воздуха над охлаждающейся поверхностью осадка, интенсифицировать теплообмен и кинетику процесса промораживания.

Установлено, что оборудование установки плоскостью-элероном позволяет интенсифицировать скоростное поле, что влияет на поверхностную плотность теплового потока, которая определяет полноту промораживания осадка, обуславливая обезвоживание.

Для интенсификации процесса криогенной обработки осадка и сокращения времени полного его промораживания предложено оборудовать установку полой траверсой.

Для осадков, имеющих сравнительно небольшие объемы, низкие концентрации масел, целесообразным методом обработки является электрохимическая коагуляция. Из литературных источников известно использование метода электрокоагуляции для обработки осадка. Сущность процесса электрокоагуляции заключается в том, что под влиянием электрического тока заданной плотности, пропускаемого через осадок, происходит растворение анодов (чаще всего алюминиевых или железных) и переход ионов металлов в обрабатываемый осадок. Выделяющиеся на катоде газы (водород) флотируют осадок и способствуют изменению его свойств. Применение электрических методов имеет существенное преимущество перед традиционными методами обработки. Простота аппаратного оформления, ограниченный расход реагентов, возможность автоматического управления процессами, выдвигают электрообработку в число наиболее перспективных. К недостаткам электрохимического метода относятся затраты электроэнергии и металла. Разработка и внедрение электрохимических методов очистки сточных вод является рациональным для промышленных предприятий, имеющих льготные тарифы на электроэнергию, или расположенных в труднодоступных районах.

В настоящее время все больше внимания уделяется физическому воздействию на свойства осадков сточных вод.

Ультразвуковая обработка (озвучивание) является одним из перспективных методов интенсификации некоторых физико-химических процессов.

Ультразвук оказывает влияние на всю коллоидно-химическую систему, дробятся частицы твердой фазы и возрастает количество активных центров контакта,

что способствует учащению контактов активированных частиц твердой фазы между собой, слипанию и укрупнению конгломератов, приводящих к ускорению процессов осаждения, при этом снижается объем и влажность осадков.

Озвучивание целесообразно на всех этапах обезвоживания осадков, но в каждом конкретном случае вопрос о параметрах и аппаратурном оформлении должен решаться, исходя из целей данного этапа обработки и технологической схемы. В настоящее время данный метод обезвоживания осадков мало изучен и требует дальнейших исследований.

На рис. 88 представлена схема виброакустического воздействия с последующей электрокоагуляцией.

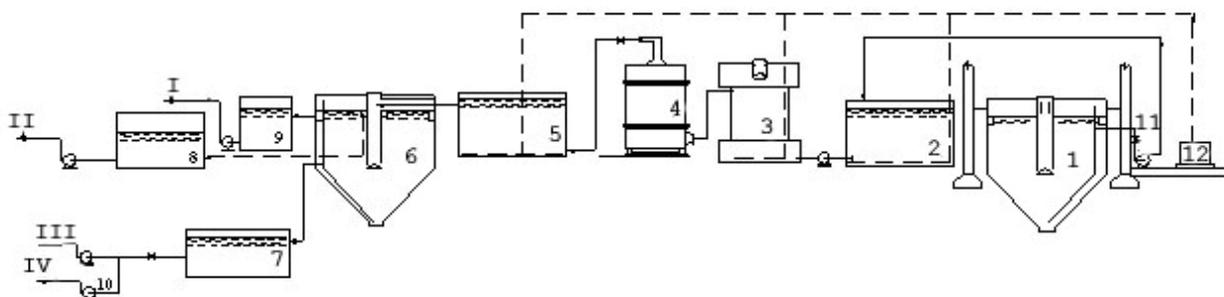


Рис. 88. Технологическая схема виброакустического воздействия с последующей электрокоагуляцией. 1 – шламонакопитель, 2 – резервуар-усреднитель, 3 – камера озвучивания, 4 – электролизер для обработки осадка, 5 – контактный резервуар, 6 – вертикальный отстойник, 7 – емкость для сбора осадка, 8 – емкость для сбора масла, 9 – емкость для сбора надильовой воды, 10 – насос рециркуляции осадка, 11 – насос подачи шлама, 12 – воздуходувка, I – на фильтр; II – на утилизацию; III – на электролизер очистки МЭС; IV – на вакуум фильтр

Таким образом, существующие методы обработки осадков сточных вод в основном направлены на решение частных задач, однако необходимо комплексное решение вопроса обработки осадка и его утилизации.

Проблема утилизации осадков производственных сточных вод уже давно привлекает внимание ученых и специалистов, но никогда она не была столь актуальной, как теперь, в связи с крупными мероприятиями, проводимыми в государственном масштабе по охране окружающей среды. В настоящее время в области очистки сточных вод разработаны соответствующие нормы и правила выпуска в водоемы, принимаются интенсивные меры по очистке стоков, отвечающие все более возрастающим требованиям к охране водоемов от загрязнений. Промышленные предприятия постоянно испытывают большие затруднения в ликвидации осадков промышленных сточных вод, стоимость обработки и удаления которых достигает 50 – 100% стоимости очистки стоков. Эти концентрированные отходы в жидком или обезвоженном виде зачастую сбрасываются в карьеры, овраги, моря, загрязняя водные источники. Известны два основных пути утилизации осадков: ликвидация шламов путем незаконного сброса и засыпки или отвердения цементом, асфальтом, стеклом, пластмассами и отвердения спеканием; применение для приготовления керамиче-

ских красок, огнеупорного материала и сплавов как искусственных заполнителей и рифов.

Способы ликвидации шламов путем сброса не отвечают современным требованиям малоотходных и безотходных ресурсосберегающих технологий и являются расточительными не только с точки зрения потери ценных металлов, но и отрицательных, пагубных последствий воздействия на природу. Поэтому в последние годы все большее внимания уделяется разработке способов использования отходов в производстве строительных и других материалов.

В последние годы биотермическая обработка осадков сточных вод получает все большее применение, благодаря невысоким затратам энергии и обеспечению производства гумусосодержащего продукта. Биотермическая обработка представляет собой биохимический метаболизм осадков сточных вод, сопровождаемый тепловыделением. Биотермическая обработка применяется с добавлением наполнителей к обрабатываемому осадку, который восполняет недостаток углерода осадков сточных вод, обеспечивает процесс дополнительной энергией и способствует достижению высоких температур. Однако в наполнителях углерод находится в высокорезистивном состоянии к микроорганизмам и поэтому мало используется. Известно, что добавку осадков сточных вод металлообрабатывающих предприятий в количестве 3 – 10 % в качестве добавки в керамическую массу при производстве красного глинистого кирпича. Это не влияет на технологические и эксплуатационные свойства керамических изделий. Осадок сточных вод может быть с успехом использован для производства стеновых керамических изделий, выполняя роль плавня в сочетании с органикой. Он способствует более раннему накоплению жидкой фазы и интенсификации процессов спекания и вспучивания. Введение 3 – 6 % осадка при производстве изделий дает возможность повысить предел прочности при сжатии изделий на 40 – 60 %.

В МХТИ им. Д. И. Менделеева была исследована возможность использования осадков с большим содержанием гидроксида железа для получения гексаферрита бария, который применяется при изготовлении строительной керамики (черепицы, кирпича, облицовочных плиток). Также осадок сточных вод металлургических производств можно использовать для изготовления керамзита. Керамзит, изготовленный с содержанием 20 – 40 % осадка может применяться в качестве теплоизолирующего и конструктивного материала в строительстве. Экономический эффект при этом достигается путем сокращения расходов на добычу и транспортировку глины, исключением затрат на строительство и эксплуатацию полигона для складирования осадка. Такие осадки могут быть использованы в производстве красителей-пигментов. Однако, осадки не отличаются постоянством состава, поэтому краски, изготовленные на их основе, целесообразно использовать для создания декоративных глазурованных покрытий для изделий художественно-декоративной керамики.

Для производства стекломозаики, стекломрамора, стеклоблоков в качестве красителя могут использоваться осадки сточных вод и гальванических производств. При этом получены прозрачные ударопрочные, термо- и морозостойкие стекла. Осадки хромсодержащих сточных вод могут быть использованы для производства декоративно-облицовочного материала стеклохромзита. Практическое использование осадков сточных вод металлообрабатывающих производств в качестве красите-

лей стекол сдерживается из-за неоднородности их состава, однако для декоративных целей они уже находят применение.

Осадки, полученные при нейтрализации обработанных травильных растворов комбината «Запорожсталь» известковым молоком, были использованы в производстве стройматериалов. По результатам исследований было установлено, что промышленные осадки могут применяться в качестве добавки в портландцементы, в качестве инертного наполнителя бетоносмесей или глинистых масс.

Одним из способов утилизации замасленных осадков является их использование в качестве топлива при производстве цемента. Химический состав золы при сжигании отходов незначительно отличается от состава сырья для производства цемента, поэтому отходы очистки сточных вод можно применять как основное или дополнительное топливо.

В Ростовском инженерно-строительном институте была изучена возможность использования осадка в качестве добавок в строительную керамику, цементные растворы, асфальтобетон, гипсомраморные блоки. Установлено, что введение осадка в качестве добавки улучшает структурно-механические характеристики асфальтобетона. Кроме того, осадки могут служить хорошей пластифицирующей добавкой в строительных растворах. Асфальтобетон на искусственном заполнителе целесообразно применять для верхнего слоя дорожных покрытий, особенно на наиболее нагруженных участках, а также в гидротехнических сооружениях, гидроизоляционных и кровельных покрытиях, изолирующих прокладках.

Шламы из сточных вод металлургических производств, выделенные оксикарбонатным способом, также могут быть использованы в качестве наполнителя бетоносмесей в количестве до 1 % массы цемента, при этом технологические и физико-химические качества бетона не ухудшаются.

От процесса обработки сточных вод гальванических цехов можно получать достаточно прочные отвердевшие материалы, пригодные как для захоронения, так и для практического применения. Наиболее распространен способ отверждения с использованием летучей золы и отвердителя (для кислых стоков) смеси летучей золы, извести и гипса, при этом присутствие в осадках сульфатов облегчает процесс отверждения. С точки зрения вымывания тяжелых металлов и отвердевших материалов наибольшую опасность для окружающей среды представляют цинк, кадмий и медь. Способ отверждения жидких отходов перспективен для охраны окружающей среды при условии доработки еще нерешенных технических и технологических проблем. Установлено, что утилизация осадка в бетон без существенных нарушений прочностных характеристик возможна при его добавке не более 5 %, так как такая добавка осадка не вызывает коррозию арматурной стали в образцах железобетона. Образцы асфальта с добавками осадка до 5 % отвечают требованиям ГОСТ, и осадок может быть рекомендован для использования при изготовлении дорожных покрытий в качестве заменителя минерального порошка. Осадок в асфальте удерживается прочно, вымывание тяжелых металлов при двухмесячной экспозиции в природной воде аналитически не обнаруживается, токсичность воды не установлена ни по одному из биотестов. Следовательно, только прочное связывание осадка в битумо-минеральную смесь обеспечивает его экологическую безопасность. Поэтому этот способ утилизации рекомендуется как отвечающий технологическим и экологическим требова-

ниям. Таким образом, утилизация образующихся осадков при очистке сточных вод, позволит более рационально использовать природные ресурсы.

Для улучшения водоотдающих свойств осадка используют электрокоагуляцию. Схема установки для электрообработки осадка приведена на рис. 89. Она разработана на кафедре “Инженерных систем зданий и сооружений” Инженерно-строительного института СФУ. (патент 2486666140)

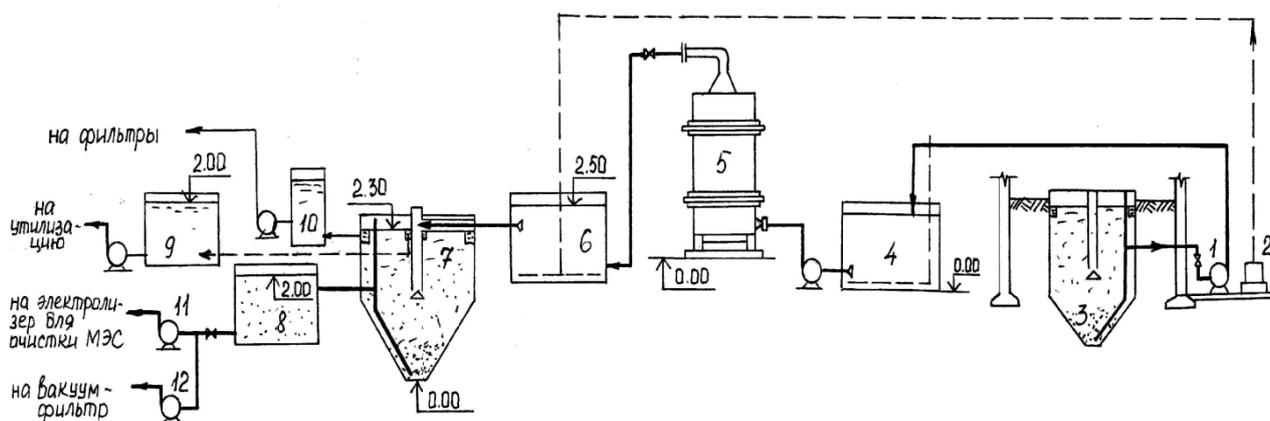


Рис. 89. Схема установки для электрообработки осадка: 1–насос подачи осадка; 2–воздуходувка; 3–шламонакопитель; 4–усреднитель; 5–электрокоагулятор; 6–контактный резервуар; 7–отстойник; 8–емкость для сбора осадка; 9–емкость для сбора масла; 10–емкость для сбора иловой воды; 11–насос рециркуляции осадка; 12–насос для подачи осадка на обезвоживание.

На рис. 90 показана технологическая схема тепловой обработки осадка. Осадок поступает в резервуар–накопитель, затем с помощью насоса высокого давления перекачивается в теплообменник типа "труба в трубе", где происходит нагревание исходного осадка осадком, прошедшим тепловую обработку. Через 5–10 мин осадок вместе с паром поступает в реактор, где происходит собственно процесс тепловой обработки. Обработанный осадок, пройдя через теплообменник и устройстве для снижения давления, затем поступает в илоуплотнитель. Надильная вода по трубопроводу подается на сооружения биологической очистки. Уплотненный осадок насосом перекачивается на вакуум–фильтр, или фильтр–пресс, или на центрифугу. При тепловой обработке происходит частичное разрушение всех классов органических веществ осадка (до аминокислот, до свободных жирных кислот и стиролов, крахмал – до низших сахаров). Улучшаются фильтрационные свойства осадков.

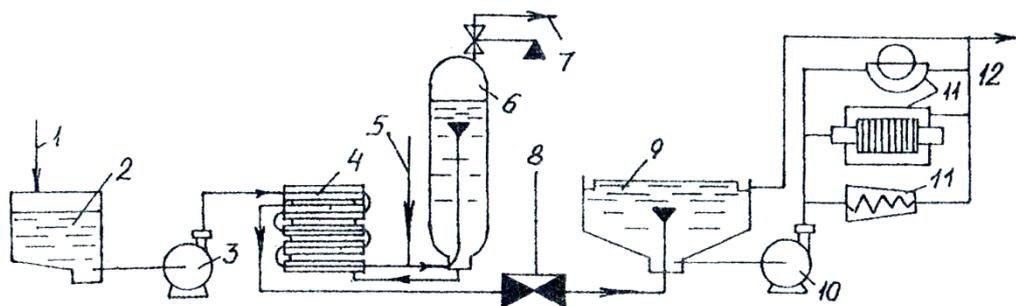


Рис. 90. Технологическая схема тепловой обработки осадка методом жидкофазного окисления: 1 – трубопровод для подачи осадка; 2 – резервуар-накопитель; 3 – насос высокого давления; 4 – теплообменник; 5 – паропровод; 6 – реактор; 7 – труба для отвода парогазовой смеси; 8 – устройство для снижения давления; 9 – уплотнитель; 10 – насос для перекачки уплотненного осадка; 11 – фильтр – пресс; 12 – трубопровод для подачи надиловой воды.

Наиболее распространен "огневой" способ обезвреживания производственных отходов. Сжигание производственных осадков производится в камерных, циклонных, многоподовых и распылительных печах с псевдосниженным слоем. Наиболее производительными являются циклонные печи и печи с псевдосжиженным слоем. За рубежом получили широкое распространение многоподовые печи.

### Контрольные вопросы

1. Классификация осадков производственных сточных вод.
2. Стадии обработки осадков сточных вод.
3. Какие способы уплотнения осадков известны и от чего зависит их выбор?
4. С какой целью проводится стабилизация осадков сточных вод?
5. Сущность процесса кондиционирования и способы его осуществления.
6. Технологическая схема обработки осадка методом жидкофазного окисления.
7. Сущность процесса замораживания и оттаивания осадков сточных вод и установка для осуществления.
8. Какие конструкции фильтров применяют для механического обезвоживания осадка?
9. Достоинства процесса центрифугирования и возможность его интенсификации.
10. С какой целью применяются термическая сушка осадков, и какие способы известны?
11. Цель кондиционирования осадков сточных вод?
12. Что происходит при реагентной обработке осадков сточных вод и какие реагенты для этого используются?
13. От чего зависит эффективность действия коагулянтов?
14. Основные недостатки реагентной обработки осадков?

15. Какие флокулянты применяются для обработки осадков сточных вод, и чем объясняется механизм их действия?
16. В чем суть процесса сжигания осадков, и какие устройства для этого применяются?
17. Какие методы физического воздействия на свойства осадков известны?
18. Какие известны пути утилизации осадков?
19. Какие недостатки характерны для способа ликвидации шламов?
20. Суть биотермической обработки осадков.
21. какие известны пути использования осадка в качестве добавки к строительным материалам?

## Библиографический список

1. Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, В.И. Калицун. // М.: Стройиздат, 1996.
2. Яковлев С.В. Водоотводящие системы промышленных предприятий / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. // М.: Стройиздат, 1990.
3. СНиП 2.04.03.-85. Канализация. Наружные сети и сооружения // М. 1986.
4. Справочное пособие к СНиП 2.04.03.– 85. Проектирование сооружений для очистки сточных вод // М.: Стройиздат. 1990.
5. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности // М.: Стройиздат, 1982
6. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений (СанПиН 4630-88) // М.: Минздрав СССР, 1988
7. Правила приема производственных сточных вод в систему канализации населенных пунктов МЖКХ РСФСР. // М.: 1989
8. Правила пользования системами коммунального водоснабжения и канализации в Российской Федерации. // М.: Минстрой РФ, 1995.
9. Ласков Ю.М. Примеры расчетов канализационных сооружений/ Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун. // М.: Стройиздат, 1987.
10. Жуков А.И. Канализация промышленных предприятий/ А.И. Жуков, Л.И. Демидов, И.Д. Родзиллер. // М.: Стройиздат, 1987.
11. Алферова Л.А. Замкнутые системы водного хозяйства / Л.А Алферова, Нечаев А.П.. // М.: Стройиздат, 1984.
12. Яковлев С.В. Технология электрохимической очистки воды/ С.В. Яковлев, О.Г. Красноборолько, В.И. Рогов. // Л.: Стройиздат, 1987.
13. Жуков А.И. Методы очистки производственных сточных вод / А.И. Жуков, Н.А. Мангайт, Н.Д. Родзиллер. // М.: Стройиздат, 1976 – 208с.
14. Халтурина Т.И. Водоотводящие системы промышленных предприятий: Тексты лекций. // Красноярск: КрасГАСА.1997. – 145с.
15. Халтурина Т.А. Водоотводящие системы промышленных предприятий: Учеб. пособие // Красноярск: КрасГАСА.2001. – 74с.
16. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. // М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
17. Ласкорин Б.Н. Безотходная технология в промышленности / Б.Н. Ласкорин, Б.В. Громов, А.П.Цыганеков и др., // М.: Стройиздат, 1986
18. Яковлев С.В. Обработка и утилизация осадков производственных сточных вод / С.В. Яковлев, П.С.Волков, Ю.В. Воронов, В.П. Волков // М.: Химия, 1999
19. Соколов Л.И. Ресурсосберегающие технологии в системах водного хозяйства промышленных предприятий. Учебное пособие./ Л.И. Соколов // М.: АСВ, 1997
20. Иванов В.Г. Водоотводящие системы промышленных предприятий. Конспект лекций / В.Г Иванов, Н.А. Черников // С–Петербург 2007г. 239 с.
21. Халтурина Т.И. Водоподготовка. Расчет станций водоочистки для хозяйственно-питьевых целей: учебное пособие с грифом Мин. образ. / Т.И. Халтурина // Красноярск: КрасГАСА. 2006. – 355 с.

22. Халтурина Т.И. Проектирование и расчет очистных сооружений промышленных предприятий. Метод. указания / Т.И. Халтурина, Б.Ф. Турутин. // Красноярск: КИСИ, 1987 46 с.

23. Андриаирадо Л., Азанси Д. Бэг С. и др. Технический справочник по обработке воды. Degremont: пер. с французского, в 2 т. под ред. М.И. Алексеева, В.Г. Иванова, А.М. Курганова и др.- Спб.: Новый журнал, 2007, с 845-847.

24. А. с. № 981240 Россия М. Кл.<sup>3</sup> C02F 1/46 Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов/ Т. И. Халтурина, Т. Я. Пазенко, Г. М. Зограф, Л. В. Стафейчук. Оpubл. 15.12.1982, Бюл. № 46.

25. Патент № 2431231 Россия МПК H02M 9/06 Устройство для получения асимметричного тока/ Т. И. Халтурина, Ю. В. Гаврилова, О. В. Чурбакова, Т. А. Курилина. Оpubл. 10.10.2011, Бюл. № 28.

26. Патент № 2408542 Россия МПК C02F 1/463 Способ очистки сточных вод и устройство для его осуществления/ Т. И. Халтурина, Т. А. Курилина, Г. М. Зограф. Оpubл. 10.01.2011, Бюл. № 1.

27. Патент № 2486140 Россия МПК C02F 11/12, C02F 1/46, B01D 43/00 Способ обработки осадков сточных вод/ Т. И. Халтурина, Ю. В. Гаврилова, О. В. Чурбакова, Т. А. Курилина. Оpubл. 27.06.2013, Бюл. № 18.

28. Патент № 132067 Россия МПК C02F 11/20 Установка для обезвоживания осадка сточных вод/ Т. И. Халтурина, А. С. Климов, О. Л. Климова. Оpubл. 10.09.2013, Бюл. № 25.

29. А. с. № 1740332 Россия МКИ5 C02F 11/20 Устройство для обезвоживания осадка/ Б. Ф. Турутин, Т. И. Халтурина, О.В. Чурбакова. Оpubл. 15.06.1992, Бюл. № 22.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ЛЕКЦИЯ 1. Классификация производственных сточных вод.....	3
ЛЕКЦИЯ 2. Виды приемников и условия приема производственных сточных вод....	9
ЛЕКЦИЯ 3. Общие сведения по очистке производственных сточных вод. Механическая очистка .....	16
ЛЕКЦИЯ 4. Усреднение сточных вод по расходу и концентрации загрязнений. Химические методы. ....	61
ЛЕКЦИЯ 5. Физико-химическая очистка производственных сточных вод. Коагуляция. Флокуляция. Интенсификация процесса коагуляции. Электрохимическое коагулирование.....	78
ЛЕКЦИЯ 6. Сорбция. Экстракция .....	103
ЛЕКЦИЯ 7. Метод ионного обмена. Электродиализ. Гиперфльтрация. Ультрафльтрация.....	116
ЛЕКЦИЯ 8. Биологическая очистка производственных сточных вод. ....	128
ЛЕКЦИЯ 9. Современные технологии обработки осадков и их утилизации. ....	141
Библиографический список.....	162