Библиотека СОК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА УПРАВЛЕНИЯ И
РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

Водоотводящие системы промышленных предприятий

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

для студентов направления 270100
специальности 270112.62
«Водоснабжение и водоотведение»

Красноярск – 2008

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА УПРАВЛЕНИЯ И
РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кандидат химических наук, профессор **Т.И.Халтурина**

Кандидат технических наук, доцент **О.В. Чурбакова**

Красноярск 2008

МОДУЛЬ 1. ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И ВОДООТВЕДЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 0,16 (6 ч)

ЛЕКЦИЯ 1

Общие сведения о водоотводящих системах промышленных предприятий

План лекции:

Общие сведения о водоотводящих системах промышленных предприятий.

Основные элементы систем водоотведения. Состав и свойства сточных вод. Виды сточных вод, отводимых с территории промышленных предприятий: производственные, бытовые, и атмосферные.

Основные категории производственных сточных вод; группы производственных сточных вод, классификация сточных вод: по физическим свойствам загрязненных веществ, по степени агрессивности, по содержанию токсичных и опасных веществ.

Эффективность использования воды на промышленном предприятии. Определение расчетных расходов производственных сточных вод.

Системы и схемы водоотведения промышленных предприятий. Комплексное решение схемы водоотведения промышленных предприятий и населенного пункта. (0,056; 2*ч*).

Охрана окружающей природной среды и рациональное использование природных ресурсов приобретает в наши дни все большее значение. Развитие промышленности вызывает необходимость в предотвращении загрязнения водоемов промышленными сточными водами.

На промышленных предприятиях образуются разнообразные по составу и свойствам производственные сточные воды. Условия их отведения с территории предприятия и обезвреживания имеют специфические отличия, которые необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации водоотводящих систем промышленных предприятий.

Большие объемы промышленного водоотведения разнообразие видов загрязняющих веществ, разнообразие методов их извлечения и обезвреживания, техногенное воздействие на окружающую среду и определяют необходимость изучения специального курса «Водоотводящие системы промышленных предприятий». Водоотводящие системы промышленных предприятий предназначены для сбора и отведения с их территорий отработанных загрязненных производственных сточных вод (ПСВ), которые невозможно или экономически нецелесообразно далее использовать в технологическом процессе, а также для очистки сточных вод (СВ) перед возвращением их на повторное использование, перед сбросом в водоем или в городскую сеть водоотведения.

Основные элементы водоотводящих систем промышленных предприятий:

- внутрицеховые сети, локальные или местные очистные сооружения (МОС);
- наружные сети;
- насосные станции (НС);
- внеплощадочные очистные сооружения (ОС);
- выпуски в водоемы и городские сети.

На территории промышленных предприятий образуются три вида 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.

Сточные воды, отводимые с территории промышленных предприятий, по своему составу могут быть разделены на три вида:

- производственные − использованные в технологическом процессе или получающиеся при добыче полезных ископаемых (угля, нефти, руд и т.п.);
- бытовые − от санитарных узлов производственных и непроизводственных корпусов и зданий, а также от душевых установок, имеющихся на территории промышленных предприятий;
- атмосферные − дождевые и от таяния снега.

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, тек-

стильной, 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 ÷ 500, 500 ÷ 5000, 5000 ÷ 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°С).

По степени агрессивности эти воды разделяют на слабоагрессивные (слабокислые с pH = 6÷6,5 и слабощелочные с pH = 8÷9), сильноагрессивные (сильнокислые с pH < 6 и сильнощелочные с pH > 9) и неагрессивные (pH = 6,5÷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

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

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

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

2. По рациональности использования воды источника

$$K_и = \frac{Q_{ист} + Q_с - Q_{сбр}}{Q_{ист} + Q_с} \le 1$$

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

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

3. По проценту потерь воды

$$P_{пот} = \frac{Q_{ист} + Q_с - Q_{об}}{Q_{посл} + Q_{ист} + Q_с + Q_{об}} \cdot 100 \Rightarrow 0$$

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

В среднем $P_{пот} = 2{,}5$.

При проектировании водоотведения промышленных предприятий необходимо знать:

- количество сточных вод (по отдельным операциям, цехам, промышленному предприятию в целом и режим их отведения);
- физико-химический состав сточных вод;
- требования к качеству очищенной воды.

В анализируемых сточных водах должны определяться: содержание компонентов, специфичных для данного вида производства (фенолов, нефтепродуктов, поверхностно − активных, ядовитых, радиоактивных, взрывоопасных веществ); общее количество органических веществ, выражаемое $БПК_{полн}$ и ХПК; активная реакция; интенсивность окраски; степень минерализации; наличие биогенных элементов.

В зависимости от технологии производственных процессов, анализ состава сточных вод производится по разовым часовым, среднесменным и среднесуточным пропорциональным пробам; следует также составлять графики колебания концентраций наиболее характерных загрязнений по часам смен и суток, дням недели. Необходимо установить такие параметры, как кинетика оседания или всплывания механических примесей и их объем, возможность коагулирования сточных вод и др. Эти данные позволяют выбрать наиболее целесообразный и экономически обоснованный метод очистки сточных вод для определенного предприятия. На основании детального анализа можно разработать рациональную систему отведения, обработки и использования сточных вод.

Количество сточной воды на производстве, как правило, меньше, чем потребляемый расход воды и зависит главным образом от системы водоснабжения.

При прямоточной системе водоснабжения вся использованная на предприятии вода за вычетом безвозвратных потерь сбрасывается в канализацию.

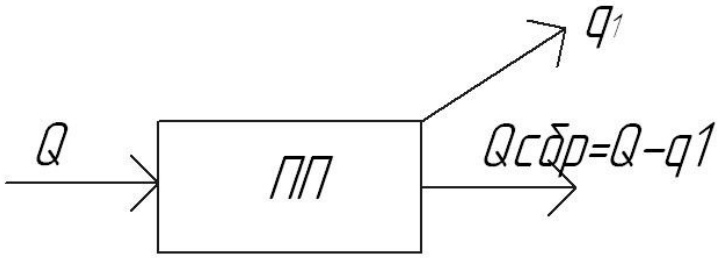


Рис. 1. Схема прямоточной системы водоснабжения: Q − расход производственной воды; q_1 − безвозвратные потери; $Q_{сбр}$ − расход сточных вод, поступающих в систему водоотведения; ПП − промышленное предприятие

При оборотной системе водоснабжения часть воды вновь возвращается в производство после охлаждения или очистки на местных очистных сооружениях (МОС). Потери воды пополняются свежей водой из водопровода или источника.

Из общего количества воды Q, циркулирующей в оборотной системе, часть ее q_1 расходуется на безвозвратные потери, часть q_2 составляют потери в охладителях или на очистных сооружениях. Для поддержания требуемого солевого состава воды в оборотном цикле обычно предусматривают продувку, или периодический сброс части воды $Q_{сбр}$ в систему водоотведения.

С целью поддержания требуемого объема воды в системе оборотного водоснабжения расход свежей воды $Q_п$, подаваемой в систему (подпитка) составит:

$$Q_п = q_1 + q_2 + Q_{сбр}$$

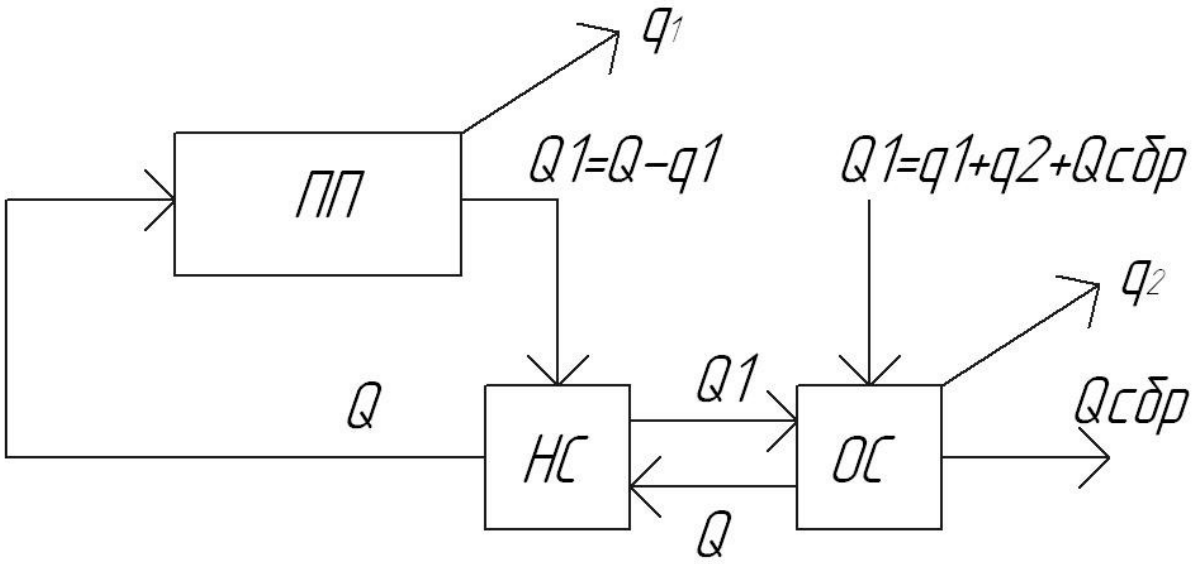


Рис. 2. Схема оборотной системы водоснабжения

За пределы предприятия сбрасывается только расход $Q_{сбр}$, равный величине продувки.

Частным случаем оборотных систем являются замкнутые системы водоснабжения, для которых $Q_{сбр} = 0$.

При комбинированной системе водоснабжения, часто встречающейся на практике, разные производственные потребители одного и того же предприятия обеспечиваются водой по прямоточной, последовательной или оборотной схемам.

Вид системы водоснабжения промышленного предприятия влияет на параметры системы водоотведения и величину расхода $Q_{сбр}$.

Расчетные расходы производственных сточные воды определяются либо по данным технологов, либо по производительности предприятия и удельным расходам.

Определяются расходы не только общие, но и по цехам, сменам, отдельным выпускам.

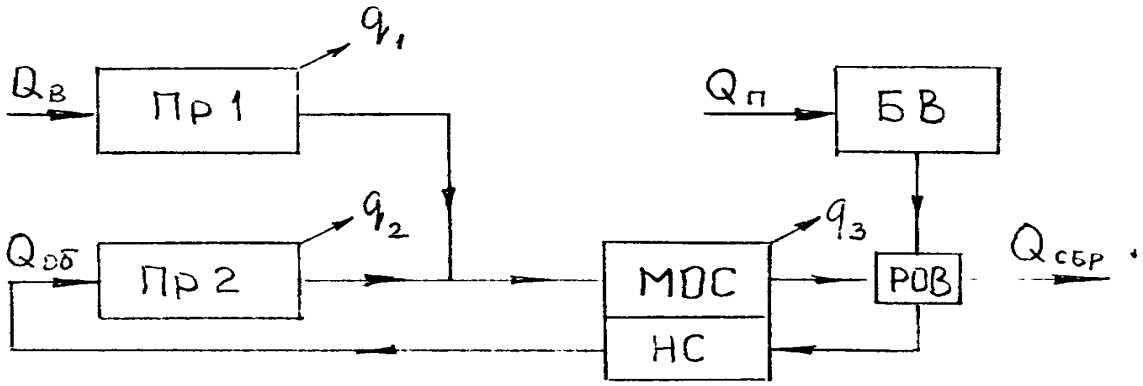


Рис. 3. Комбинированная система водоснабжения с оборотным использованием очищенных производственных сточных вод: ПР1 − предприятия и производственные процессы, потребляющие водопроводную воду; ПР2 − то же, оборотную воду; МОС − местные очистные сооружения; БВ − блок водоподготовки подпиточной воды; РОВ − резервуар очищенных сточных вод; НС − насосная станция оборотного водоснабжения; $Q_в$ − расход водопроводной воды; $Q_{об}$ − расход оборотной воды; $Q_п$ − расход подпиточной воды, компенсирующей безвозвратные потери; q_1, q_2, q_3 - безвозвратные потери; $Q_{сбр}$ − расход сбросной воды.

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

$$Q_{сут} = N \cdot M$$

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

где N − норма водоотведения на единицу продукции или перерабатываемого сырья, м^3; M и $N_{м.см}$ − число единиц продукции или перерабатываемого сырья в сутки и в максимальную смену; T − число рабочих часов в смену; $к_ч$ –ко-эффициент 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, $к_ч = 3$	12,5	6,25	6,25	18,75	6,25	6,25	6,25	37,5
В горячих цехах, $к_ч = 2{,}5$	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.

Расчет лотков и труб от отдельных аппаратов производится по максимальному секундному расходу.

− Цеховые трубопроводы и коллекторы рассчитываются по сумме максимальных расходов с учетом их совпадения во времени.

− Общезаводские и внеплощадочные коллекторы рассчитываются по совмещенному графику или по сумме максимальных часовых расходов с введением соответствующего коэффициента, учитывающего несовпадение их по времени.

− Бытовые воды учитываются отдельно.

− Дождевые воды отводятся самостоятельной сетью или совместно с производственными водами.

Для регулирования притока на очистных сооружениях устанавливаются регулирующие буферные резервуары или накопители, из которых после соответствующего отстаивания вода используется или сбрасывается в канализацию.

Режим поступления производственных сточных вод в сеть водоотведения различен для разных производств и определяется технологами.

Необходимо учитывать колебания расходов по суткам, часам, а также сезонную неравномерность водоотведения. Так коэффициент часовой неравномерности $\kappa_ч$ = 1–1,1 для металлургической промышленности; $\kappa_ч$ = 1,3–1,5 для химической; $\kappa_ч$ = 1,5 для пищевой и т.д.

При проектировании составляются графики притока сточных вод и графики водного баланса, и решается вопрос о повторном использовании части или всей воды.

Пути использования сточных вод зависят от их количества, состава и местных условий.

1. Наиболее часто устраивается оборотная система водоснабжения после соответствующего охлаждения или очистки воды. Оборот воды позволяет значительно сократить забор свежей воды и сброс сточной воды в водоемы.

2. Устройство последовательного водоснабжения; расход воды может быть при этом снижен до 50% (НПЗ, металлургические заводы, пищевая промышленность).

3. Некоторые виды производственных стоков могут использоваться в сельскохозяйственном водоснабжении для орошения. Наиболее пригодны для этих целей сточные воды предприятий пищевой промышленности, азотно-туковой, текстильной и некоторых др.

4. Извлечение из сточных вод ценных веществ и их утилизация (нефть, жиры, бумажное волокно, смолы, хром, железо, кислоты).

5. Использование производственных сточных вод, имеющих высокую температуру, в целях отопления или интенсификации технологических процессов (очистные сооружения, тепличные хозяйства, рыбоводные пруды и т.п.).

Различают внутриплощадочные (на территории предприятия) и внеплощадочные (за его пределами) водоотводящие системы.

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 сокращение количества загрязненных производственных сточных вод предприятия путем совершенствования технологических процессов;

4) возможность повторного использования производственных сточных вод в системе оборотного водообеспечения 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 оптимальный вариант.

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. 4 *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. 4 *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 под (рис. 4 *в*).

После локальной очистки сточные воды могут объединяться и очищаться совместно.

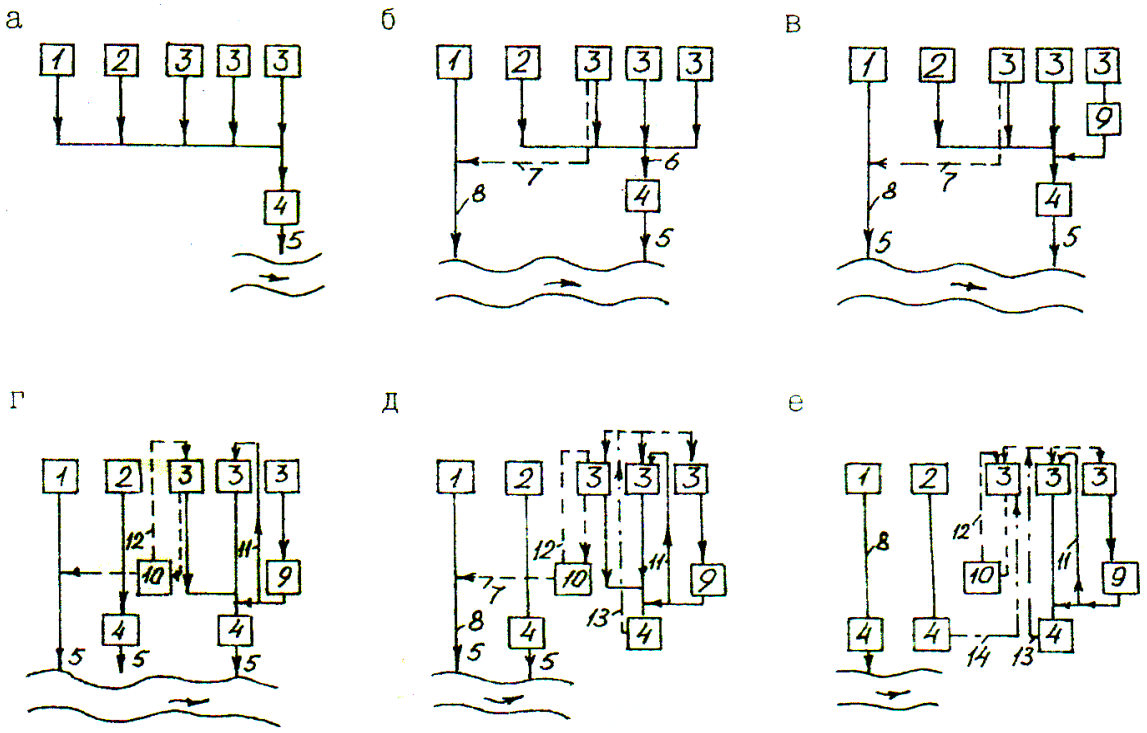


Рис. 4. Схемы водоотведения промышленных предприятий: *а* − общесплавной системы; *б* − раздельной системы с дождевой и производственно − бытовой сетями; *в* − то же, и локальными очистными сооружениями; *г* − раздельной системы с дождевой, бытовой и производственными сетями, локальными очистными сооружениями 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.

Разделение производственных сточных вод может быть продиктовано санитарными причинами, пожаро − и взрывоопасностью, возможностью зарастания и разрушения трубопроводов. Например, объединение кислых сточных вод с сульфидными приводит к выделению сернистого газа; со сточными водами, содержащими цианиды – к образованию ядовитой синильной кислоты (в виде газа); с вискозными − к образованию сероуглерода. Если объединить сточные воды, содержащие серную кислоту, со сточными водами, содержащими известь, то образуется сульфат кальция, который выпадает в осадок, что приводит к зарастанию труб. Объединение сточных вод, насыщенных сероуглеродом, со сточными водами, имеющими температуру выше 40°С, может привести к взрыву.

Не всегда целесообразно совместное отведение даже сточных вод одинакового состава, но различных по концентрации в них загрязняющих ве-

ществ. 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. Такой прием применим при использовании крепких щелоков сульфатцеллюлозного производства, при утилизации шерстного жира из промывных вод после I и II барок моечной машины, при получении медного и железного купороса из травильных растворов цехов металлообработки.

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. 4 *г*) с устройством производственных, бытовых и дождевых сетей.

В настоящее время ведущее место занимает вопрос повышения процента вод, находящихся в системе оборотного водообеспечения, с целью дальнейшего полного перехода на малоотходные и бессточные системы водоотведения (рис. 4 *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.

Таким образом, для удаления из сточных вод органических веществ наиболее универсальным методом является биологическая очистка в аэротенках или на биофильтрах как самостоятельный метод, а также в сочетании с другими методами предварительной очистки и доочистки. Для удаления трудноокисляемых биологическим путем органических веществ, а также неорганических применяются механические, химические и физико-химические методы очистки. Применение тех или иных методов осуществляется на основании экспериментальных исследований реальных сточных вод или при их отсутствии имитата, составленного на основании технологического регламента производства.

Как правило, производственные сточные воды перед очистными сооружениями должны быть максимально утилизированы.

Схемы водообеспечения 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.

Схему комплексного решения системы водоотведения населенного пункта и промышленного предприятия необходимо решать, руководствуясь следующими соображениями:

1. Нецелесообразно сбрасывать незагрязненные производственные сточные воды в городскую сеть. Эту воду лучше отводить в дождевую сеть или использовать в системе оборотного водоснабжения.

2. Сброс стоков, содержащих только минеральные загрязнения, в бытовую сеть нецелесообразен, т.к. после отстаивания сточные воды могут быть использованы в производстве или сброшены в водоем.

3. Иногда для окончательного решения вопроса о присоединении производственных сточных вод к бытовым, учитывая специфику загрязнений производственных сточных вод, необходимо поставить серию опытов на модельных сооружениях.

В необходимых случаях производственные стоки должны пройти предварительную обработку на локальных сооружениях.

Для составления комплексной схемы определяют концентрацию загрязнений дождевых вод, чтобы решить вопрос о возможной совместной очистке их с производственными стоками и возможности использования их в обороте.

При проектировании местной очистки предпочтительны групповые очистные сооружения, на которых очищают производственные сточные воды нескольких промышленных предприятий, т.к. это снижает затраты на строительство локальных очистных сооружений, обеспечивает более высокий эффект очистки, организованный контроль, сокращение административного аппарата, позволяет повысить механизацию и автоматизацию процессов и обеспечить более комфортные условия работы обслуживающего персонала.

Контрольные вопросы

1. Виды и состав сточных вод, образующихся на промышленном предприятии?
2. Как оценивается эффективность использования воды на промышленном предприятии?
3. Что необходимо знать при проектировании предприятий?

4. Что определяется при проведении анализа промышленных сточных вод?

5. Как определяются расчетные расходы производственных сточных вод?

6. Как определить подпиточный расход воды, подаваемый в оборотную систему?

7. Пути использования производственных сточных вод?

8. Схемы водоотведения промышленных предприятий, и от чего зависит целесообразность разделения или объединения отдельных потоков?

9. Что необходимо учитывать при выборе системы и схемы водоотведения промышленного предприятия?

10. Когда возможно комплексное решение схемы водоотведения промышленных предприятий и населенного пункта?

ЛЕКЦИЯ 2

Особенности устройства и расчета систем водоотведения на промышленных предприятиях.

План лекции:

Особенности устройства и расчета систем водоотведения на промышленных предприятиях.

Гидравлические затворы на сети водоотведения для перекачки стоков.

Особенности устройства насосных станций для перекачки стоков. (0,056; 2*ч*).

Все сточные воды, образующиеся на территории промышленного предприятия, транспортируются по системе труб и каналов. Выбор системы транспортирования и схемы водоотведения зависит от количества, состава и свойств сточных вод, а также от местных условий.

Наибольшее распространение получила закрытая водоотводящая сеть. Сточные воды, опасные в санитарном отношении, а также содержащие взрыво − и пожароопасные примеси, транспортируются только по закрытой сети трубопроводов.

Производственные стоки могут иметь высокую температуру, содержать кислоты, щелочи, обладать повышенной агрессивностью и оказывать серьезное влияние на условия работы сети водоотведения.

1. Могут вызывать коррозионное разрушение материала труб, лотков, колодцев и других элементов.

2. Могут уменьшать пропускную способность труб вследствие их засорения или отложения осадков на дне и стенках.

3. Образовывать взрывоопасные газы и приводить к пожарам в сети.

4. Образовывать ядовитые газы и вещества, которые вредны для эксплуатирующего персонала.

Все это должно учитываться при проектировании и строительстве. Особое внимание следует обращать на выбор материала труб и сооружений, защиту их от агрессивного влияния стоков, предотвращение засорения сети. В связи с этим вблизи мест выпуска устанавливают решетки и отстойники для задержания грубодисперсных примесей.

Внутрицеховые каналы устраивают со съемными перекрытиями. Предусматривают вентиляцию сети.

Количество специальных сетей производственной канализации определяется исходя из состава сточных вод, их расхода, температуры, необходимости локальной очистки и возможности повторного использования.

Отдельные сети устраивают для:

−стоков, идущих на локальную очистку и утилизацию;

−стоков, содержащих агрессивные, токсичные, взрывоопасные и легковоспламеняемые вещества;

-стоков, идущих на биологическую очистку;

−незагрязненных вод, идущих в оборот.

На промышленных предприятиях сети водоотведения могут быть уложены: в открытых и закрытых каналах, лотках, тоннелях, по эстакадам. При укладке труб в грунте обычно глубина их заложения $H \leq$ 4м. Трубопроводы, транспортирующие взрывоопасные и токсичные вещества устраивают с повышенной герметичностью; располагают не ближе 3м от стен и не ближе 6м от подвалов зданий.

Для транспортирования агрессивных вод применяют керамические трубы 1−го сорта с глазурованной поверхностью, асбестоцементные, винипластовые ($t < 50°C$), фторопластовые, стеклопластиковые, фаолитовые, трубы из нержавеющей стали, стальные (футерованные резиной, стеклом, пластиками) и чугунные асфальтированные трубы.

Каналы выполняются из кислотоупорных материалов или из обычных материалов, футерованных кислотоупорной плиткой или кирпичом. Для неагрессивных сточных вод применяют железобетонные трубы.

Необходимо учитывать возможную загрязненность грунтов на промышленной площадке и их агрессивное влияние на сооружения и трубы. Соединения трубопроводов: на муфтах, раструбные или фланцевые. Заделка раструбных стыков осуществляется асбестовым шнуром с битумом (при температуре до 60°С), либо с помощью оргалитовых замков (до 100°С).

Лотки смотровых колодцев для кислых стоков изготовляются из кислотоупорных материалов.

Смотровые колодцы при малоагрессивных стоках устраивают из кислотоупорного бетона, используя готовые кольца; металлические детали покрывают асфальтовым лаком или другими защитными материалами. Вентиляция сети решается в каждом случае в соответствии с действующими нормами в зависимости от состава сточных вод и согласовывается с органами государственного санитарного и пожарного надзора.

При наличии вредных газов в сети ее естественная вентиляция производится через стояки из колодца на выпуске и промежуточные колодцы на расстоянии через 200м. Диаметр стояка 200мм. Стояк выводится на 2м выше конька самого высокого ближайшего здания.

При необходимости устраивается искусственная вентиляция. Если трубы укладываются в проходных каналах или тоннелях, то они вентилируются через специальные шахты. Если есть сероводород, сероуглерод и другие вредные или взрывоопасные загрязнения, то кроме постоянно действующей естественной вентиляции необходима приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением. Конструкция вентиляторов и другого оборудования должна быть во взрывобезопасном исполнении. Кратность вентиляции определяется специальными нормами.

Присоединение самотечных трубопроводов к наружной сети водоотведения, по которым отводят промышленные стоки, содержащие вредные газы, и легковоспламеняющиеся жидкости, производят с устройством гидравлических затворов на всех выпусках из цехов.

Минимальная высота гидравлического затвора − 25см (рис. 5).

Для локализации взрывов и сопровождающего их пламени гидравлические затворы устраивают на выпусках из цехов и на самой сети через каждые 250м. Устраивают их в виде колодца с полупогруженной перегородкой или конца трубы, погруженной ниже уровня жидкости.

На трубопроводах, по которым транспортируются сточные воды, содержащие легкие или тяжелые горючие жидкости, следует устраивать улавливающие камеры (ловушки), из которых уловленные примеси периодически откачивают в передвижные или стационарные емкости.

Дождевые и сливные воды с площадок открытого хранения горючих, токсичных, кислотных и щелочных сточных вод нужно отводить через разделительный колодец с задвижками, который позволяет сбрасывать все сточные воды в дождевую сеть, а при аварии − в специальные аварийные емкости.

На выпусках из обвалованных территорий резервуарных парков дождеприемные колодцы следует оборудовать запорными устройствами (хлопушками), приводимыми в действие с ограждающего вала или из мест, находящихся вне обвалования.

Назначение хлопушки − регулирование выпуска атмосферных вод в производственно-дождевую канализацию; нормальное ее положение − закрытое. При попадании в колодец нефтепродуктов (в результате аварии) их необходимо откачать в отдельную емкость.

Сброс нефтепродуктов в сеть производственно − дождевой канализации не допускается.

Если территория загрязнена вредными веществами, то дождевые и талые воды следует направлять в пруд − накопитель. Вместимость его рассчитывается на расход талых вод 20%−й обеспеченности.

При отведении сточных вод в сеть водоотведения населенного пункта или в водоем степень их очистки должна соответствовать предъявляемым требованиям.

Расчет лотков и труб для отвода сточных вод от отдельных аппаратов и их групп производится по максимальному секундному расходу.

Цеховые лотки и трубопроводы, а также наружные коллекторы от отдельных цехов или заводских корпусов рассчитывают по максимальному часовому расходу от цеха или по сумме максимальных часовых расходов от отдельных цехов, если их в корпусе несколько; общезаводские и внеплощадочные лотки и коллекторы по совмещенному графику часовых расходов от нескольких цехов или корпусов.

В большинстве случаев наблюдается несовпадение максимальных часовых расходов и уменьшение общего коэффициента часовой неравномерности водоотведения.

На предприятиях чаще всего проектируется централизованная схема, однако при определенных условиях возможно применение и децентрализованной схемы.

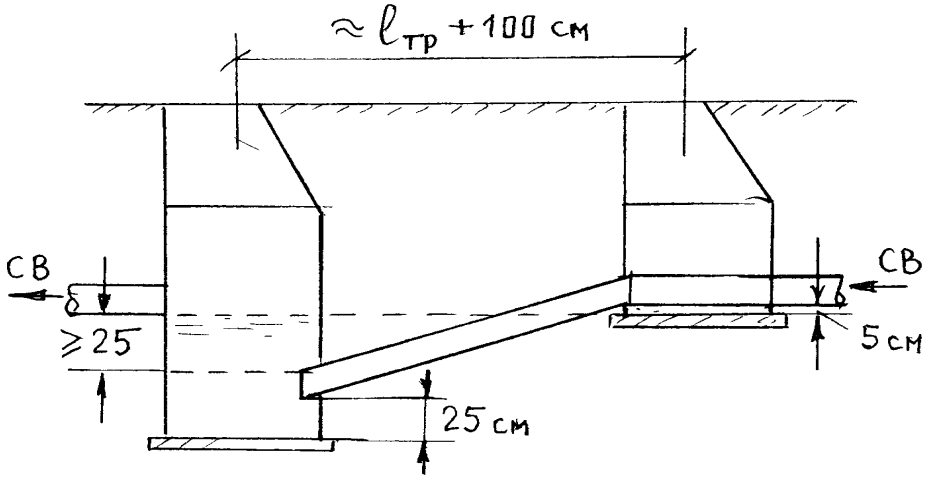


Рис. 5. Схема устройства гидравлического затвора на канализационной сети

Расчетная скорость зависит от состава сточных вод, диаметра сети и свойств сточных вод:

• для сточных вод, содержащих жиры и нефтепродукты $V \geq$ 0,8–0,9м/с;

• с тяжелыми примесями (шлам, окалина) V = 1,25–1,6м/с.

Рекомендуется эти скорости принимать из условий эксплуатации аналогичной сети.

Уклоны труб принимаются из условия обеспечения расчетной скорости. Минимальный уклон для труб диаметром 200 мм на безрасчетных участках − i = 0,007–0,005, для труб диаметром 150 мм − i = 0,008, а при наличии большого количества механических примесей уклон i возрастает до 0,01 и более.

Заполнение труб и лотков при максимальном расходе не должно превышать 70% площади сечения и должно соответствовать требованиям к наполнению труб бытовой канализации.

Полное наполнение труб до 300 мм допускается при пропуске душевых и банно-прачечных сточных вод, при кратковременном сбросе производственного стока и при прохождении дождевой воды.

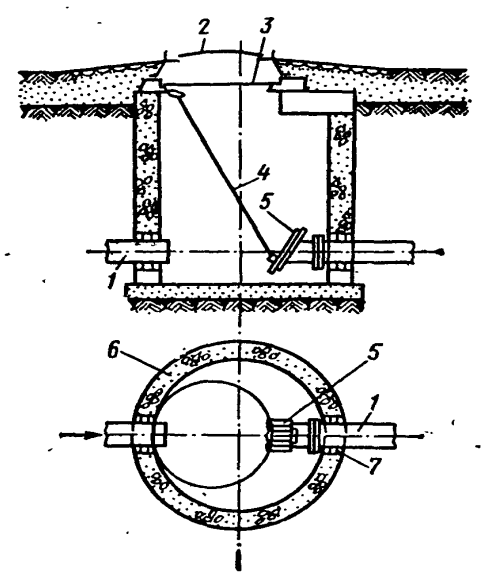


Рис. 6. Колодец с хлопушкой: 1 – труба; 2 – чугунный люк; 3 – внутренняя крышка люка; 4 – просмоленный канат; 5 – хлопушка; 6 – бетонный колодец; 7 – асбестоцементный раствор.

Для перекачки стоков, не выделяющих вредных газов и паров, насосные станции могут располагаться непосредственно в цехах промышленного предприятия.

В этих же помещениях могут находиться резервуары, оборудованные постоянно действующей вентиляцией. Отдельностоящие насосные станции с отдельностоящими приемными резервуарами, как правило, устраивают для перекачки сточных вод, содержащих легковоспламеняющиеся, взрывоопасные и летучие токсичные вещества. Располагаются резервуары на расстоянии не менее:

- 10м от насосной станции;
- 20м от цехов промышленного предприятия;
- 100м от общественных зданий.

Закрытые приемные резервуары, содержащие легковоспламеняемые и взрывоопасные вещества, должны выступать на 15–20 см над землей и иметь ограждения высотой 1,2 м.

Для перекачивания агрессивных сточных вод устраивают отдельностоящие насосные станции с двумя приемными резервуарами, которые должны быть доступны для наружного осмотра и профилактического ремонта.

Иногда эти насосные станции блокируют с производственными поме-щениями.

Постоянно действующие насосные станции должны обеспечиваться двойным электропитанием или иметь резервные агрегаты с тепловыми двигателями. Если такие условия выполнить невозможно, то из приемного резервуара устраивают аварийный выпуск. Для вредных стоков − в специальную емкость с последующим возвратом на насосную станцию. Здание насосной станции должно быть не ниже 2–й степени огнестойкости при перекачке легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ. Во избежание осаждения взвеси в приемных резервуарах, емкость их принимается минимальной и не превышающей 10% среднечасового притока сточных вод.

Если при смешении разных стоков образуются вредные газы или осадок, то для каждого вида сточных вод устраивают самостоятельные приемные резервуары. Насосы и оборудование насосной станции для перекачки сточных вод выбираются в зависимости от их физико-химического состава, температуры, агрессивности, плотности, наличия механических примесей и т. д. Количество насосов − в зависимости от требований СНиП; каждый насос имеет самостоятельную всасывающую и, по возможности, напорную линии.

Скорости в трубах принимаются из условия не выпадения осадка; как правило, они больше, чем в бытовой сети. Насосы для перекачки шламов устраивают только под залив и предусматривают промывку всасывающих и напорных линий. При перекачке легковоспламеняющихся и взрывоопасных стоков применяются взрывобезопасные электродвигатели, пусковые устройства и электроосвещение.

Контрольные вопросы

1. Какое влияние могут оказывать производственные стоки на условия работы сети водоотведения?
2. Как определить количество специальных сетей производственной канализации?
3. Особенности устройства и расчета сетей водоотведения на промышленных предприятиях известны
4. Какие трубы применяются для транспортировки агрессивных вод, а какие для неагрессивных?
5. Как осуществляется вентиляция канализационной сети?
6. Для чего устраивают гидравлические затворы?
7. От чего зависит расчетная скорость и как принимают уклоны труб?
8. Особенности устройства насосных станций для перекачки сточных вод?
9. От чего зависит выбор насосов и оборудования насосных станций для перекачки сточных вод?
10. Как устраиваются насосы для перекачки шламов?

ЛЕКЦИЯ 3

Виды приемников и условия приема производственных сточных вод.

План лекции:

Виды приемников производственных сточных вод: городские системы водоотведения; водоемы; подземные горизонты; испарители; оборотные системы водопользования.

Условия приема сточных вод в городские системы. Оборотные системы водоснабжения.

Условия выпуска сточных вод промышленных предприятий в водоемы. Закачка сточных вод в подземные горизонты. Сброс сточных вод в накопители-испарители. Определение необходимой степени очистки. (0,056; 2*ч*).

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

На выбор вида приемника влияют:

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

Сброс сточных вод в различные приемники производится только при соблюдения ряда обязательных требований, обеспечивающих нормальное их функционирование и защиту окружающей среды. Условия приема сточных вод в городские системы водоотведения в каждом случае они 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° С.

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:

- $БПК_{полн}$ > 500 мг/л при обычных аэротенках;
- $БПК_{полн}$ > 1000 мг/л при аэротенках-смесителях.

2. Недопустим сброс сильноокрашенных сточных вод.

3. Запрещены залповые сбросы сильноконцентрированных сточных вод.

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

- температуру ≥ 6° С и ≤ 30° С;
- pH ≥ 6 и ≤ 8,5;
- общую концентрацию растворимых солей < 10 г/л;
- не должно быть нерастворимых масел, смол;
- не должно быть биологически жестких поверхностно-активных веществ;
- $ХПК/БПК_{20}$ должно быть. < 1,5;
- оптимальное содержание биогенных элементов в стоках должно быть 100:5:1, где 100 − относительное содержание $БПК_{20}$, 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:

$$\sum_{i=1}^{n} C_i / C_{innpe} \le 1$$

где C_i, $C_{inпред}$ – 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.);
- $БПК_{20}$;
- радиоактивные загрязнения и т. п.

Основное уравнение – уравнение материального баланса:

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

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

$$C_{ст} \le \frac{a \cdot Q \cdot (C_{пдк} - C_{p)}}{q} \cdot C_{пдк}$$

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^3; p – нормируемое допустимое увеличение концентрации взвешенных веществ в воде водоема, г/м^3.

Для ВВ $C_{пдк} = p + b$

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

Аналогично получается формула для температуры сточных вод, подлежащих сбросу

$$T_{ст} = T_{доп} \cdot (\frac{a \cdot Q}{q} + 1) + T_p$$

где $T_{ст}$, $T_{доп}$, $T_р$ – 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:

$$Ca(HCO_3)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2H_2O + 2CO_2 .$$

При сбросе щелочных стоков:

$$2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O .$$

Из условия смешения сточных вод с водой водоема концентрация:

$$C_{ст.к} = \frac{a \cdot Q}{q} \cdot C_k$$

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

где $C_к$,$C_щ$, − количество кислоты или щелочи в мл нормального раствора, которое может быть нейтрализовано 1л воды водоема.

Для определения $C_к$ и $C_щ$ применяют формулы или графики.

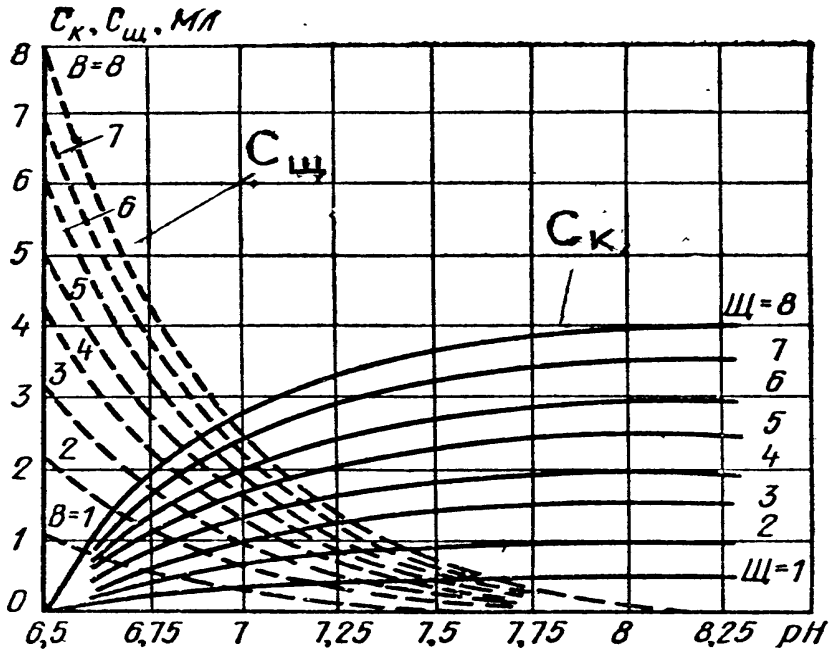


Рис. 7. Номограмма для расчета допустимого количества кислых и щелочных стоков, спускаемых в водоем: $C_к$ и $C_щ$ − количество кислоты или щелочи (в мл нормального раствора), которое может быть нейтрализовано 1л воды водоема

Определение необходимой степени очистки по общесанитарному, токсикологическому или органолептическому признаку вредности производят по формуле проф. С. Н. Черкинского. Концентрация трудноизвлекаемого вещества в расчетном створе должна быть

$$C_в = C_{в.пдк} \cdot (1 - \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{C_{i.пдк}})$$

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

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

Для проточных водоемов

$$C_{ст} = a \cdot (C_{пдк} - C_в) + C_в$$

где $C_в$ – концентрация загрязнений в непроточном водоеме.

Концентрация взвешенных веществ

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

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

Допустимая максимальная температура

$$T_{ст} = T_{доп} \cdot (\frac{a \cdot Q}{q} + 1) + T_р$$

$$T_{ст} = T_{доп} + T_в$$

Допустимое содержание кислоты или щелочи

$$C_{ст.к} = (n - 1) \cdot C_к$$

$$C_{ст.ц} = (n - 1) \cdot Сц$$

Закачка сточных вод в подземные горизонты используется для:

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

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

При решении вопроса о закачке сточных вод в подземные горизонты должна производится 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.

При заводнении решаются следующие задачи:

1. Выбирается конструкция скважины и фильтра.
2. Изучается качество сточных вод, определяется схема ее обработки.
3. Намечается технология закачки.

Сточные воды нефтепромыслов обычно в открытые водоемы сбрасывать нельзя, поэтому они после предварительной обработки используются для заводнения пластов и могут сбрасываться на испарительные пруды или площадки, в поглощающие скважины (рис. 8).

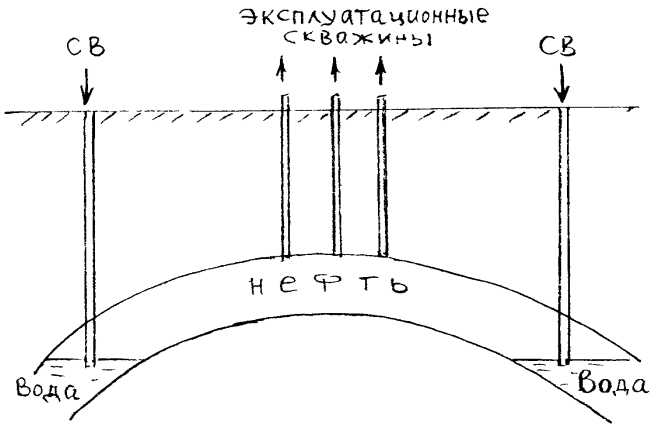


Рис. 8. Схема нагнетания воды в нефтеносные горизонты для увеличения внутрипластового давления

Так как образующейся на нефтепромыслах сточной воды для заводнения не хватает, то добавляют пресную или морскую воду; добавка, как правило, составляет 40–50%. При взаимодействии морской воды с пластовой возмож-

но образование нерастворимых соединений, поэтому воду предварительно обрабатывают по схеме представленной на рис. 9.

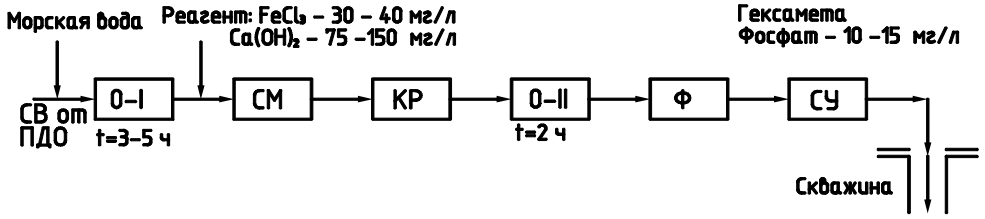


Рис. 9. Схема доочистки пластовых вод: 0−I, 0−II − отстойники I и II ступени; СМ – смеситель; КР − камера реакции; Ф − фильтр; СУ − стабилизационная установка.

При подаче воды на испарительные площадки и закачке ее в пласт вода обычно проходит обработку по схеме, показанной на рис. 10.

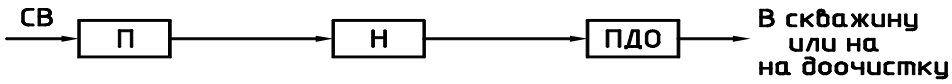


Рис. 10. Схема предварительной обработки пластовых вод: П − песколовка; Н − нефтеловушка; ПДО − пруды дополнительного отстаивания.

Требования к закачиваемой воде:

1. Взвешенные вещества ≤ 1−2 мг/л.
2. Железо < 0,5 мг/л.
3. Не должна быть коррозионноопасной.
4. Не должна содержать нерастворенной нефти.
5. Должна быть стабильна.

В качестве поглощающих скважин могут быть использованы заброшенные добывающие или разведочные скважины.

Количество скважин зависит от свойств грунта (коэффициента фильтрации) и от расхода сточных вод.

Сброс сточных вод в накопители-испарители для испарения загрязненных сильно минерализованных сточных вод или стоков, содержащих высокотоксичные соединения.

Накопители − испарители применяются в районах с засушливым климатом. Желательна минимальная глубина площадок (до 0,5м). Дно должно быть водонепроницаемо. Их применение целесообразно, когда получаемые при ис-

парении осадки могут быть использованы в народном хозяйстве и не угрожают загрязнением подземных вод и окружающей среды.

При необходимости применяют специальные испарительные установки или установки термического обезвреживания сточных вод (рис. 11).

Производственные стоки, загрязненные нефтепродуктами или другими органическими загрязнениями, поступают в приемный резервуар канализационной насосной станции, а из него насосом через фильтры подаются к распыливающим механическим форсункам циклонной печи.

В качестве топлива в печь подается мазут, подогретый до 100–120°С. Воздух, необходимый для сгорания мазута и органических составляющих сточных вод, подается от воздуходувки к топливным горелкам и соплам вторичного дутья.

Продукты сгорания (дымовые газы), имеющие температуру 900–1000°С, охлаждаются до 500° С воздухом, подаваемым в газоход вентилятором, и выбрасываются через дымовую трубу в атмосферу.

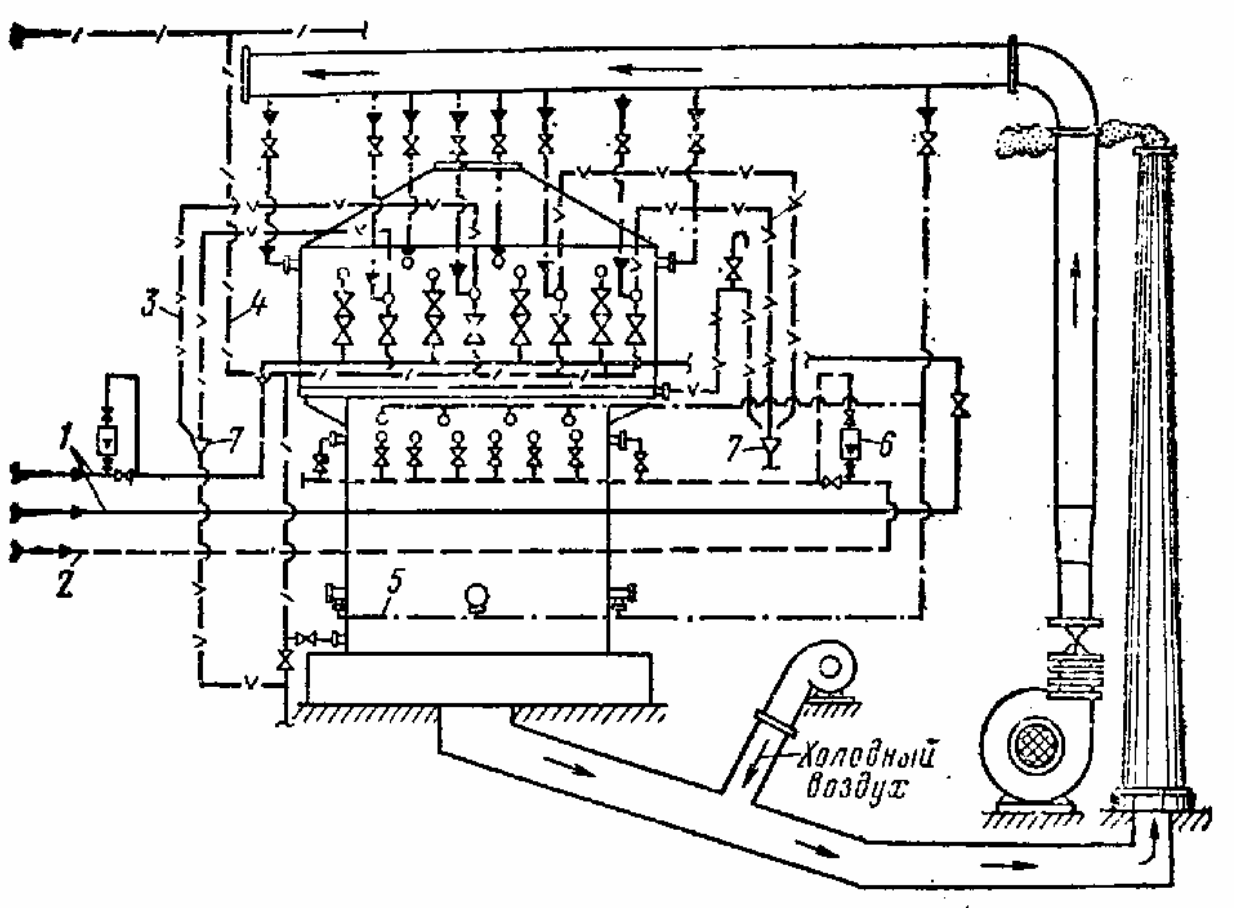


Рис. 11. Схема установки термического обезвреживания сточных вод: 1 − мазутопровод; 2 − трубопровод сточных вод; 3 − трубопровод условно чистых вод; 4 − водопровод; 5 − воздухопровод; 6 − ротаметр; 7 – воронка.

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:

- слабоконцентрированные < 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 $Ж_о \leq 4$ мг-экв/л;
- жесткость карбонатная $Ж_к \leq 3$ мг-экв/л;
- солесодержание < 2 г/л;
- хлориды ≤ 350 мг/л, сульфаты ≤ 500 мг/л;
- pH = 6,5–8,5;
- взвешенные вещества ≤ 25 мг/л;
- при использовании смеси производственных и очищенных бытовых сточных вод коли-индекс должен быть ≤ 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 зависти 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, сбрасывемых в различные приемники?
9. Закачка сточных вод в подземные горизонты и другие способы ликвидации сточных вод?
10. Требования к качеству сточных вод, сбрасываемых в оборотные системы промышленных предприятий?

МОДУЛЬ 2 МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД 1,00 (36ч)

ЛЕКЦИЯ 4

Общие сведения по очистке производственных сточных вод. Механическая очистка (процеживание сточных вод)

План лекции:

Общие сведения по очистке производственных сточных вод. Методы и схемы очистки производственных сточных вод.

Механическая очистка сточных вод. Назначение механической очистки производственных сточных вод. Классификация процессов и методов механической очистки сточных вод. Состав сооружений станции механической очистки. Процеживание сточных вод. (0,056; 2*ч*).

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 $БПК_{20}$.

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 загрязне-

ния 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.

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 х 0,3мм или 0,8 х 0,8мм. Сетка помещается в камере, причем 4/5 барабана погружена в воду.

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.

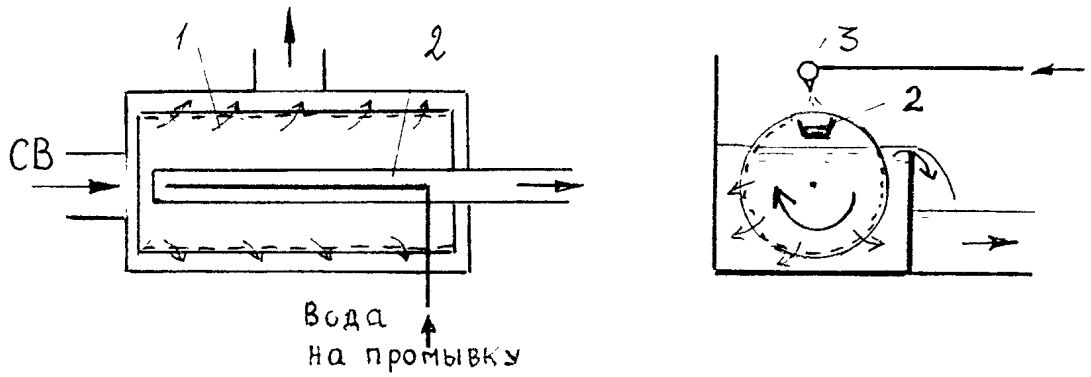


Рис. 12. Барабанная сетка: 1 – барабан; 2 – лоток для отведения промывной воды; 3 – насадка с промывным соплом.

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

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÷ 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 α = 60–70° (рис. 13). Если количество улавливаемых загрязнений составляет 0,1$м^3$ в 1сут и более, то очистка решеток должна быть механизирована.

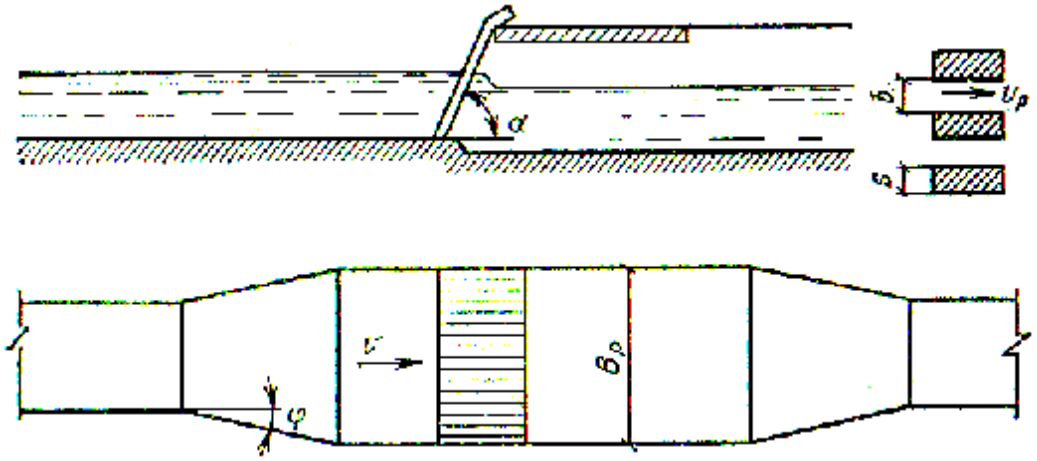


Рис. 13. Решетка с ручной очисткой

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

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.14)

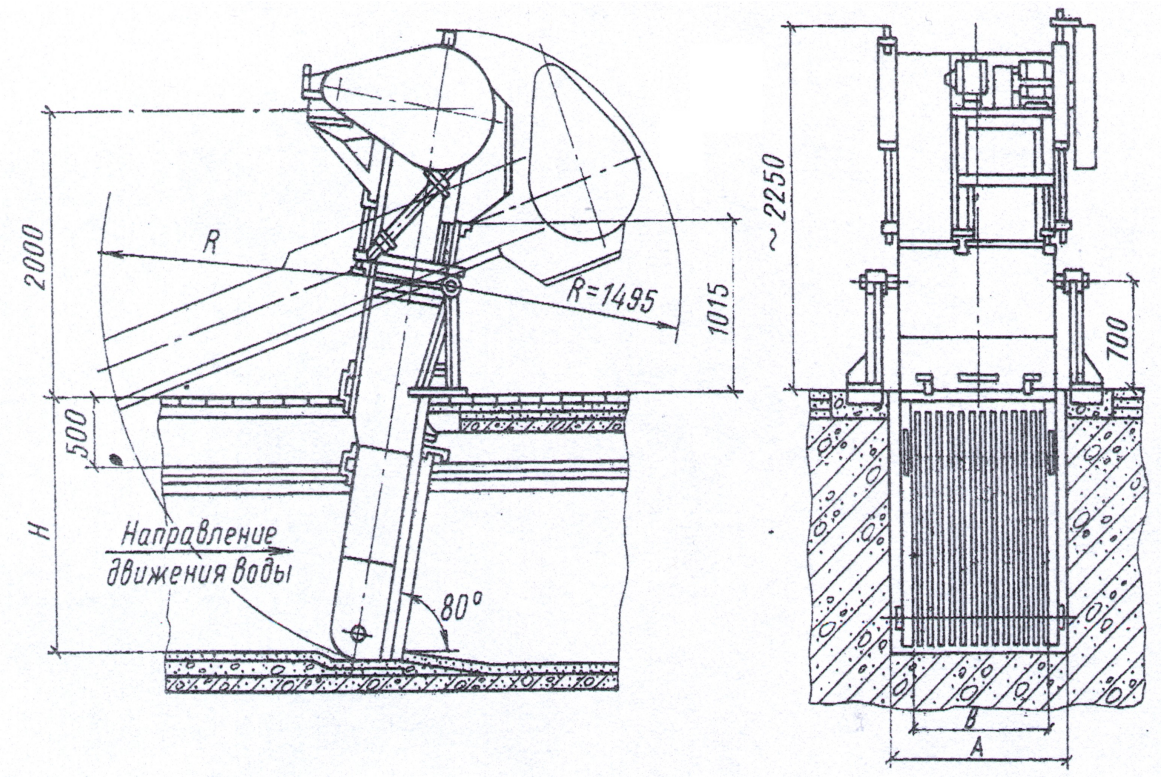


Рис. 14. Механические решетки типа МГ

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 м^3 на 1 г отбросов. Влажность раздробленных отбросов составляет 98–98,5%. При количестве отбросов более 1 т в 1 сут устанавливают резервную дробилку.

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?

ЛЕКЦИЯ 5

Усреднение сточных вод по расходу и концентрации загрязнений

План лекции:

Усреднение сточных вод по расходу и концентрации загрязнений. Конструкции и основы расчета усреднителей. Усреднители – смесители барбатажного типа. Многоканальные усреднители. Усреднители с перемешиванием сточных вод обратным током воды. (0,056; 2*ч*).

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^3 на 1 п.м. воздухораспределительных труб в час(рис. 15 *б*). При больших расходах применяются проточные усреднители различных конструкций (рис. 15 *в*).

Во ВНИИ ВОДГЕО (рис. 15 *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.

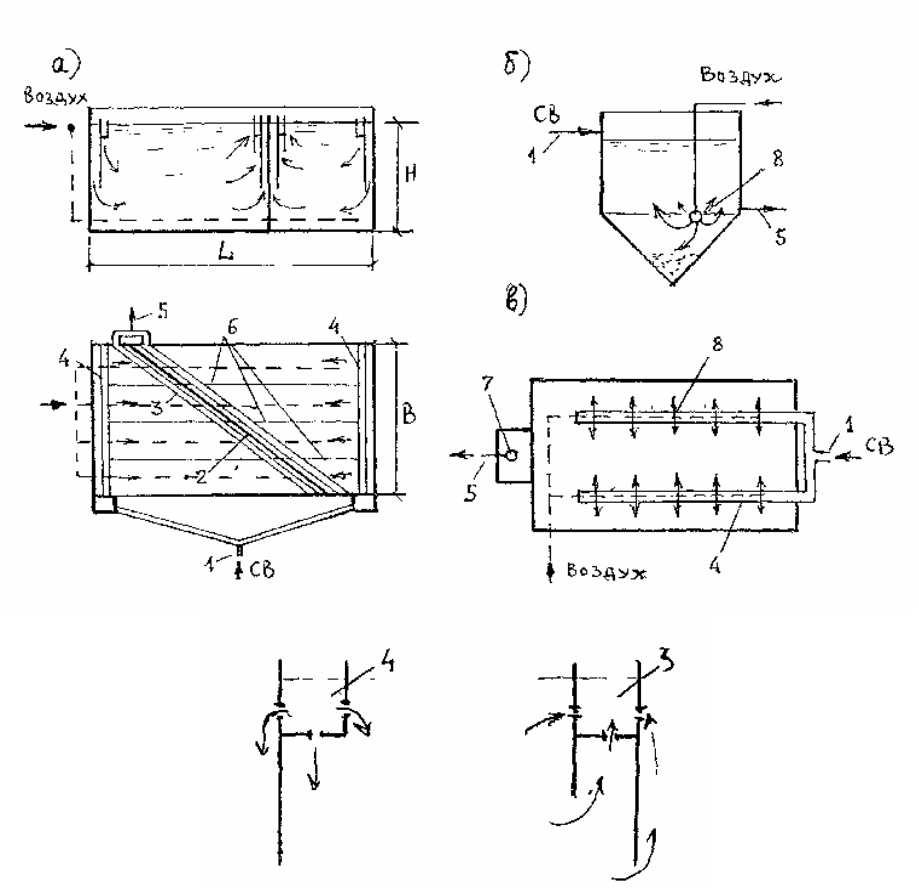


Рис. 15. Конструкции усреднителей: *а* – проточный многокоридорный с диагональной перегородкой; *б* – контактный усреднитель периодичного действия; *в* – проточный с перемешиванием воды воздухом; 1 – водоподводящий канал; 2 – глухая диагональная перегородка; 3 – водосборные желоба; 4 – водораспределительные 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:

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

или

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

где Q_w – расход, м^3/ч; $T_ц$ – период цикла, ч.

Усреднители с механическим перемешиванием применяются при концентрации взвеси ≥ 500 мг/л; усреднители барботажного типа < 500 мг/л при любом режиме поступления сточные воды. Интенсивность барботажа для перемешивания 2–3 (6) м^3/ч на 1 п. м. пристенного барботера и 4–6 (12) м^3/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^3/ч на 1 п.м. Интенсивность подачи воздуха для поддержания взвеси во взвешенном состоянии

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

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^3.

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 ±0,015м 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 воло-

кон, шерсти, тряпок и других отходов производства.

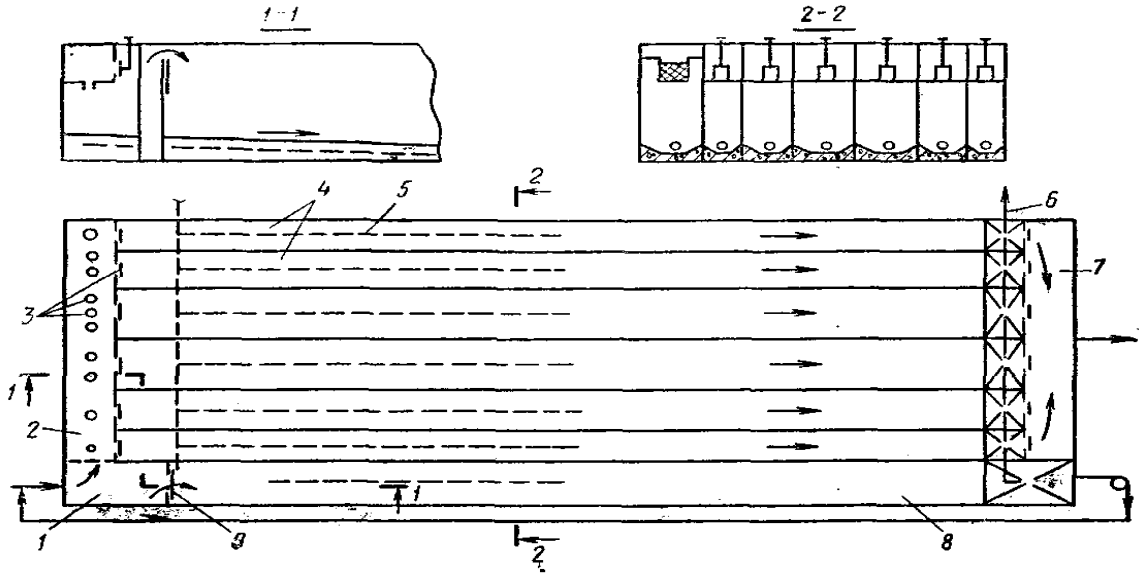


Рис. 16. Схема многоканального усреднителя: 1 – приемная камера; 2 – распределительный лоток; 3 – донные выпуски и боковой водослив с шибером; 4 – каналы; 5 – система гидросмыва; 6 – удаление осадка гидроэлеваторами; 7 – камера усредненных стоков; 8 – аккумулирующая емкость; 9 – водослив.

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. 16, 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 усреденения (рис. 17).

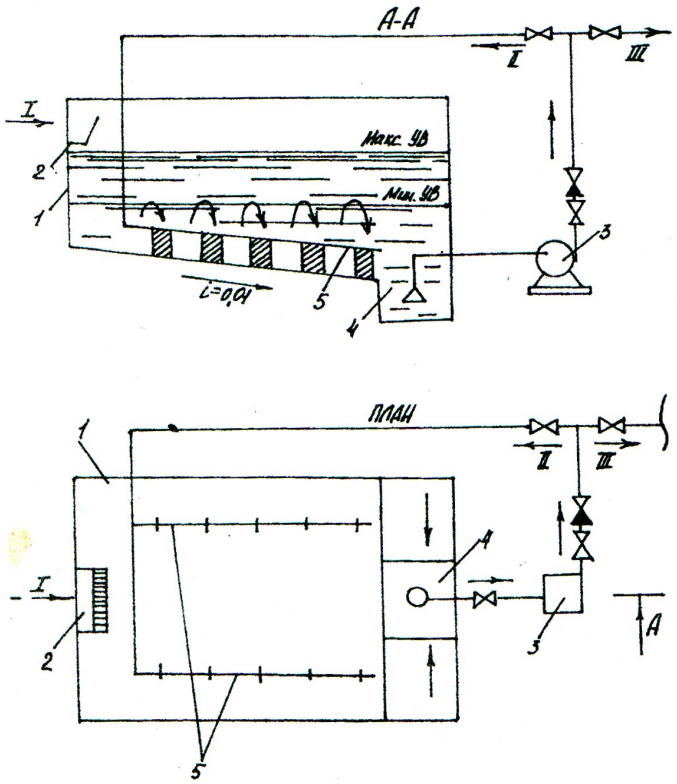


Рис. 17. Усреднители с перемешиванием сточных вод обратным током жидкости: I – поступающая сточная вода; II – возвратная сточная вода на перемешивание; III – усредненная сточная вода: 1 – резервуар – усреднитель; 2 – решетки с ручной очисткой; 3 – насос; 4 – приямок; 5 – барабатеры

Разновидностью усреднителей периодического действия являются буферные резервуары, получившие распространение на предприятиях добычи, переработки и транспорта нефти. В них происходит усреднение качества сточных вод, выравнивание их подачи на очистные сооружения, если стоки поступают неравномерно от разных объектов (рис. 18).

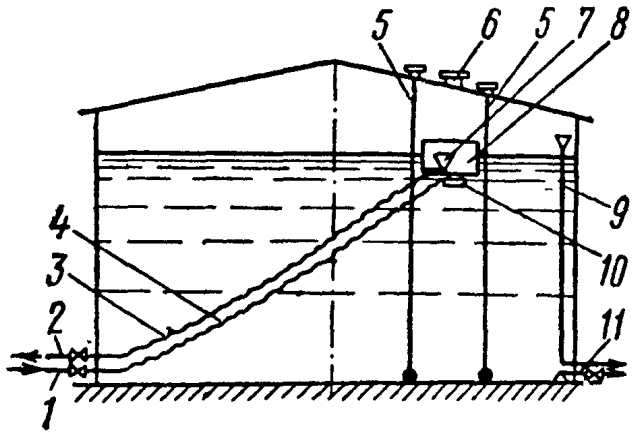


Рис. 18. Схема буферного резервуара: 1, 2 – трубопроводы соответственно поступающей воды и для удаления всплывшей нефти; 3, 4 – гибкие шланги; 5 – направляющие тросы; 6 – смотровой люк; 7 – нефтесборная воронка; 8 – поплавок; 9 – переливная труба; 10 – распределительная головка; 11 – трубопровод отстоявшейся воды

В них же происходит отстаивание сточных вод, при котором выделяется до 90–95 % плавающих нефтепродуктов.

Буферные резервуары представляют собой типовые стальные вертикальные цилиндрические резервуары, вместимость которые рассчитана на пребывание воды в течение 6–24 ч.

Они должны быть оборудованы водораспределительным и нефтесборным устройствами, трубами для подачи и выпуска сточной воды, отвода нефти и уровнемером.

Усреднение расхода и концентрации загрязнений позволяют рассчитывать все последующие звенья очистки не на максимальные, а на некоторые средние значения параметров потока, что позволяет не завышать объем и производительность каждого из последующих звеньев очистки.

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.

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?

ЛЕКЦИЯ 6

Гравитационное разделение. Конструкции и основные расчеты сооружений

План лекции:

Гравитационное разделение. Особенности процессов гравитационного отделения дисперсных примесей промышленных сточных вод. Типы и конструкции песколовок (тангенциальные, аэрируемые), отстойников (горизонтальные, вертикальные, радиальные, принцип работы.

Отстойники тонкослойные. Отстойники специального назначения: нефтеловушки, отстойник–нефтеуловитель, смоло–маслоуловитель, жироловки. Конструкции и основные расчеты сооружений. (0,056; 2*ч*).

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 0,2–0,25 мм при пропускной способности очистных станций более 100 $м^3$/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/$м^3$. На небольших установках песок можно удалять вручную. При объеме песка более 0,1 $м^3$ в 1 сут применяется механизированное его удаление.

На рис. 19 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.

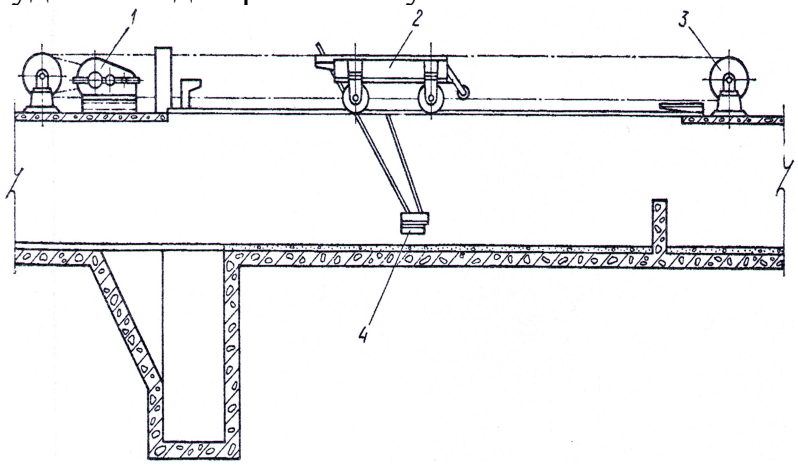


Рис 19. Скребковый унифицированный механизм МСПУ-3 (МСПУ-6) с поворачивающимся скребком: 1 – привод; 2 – скребковая тележка; 3 – блок ведомый; 4 – поворачивающийся скребок

К горизонтальным песколовкам могут быть отнесены и песколовки с круговым движением воды. На рис. 20 показаны песколовки этого типа, оборудованные гидроэлеваторами для удаления песка.

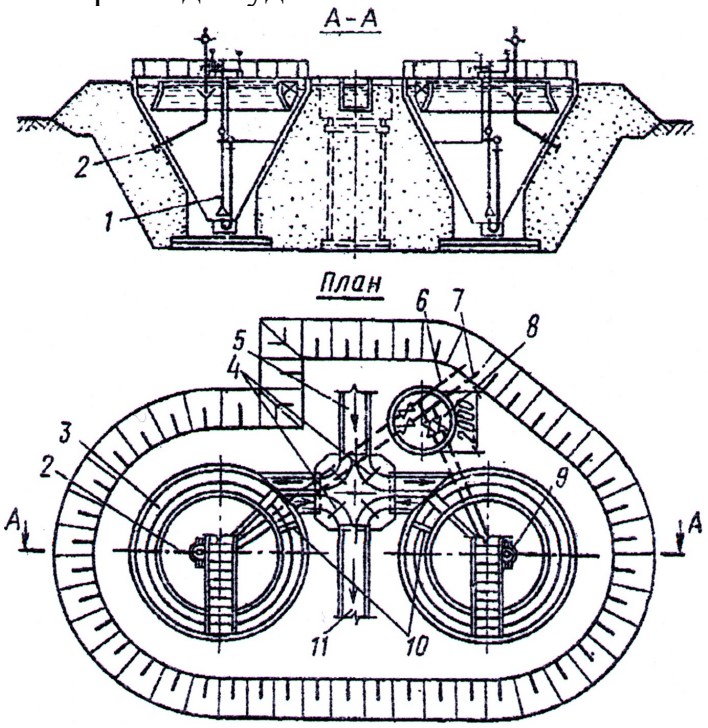


Рис 20. Песколовки с круговым движением воды пропускной способность 1400-6400 м^3/сут: 1 – гидроэлеватор; 2 – трубопровод для отвода всплывающих примесей; 3 – желоб; 4 – поверхностные затворы с ручным приводом; 5 – подводящий лоток; 6 – пульпопровод; 7 – трубопровод рабочей жидкости; 8 – камера переключения; 9 – устройство для сбора всплывающей примеси; 10 – полупогружные щиты (при очистке нефтесодержащих сточных вод); 11 – отводящий лоток.

Особенностью тангенциальных песколовок (рис. 21) является малая глубина их проточной части и подвод воды, осуществляемый по касательной. Нагрузку на песколовку принимают равной 110 $м^3/(м^2$ 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 $м^3/(м^2$ 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.

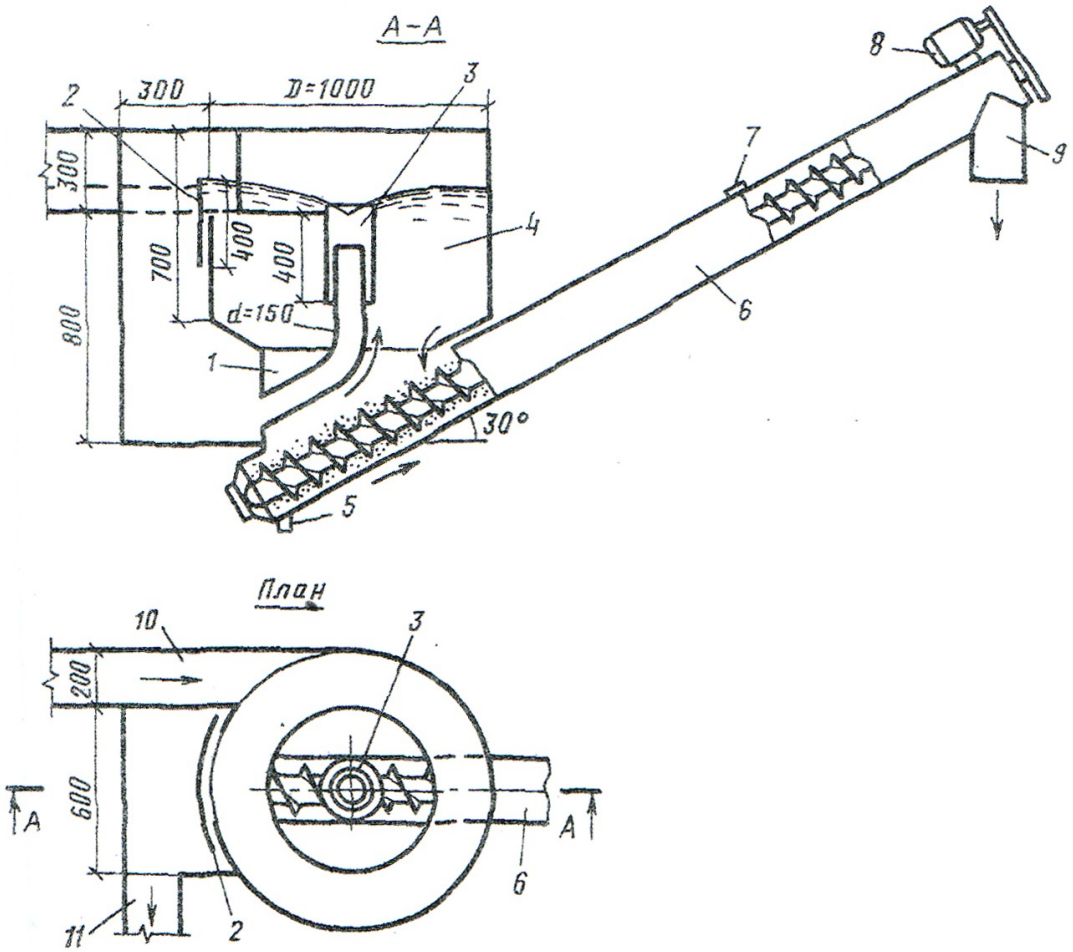


Рис 21. Тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой: 1 – осадочная часть; 2 – подвижный боковой водослив; 3 – телескопическая труба; 4 – рабочая часть; 5 – заглушка; 6 – шнек; 7 – отверстия для сброса отмытых органических веществ; 8 – электродвигатель с редуктором; 9 – штуцер для отвода песка; 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 песколовок 0,7–3,5 м; гидравлической крупности песка u_0 = 18мм/с; интенсивности аэрации 3–5 м^3/(м^2 ч).

Осадок из аэрируемых песколовок 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 спрысками. В качестве примера на рис. 22 показана схема песколовки, разработанной ЦНИИЭП инженерного оборудования.

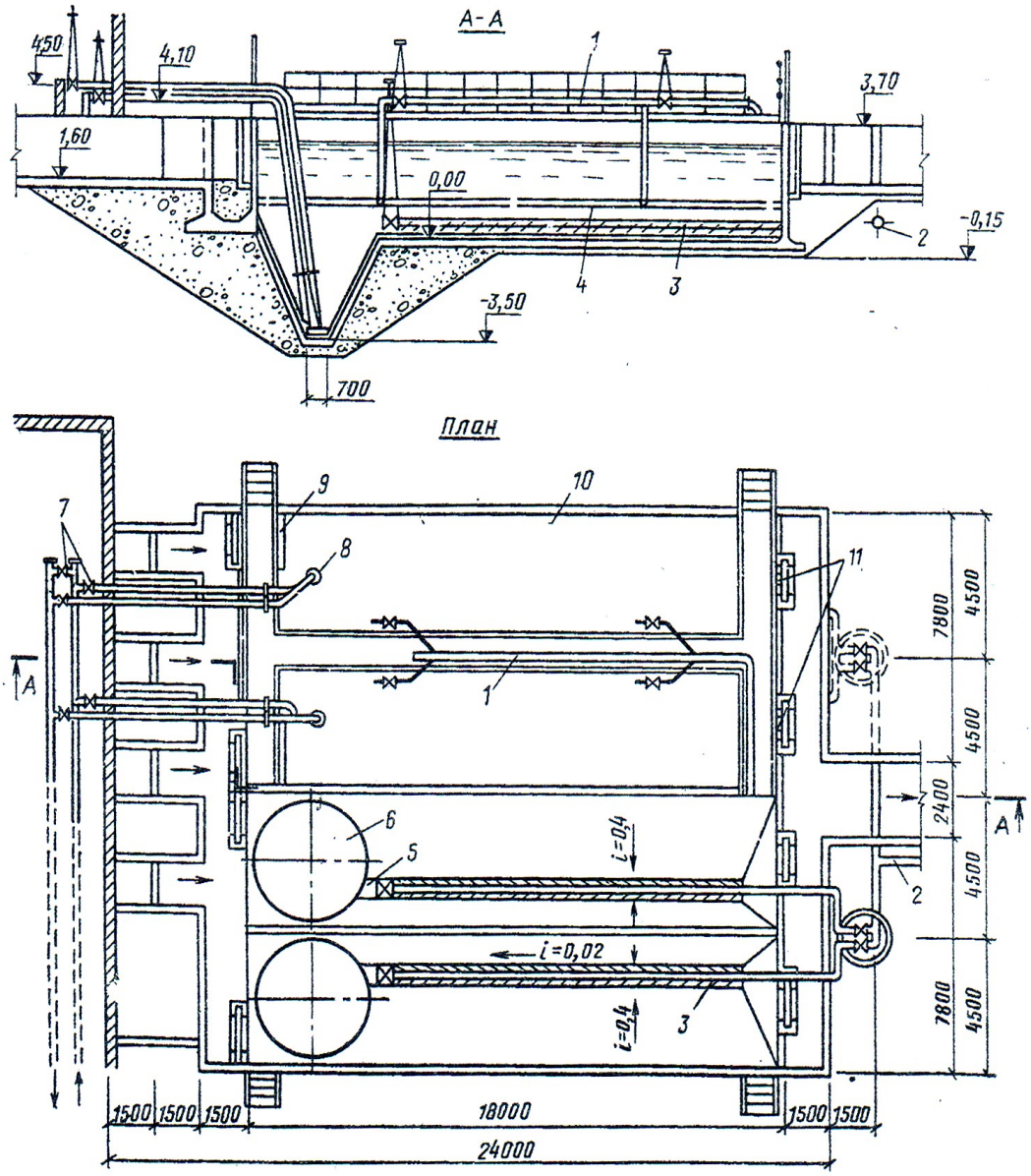


Рис 22. Аэрируемая песколовка с гидромеханическим удалением песка: 1 – воздуховод; 2 – трубопровод для гидросмыва; 3 – смывной трубопровод со спрысками; 4 – аэраторы; 5 – песковой лоток; 6 – песковой бункер; 7 – задвижки; 8 – гидроэлеваторы; 9 – отражательные щиты; 10 – отделение песколовки; 11 – щитовые затворы.

Таблица 2

Основные типоразмеры аэрируемых песколовок

Номер типового проекта	Пропускная способность, тыс. $м^3$/сут	Число отделений	Размеры, м			Отношение B/h	Расход воздуха на аэрацию, $м^3$/ч, при интенсивности 3 $м^3/(м^2 ч)$
			Ширина отделения B	Глубина h	Длина L		
-	70	2	3	2,1	12	1,34	200
902-2-284	100	3	3	2,1	12	1,34	300
-	140	2	4,5	2,8	18	1,5	460
902-2-286	200	3	4,5	2,8	18	1,5	690
902-2-287	280	4	4,5	2,8	18	1,5	920

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° С.

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. 23).

Обычно бункера 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.

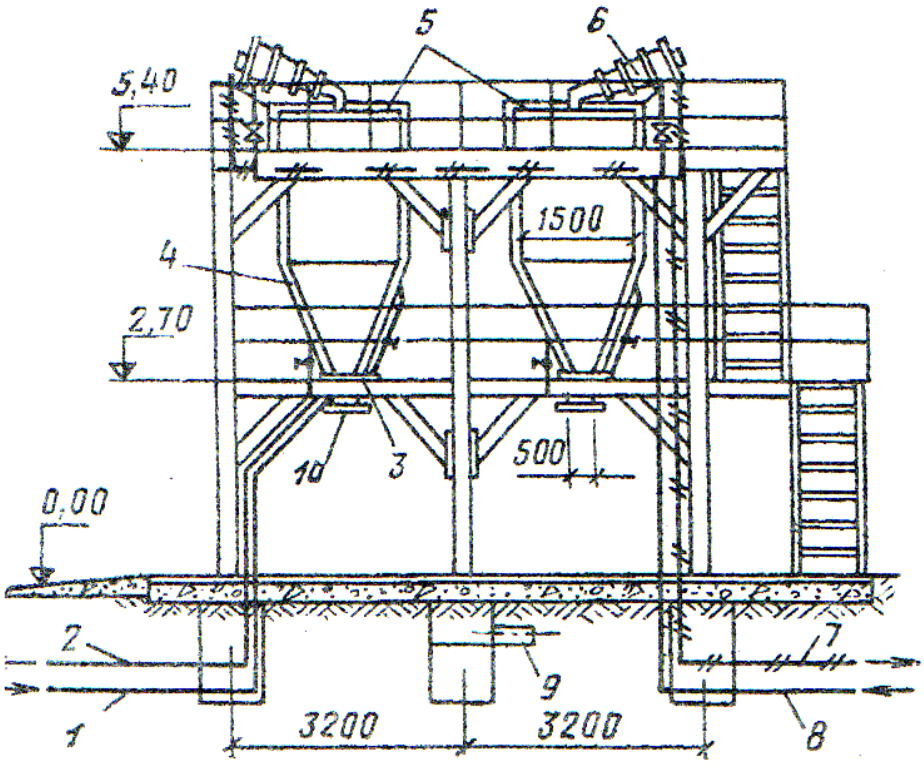


Рис 23. Бункера для песка: 1 – трубопровод для подвода воды в систему отопления; 2 – трубопровод для отвода воды из системы отопления; 3 – затвор с электроприводом; 4 – теплоизоляция; 5 – бункер; 6 – гидроциклон; 7 – трубопровод для отвода воды из гидроциклона; 8 – трубопровод для подвода пульпы гидроциклона; 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. 24) 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.

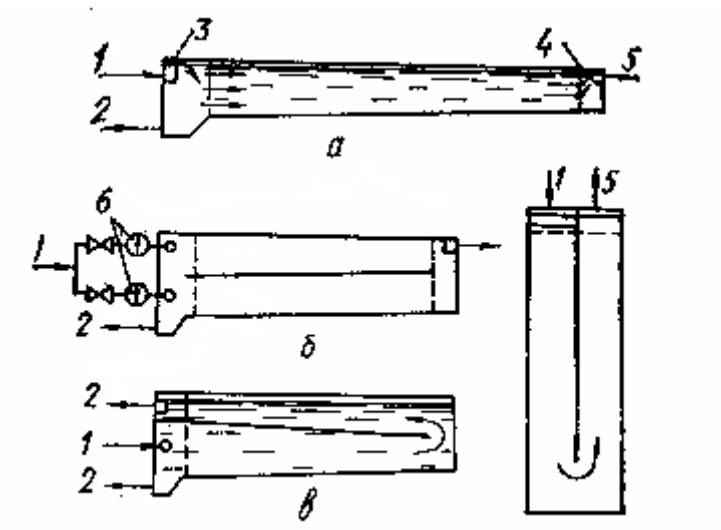


Рис. 24. Схемы движения воды в горизонтальных отстойниках: *а* – одноэтажном прямоточном (разрез); *б* – двухэтажном прямоточном (разрез); *в* – двухэтажном с поворотом потока (разрез); *г* – одноэтажном с поворотом потока (план); 1 – подвод воды; 2 – отвод осадка; 3, 4 – соответственно распределительный 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 0,5м/с). В нижней части перегородки на 0,3–0, 5м 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 превышала 6 м (в зависимости от шага колонн, поддерживаю-

щих 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 нержавеющих материалов.

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. 25) 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.

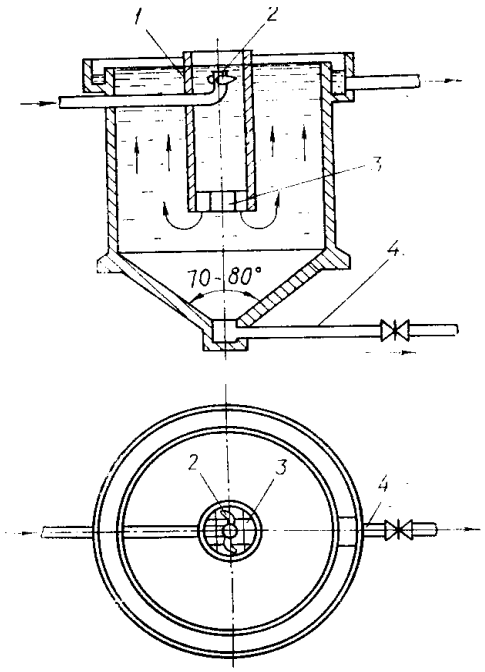


Рис. 25. Вертикальный отстойник с водоповоротной камерой хлопьеобразования: 1 – камера хлопьеобразования; 2 – сопла; 3 – гасители; 4 – трубопровод для выпуска осадка

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 70–80^0.

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 подводящими и отводящими воду трубопроводами, водораспределительными и водосборными устройствами, а также вращающимися фермами со скребками для удаления осадка (рис. 26).

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 до100 м – с периферическим. Глубина отстойников в зависимости от производительности колеблется от 1,5–2 у периферии до 3,5 м у центра.

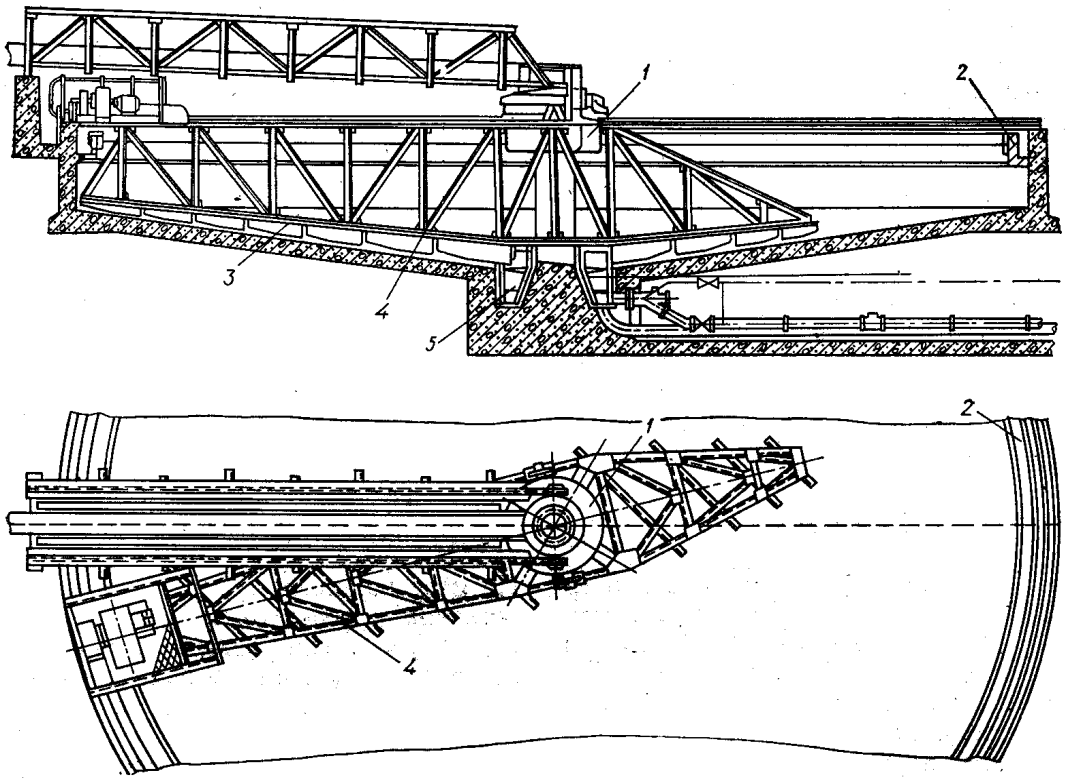


Рис. 26. Схема радиального отстойника

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 полок, $2h_0$ – 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.).

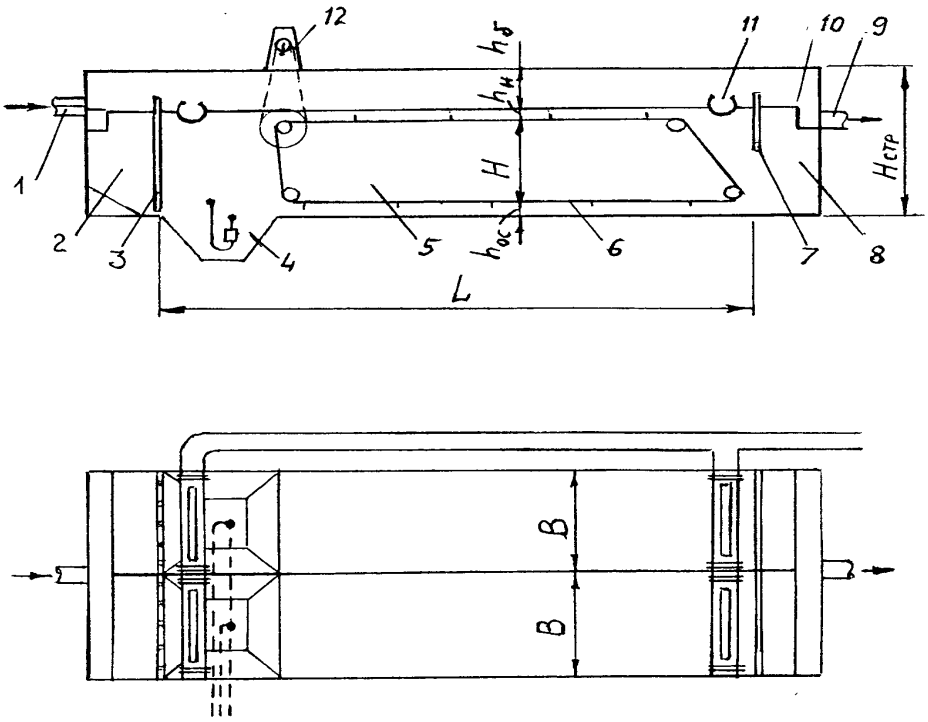


Рис. 27. Типовая нефтеловушка: 1 – подводящий трубопровод; 2 – приемная камера; 3 – распределительная перегородка; 4 – приямок для осадка с гидроэлеватором; 5 – отстойная зона; 6 – скребковое устройство; 7– нефтеудерживающая перегородка; 8 – выпускная камера; 9 – водоотводящий трубопровод; 10 – водосборный лоток; 11 – поворотные щелевые трубы (могут быть заменены поплавковым устройством конструкции ЛИИЖТа); 12 – привод скребков

На нефтепромыслах нефтеперерабатывающих заводов применяются нефтеловушки (рис. 27) 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 подводящей 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 ло-

ток. 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.

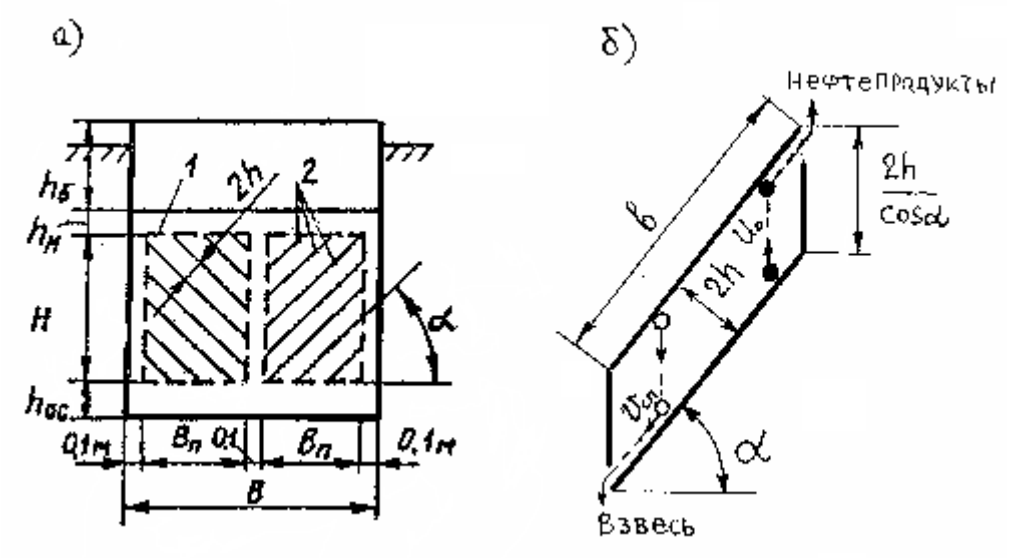


Рис. 28. Поперечное сечение тонкослойного нефтеуловителя (*а*) и схема осаждения (всплывания) частиц в тонкослойном элементе (*б*): – блок тонкослойных элементов; 2 – параллельно установленные пластины, образующие тонкослойные элементы.

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. 28), 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 – остой ники 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. В отечественной практике для очистки нефтесодержащих стоков чаще всего применяются нефтеуловители напорные и безнапорные с горизонтальным движением воды. Примером такого безнапор-

ного нефтеуловителя является компактный отстойник-нефтеуловитель, разработанный для установки его в помещении (рис. 29, *а*).

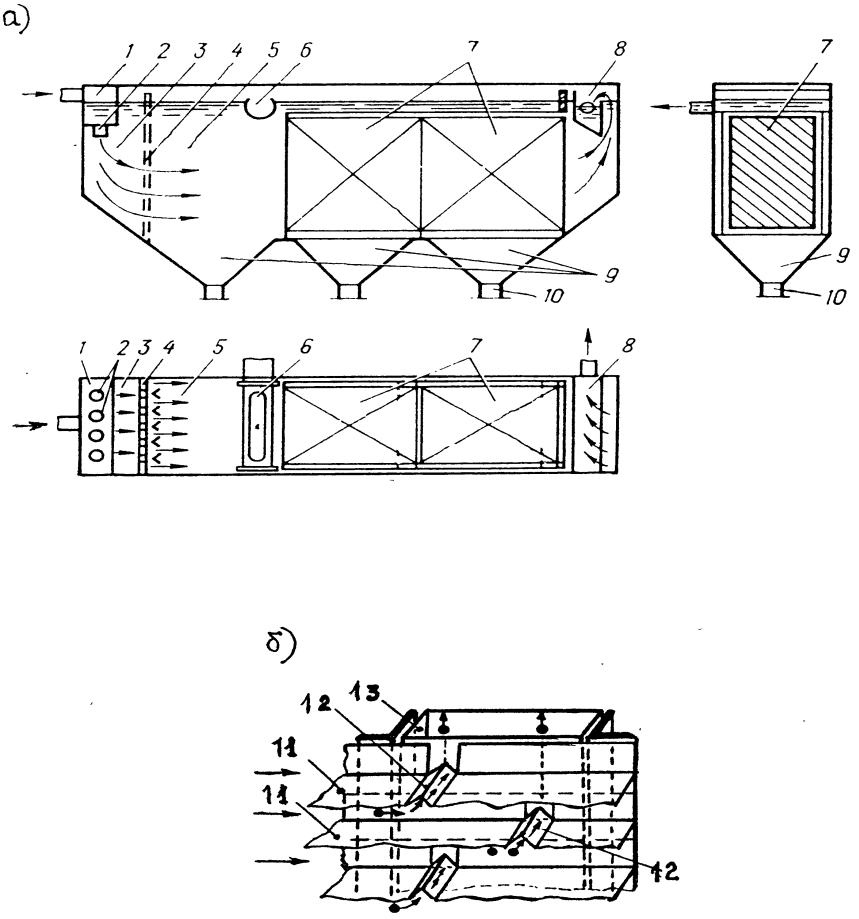


Рис. 29. Безнапорный компактный отстойник–нефтеуловитель с универсальными полочными блоками: *а*) отстойник–нефтеуловитель; *б*) фрагмент концевой части блока конструкции ЛИИЖТа.1 – водораспределительный лоток; 2 – патрубки; 3 – приемное отделение; 4 – распределительная щелевая перегородка с отражателями; 5 – отстойная зона грубой очистки; 6 – нефтесборная труба; 7 – тонкослойные полочные блоки; 8 – водосборный лоток; 9 – бункеры для сбора осадка; 10 – патрубки для удаления осадка; 11 – полки; 12 – поперечные желоба (треугольного, прямоугольного или сегментного сечения); 13 – вертикальные изолированные каналы

Он представляет собой прямоугольную в плане открытую металлическую емкость с бункерным дном, в которой установлены универсальные полочные блоки (УПБ) конструкции ЛИИЖТа, с поперечными желобами и вертикальными изолированными каналами на концевых участках (рис. 29, *б*), предотвращающими снос (вынос) уловленных частиц потоком отстаиваемой жидкости.

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

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

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.30) 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.

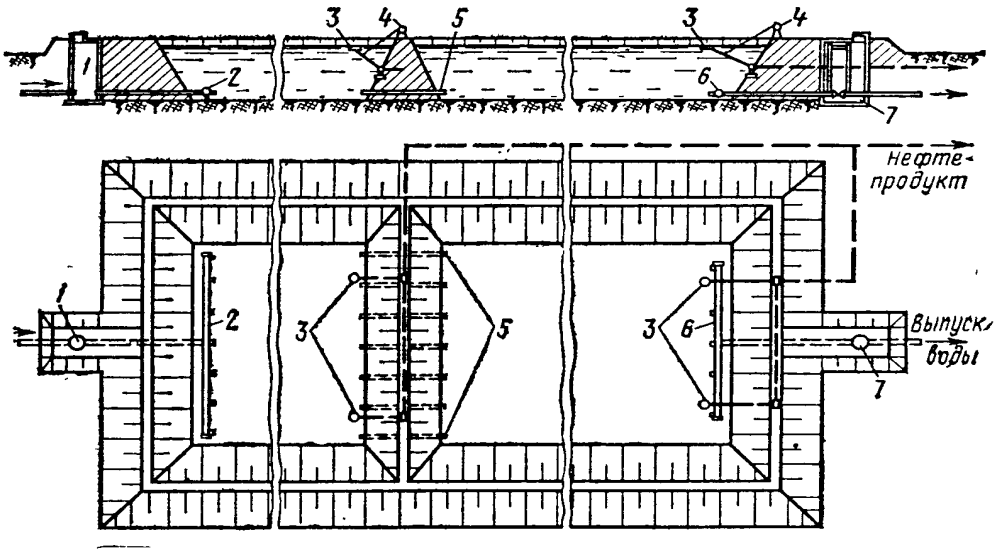


Рис. 30. Схема пруда дополнительного отстаивания: 1 – приемный колодец для впуска сточных вод; 2 – распределительный коллектор; 3 – шарнирная нефтесборная труба; 4 – лебедка; 5 – перепускные трубы; 6 – трубчатый выпуск; 7 – водосборный колодец

Накапливающийся осадок периодически удаляют. Сбор и хранение осадков, образующихся при эксплуатации песколовок, 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. 31).

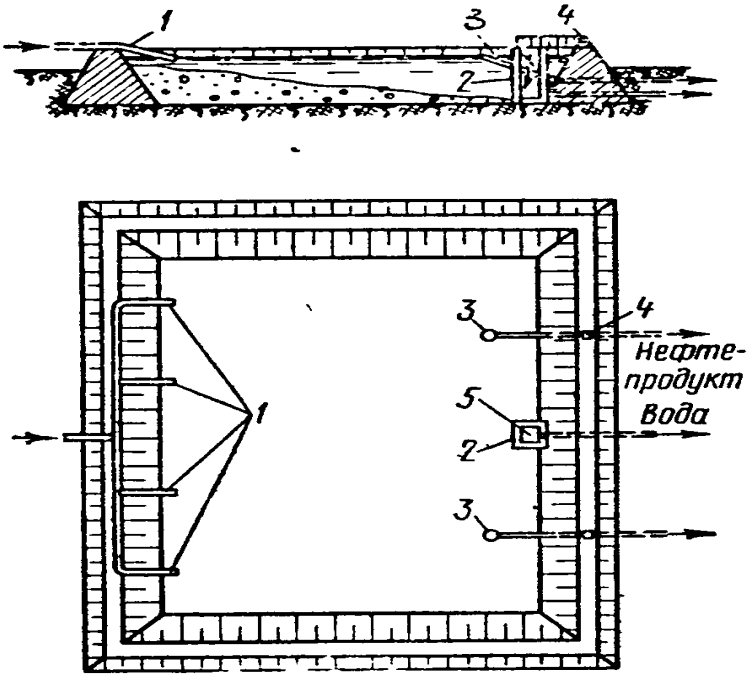


Рис. 31. Схема шламонакопителя: 1 – распределительные лотки; 2 – шандоры из досок; 3 – нефтесборная шарнирная труба; 4 – лебедка для подъема нефтесборной трубы; 5 – колодец для выпуска воды из шламонакопителя.

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. 32 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.

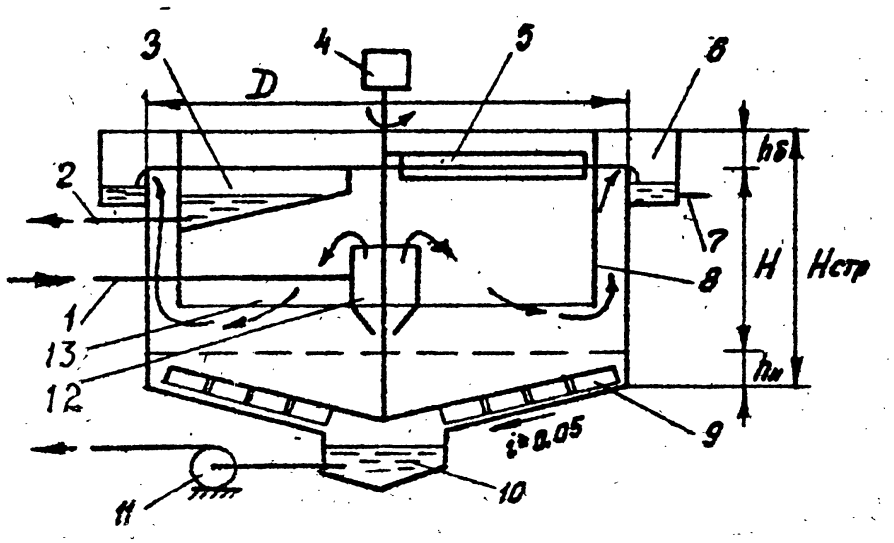


Рис. 32. Схема смоло-маслоуловителя: 1 – подводящий трубопровод; 2 – трубопровод для отвода легких масел и смол; 3 – лоток для сбора всплывающих масел и смол; 4 – электропривод скребков; 5 – верхний скребок для сгребания легких масел и смол; 6 – кольцевой водосборный лоток; 7 – отводящий трубопровод; 8 – подвесная 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. 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.

Различают два вида жироловушек: цеховые и общие. Первые устанавливаются непосредственно у отдельных производственных цехов, сточные воды которых содержат много жиров; вторые устанавливаются на общем стоке жиросодержащих вод. В зависимости от количества задерживаемых жиров последние удаляются из жироловушек при помощи насосов и вакуумных установок.

При удалении жира насосами или вакуумными установками его подогревают до 45–50° С.

Цеховые жироловушки обычно имеют вид прямоугольных резервуаров глубиной (проточной части) не более 2 м. Продолжительность пребывания в них сточной жидкости принимается равной 5–7 мин. В начале и конце жироловушки устанавливают не доходящие (на 0,3–0,5 м) до дна поперечные перегородки.

Общие жироловушки рассчитываются на более продолжительное пребывание в них жиросодержащей воды. Скорость протока в горизонтальных жироловушках рекомендуется принимать равной 0,5 мм/с, в вертикальных – 0,3–0,4 мм/с. Диаметр жировых частиц, задерживаемых в жироловушках, принимают равным 0,008–0,01 см, плотность всплывающего жира при 50° С – 0,9 г/см^3. Жиросодержащая сточная вода поступает в распределительный лоток и далее в отстойную часть жироловушки.

Для задержания всплывших веществ служит полузатопленная стенка в конце жироловушки, а для сбора – поворотные щелевые трубы, установленные в конце каждой секции. Для подачи всплывших веществ к щелевым трубам служит автоматизированный механизм с приводом от электродвигателя, смонтированный на подвижной тележке, которая перемещается вдоль секции жироловушки.

Собранная масса поступает по самотечному трубопроводу в приемный резервуар, откуда периодически перекачивается во второй резервуар-отстойник, где происходит дальнейшее разделение жира и воды. Выделившаяся вода возвращается в жироловушку, а жир направляется на дальнейшую переработку. Выпадающий в жироловушке осадок сползает в приямки, откуда периодически перекачивается в автоцистерну.

Во избежание засорения грязевые трубопроводы периодически продуваются острым паром. Для промывки секций жироловушки предусматривается подвод горячей воды.

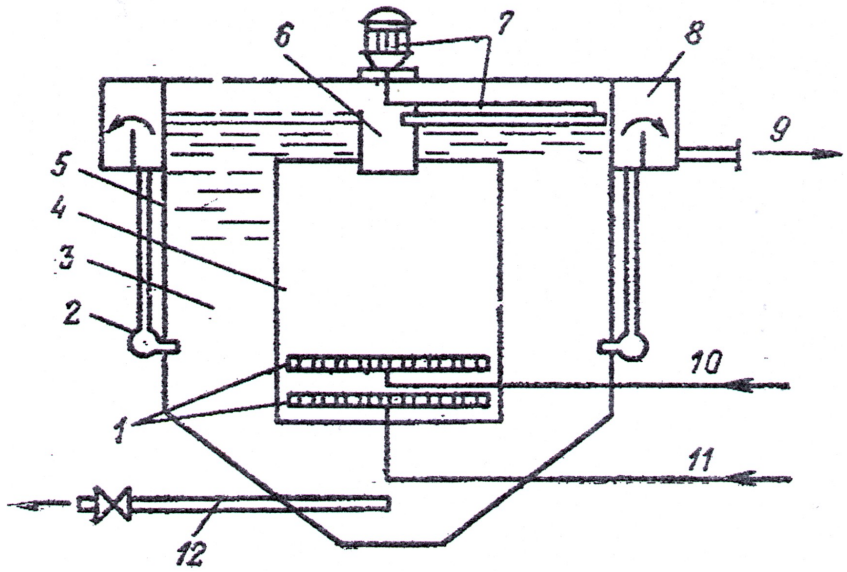


Рис. 33. Аэрируемая жироловушка: 1 – реактивное водораспределительное устройство; 2 – водосборный коллектор; 3 – зона отстаивания; 4 – зона флотации; 5– корпус; 6 – лоток для сбора жировой массы; 7– привод и скребок; 8 – кольцевой сборник; 9 – очищенные воды; 10 – сточные воды; 11 – водовоздушная эмульсия; 12 – осадок

Для более полного отделения жировых частиц в отстойной части сборных резервуаров поддерживается температура не выше 60° С.

Для увеличения эффективности жироулавливания применяются аэрируемые жироловушки (рис. 33).

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.

На крупных предприятиях при объеме жиросодержащих стоков свыше 1000 $м^3$ в сутки должны быть установлены две жироловушки, при меньшем количестве стоков можно ограничиться одной жироловушкой. Глубину слоя очищаемой воды следует принимать 2–2,5 м.

В водовоздушной эмульсии должно содержаться 1,5–2,5% воздуха. Продолжительность пребывания очищаемой сточной воды во флотационной камере – не менее 20 мин, в отстойной зоне – 25 мин. Содержание воды во всплывающей массе – не более 96–97%, а в массе, отстоявшейся в течение 12 ч – около 90%.

Общую площадь отверстий в реактивном водораспределительном устройстве следует определять исходя из скорости течения 0,8–1 м/с. Диаметр каждого отверстия должен быть принят из условия незасоряемости – от 10 до 20 мм.

Эффект очистки сточных вод составляет 70%, а в отдельных случаях– 80–90%.

Для перекачки жировой массы, задержанной аэрируемой жироловушкой и флотаторами, следует использовать шестеренчатые, поршневые насосы, так как центробежные, вихревые и другие насосы не надежны в работе по перекачке жировой массы, особенно обезвоженной.

Контрольные вопросы

1. Назначение, типы и схемы конструкций песколовок.
2. В чем состоит особенность тангенциальных песколовок и как принимается нагрузка на неё?
3. Как выполняются аэрируемые песколовки и с учетом чего их расчитывают?
4. Для чего применяют бункерные устройства и что применяется для повышения эффективности отмывки песка?
5. Назначение и типы отстойников, условия их применения?
6. Что представляют собой горизонтальные отстойники и на какие две зоны они разделяются?
7. Что представляет собой вертикальный отстойник, чем он оборудуется?
8. Что представляют собой радиальные отстойники и принцип их работы?
9. Чем отличаются тонкослойные отстойники от обычных?
10. Из каких материалов изготовляют тонкослойные элементы?
11. Назначение жироловушек, какие типы известны?

ЛЕКЦИЯ 7

Удаление механических примесей в поле центробежных сил

План лекции:

Гидроциклоны (открытые, многоярусные напорные). Особенности конструкций, принцип расчета.

Центрифуги.

Сепараторы. Условия применения. (0,056; 2*ч*).

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.

Для расчета и проектирования установок с открытыми гидроциклонами должны быть заданы те же параметры по воде и по загрязнениям, что и для отстойников.

Гидравлическая крупность частиц, которые необходимо выделить для обеспечения требуемого эффекта очистки, определяется при высоте слоя воды, равном 200 мм.

Для многоярусных гидроциклонов слой отстаивания должен быть равен высоте яруса.

Основной расчетной величиной открытых гидроциклонов (рис. 34–36) является удельная гидравлическая нагрузка.

Производительность одного аппарата рассчитывается по формуле.

$$Q_{hc} = 0,785\, q_{hc} D_{hc}^2$$

Исходя из общего количества сточных вод Q_W определяется количество рабочих единиц гидроциклонов: $N=Q_W/Q_{hc}$. После назначения диаметра аппарата и определения их количества определяются основные размеры гидроциклона.

Угол наклона образующей конических диафрагм в открытых гидроциклонах в каждом конкретном случае должен задаваться в зависимости от свойств выделяемого осадка, но не менее 45°.

Диафрагмы в открытых гидроциклонах могут быть выполнены как из стали, так и из неметаллических материалов: ткань, пластик и т. д.

В распределительном канале пропорционального водораспределительного устройства многоярусного гидроциклона скорость восходящего потока должна быть не менее 0,4 м/с.

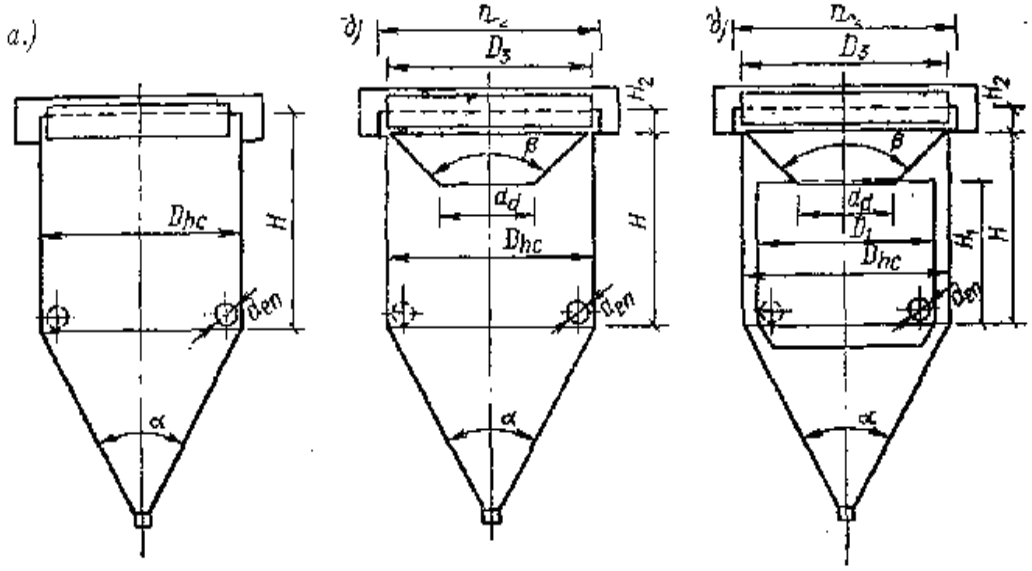


Рис. 34. Схемы открытых гидроциклонов: *а* – без внутренних вставок; *б* – с конической диафрагмой; *в* – с конической диафрагмой и внутренним цилиндром

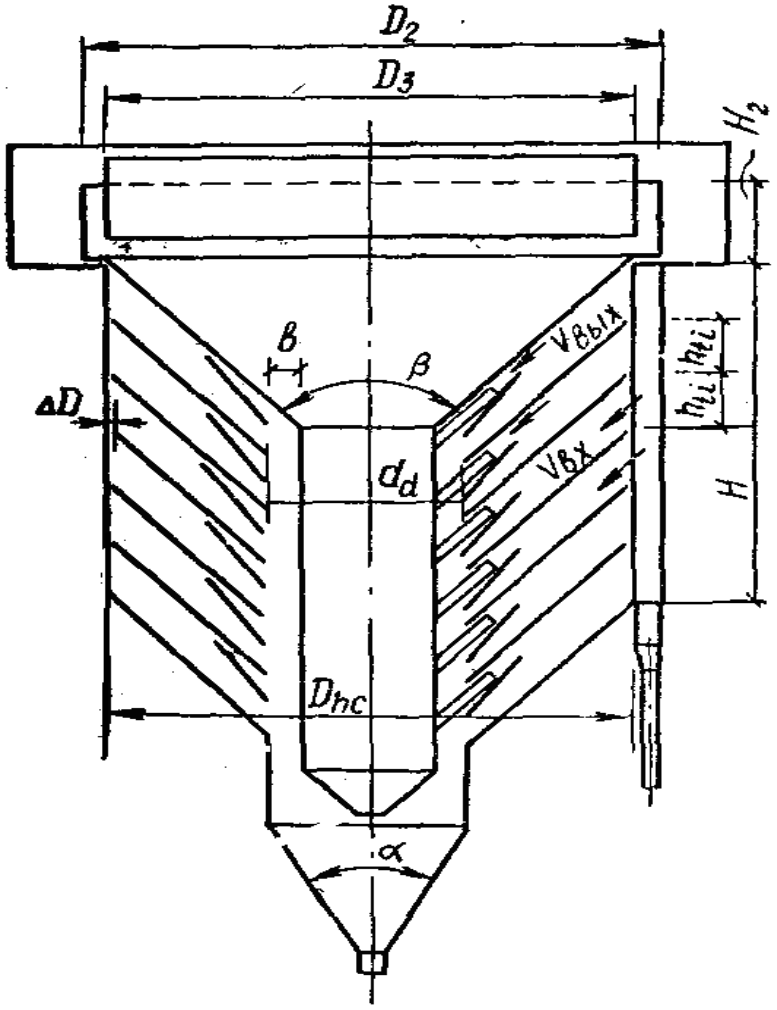


Рис. 35. Схема многоярусного гидроциклона с центральными выпусками

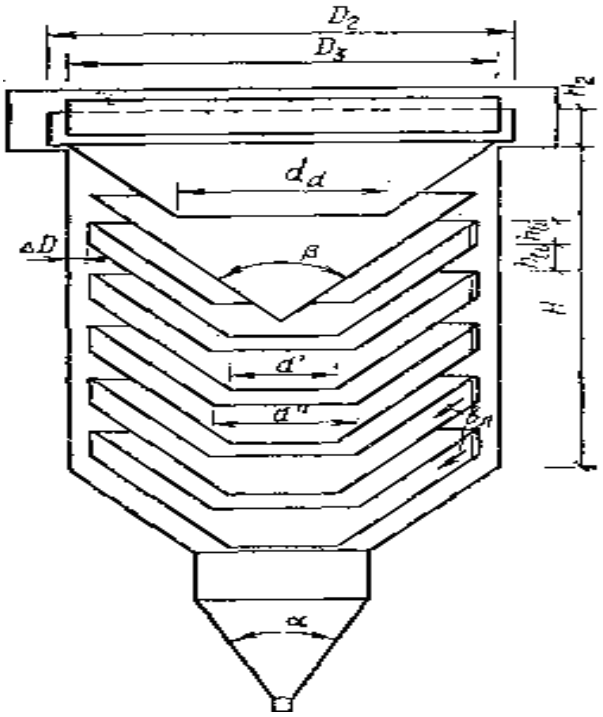


Рис. 36. Схема многоярусного гидроциклона с периферийным отбором очищенной воды

При расположении гидроциклонов над поверхностью земли и удалении осадка под гидравлическим напором, отвод осадка производится с разрывом струи через коническую насадку, присоединенную к шламовому патрубку через задвижку. Диаметр шламовой насадки подбирается при наладке сооружения. Для предупреждения засорения насадки крупными загрязнениями перед ней, но после задвижки, устанавливается камера, в которой располагается решетка, набранная из металлической полоски с прозорами 6–8 мм.

Для равномерного распределения воды между гидроциклонами их водосливные кромки должны располагаться на одной отметке, а на подводящих трубопроводах должны быть установлены водоизмерительные устройства.

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.

Обогащение твердой фазы стоков (удаление из твердой фазы частиц минерального или органического происхождения, снижающих ценность основного продукта). Например, обогащение твердой фазы сточных вод галтовочных барабанов, в которых содержится ценный карборундовый порошок и отходы процесса шлифовки керамики, с обеспечением повторного использования порошка карборунда в процессе шлифовки.

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. Учитывая то, что объем сгущенного продукта в напорных гидроциклонах может составлять всего 2,5–10% начального объема обрабатываемой суспензии, технологическая операция сгущения может обеспечить значительную экономию материальных затрат на строительство очистных сооружений и участков обработки осадков. При этом происходит эффективная отмывка минеральных частиц от налипших на них органических загрязнений, например, на очистных сооружениях НПЗ при обработке песка, выгружаемого из песколовки гидроэлеваторами, или при отмывке песчаной загрузки фильтров при ее гидроперегрузке. Одной из важных особенностей напорных гидроциклонов является сильная корреляция производительности и эффективности разделения суспензий с основными конструктивными и технологическими параметрами аппаратов (рис. 37).

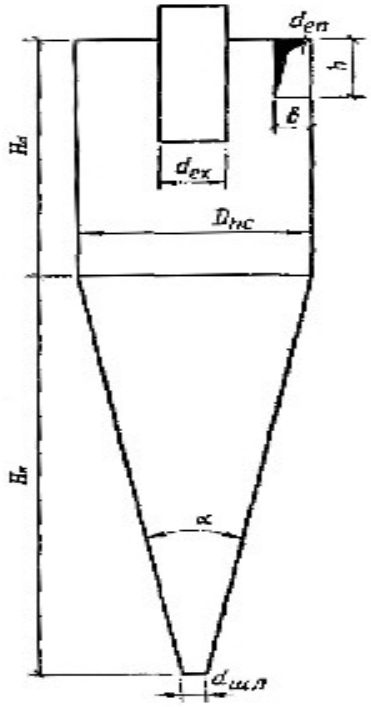


Рис. 37. Схема напорного гидроциклона.

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}, $d_{шл}$; высота цилиндрической части $H_ц$, угол конусности конической части а, 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 $d_{cp}\rho_r$.

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

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

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

Угол конусности а конической части следует принимать для гидроциклонов-осветлителей 5–15°, для гидроциклонов-сгустителей – 20–45°. В зависимости от особенностей решаемых технологических задач могут применяться двухпродуктовые (рис. 37) и многопродуктовые (рис. 38) напорные гидроциклоны.

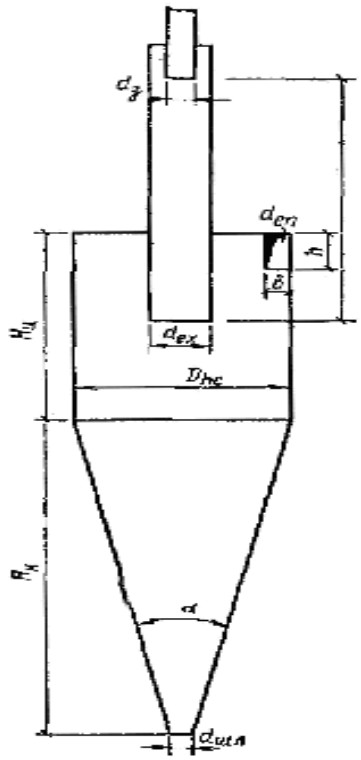


Рис. 38. Схема трехпродуктового напорного гидроциклона

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.

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 $м^3$/ч, в тех случаях когда требуется выделить частицы гидравлической крупностью 0,2 (противоточные) и 0,05 мм/с (прямоточные). Центрифуги периодического действия применяются для очистки сточных вод, расход которых не превышает 20 $м^3$/ч, при необходимости выделения частиц гидравлической крупностью 0,05 – 0,01 мм/с. Концентрация механических загрязнений не должна превышать 2 – 3 г/л.

Высокий эффект осветления 99,8% достигается в маятниковой центрифуге ОТН с диаметром ротора 800 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$м^3$/(ч·$м^2$), а в горизонтальном отстойнике он не превышает 74% даже при q=0,045 $м^3$/(ч·$м^2$). 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.

Жидкостные сепараторы применяются в некоторых отраслях промышленности, например, для очистки сточных вод в медицинской промышленности, для отделения воды от каныги 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 $м^3$/ч, а при последующем хлорировании – до 6 $м^3$/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.

Контрольные вопросы

1. Какие типы гидроциклонов известны?
2. Когда применяются напорные гидроциклоны?
3. Какая важная особенность характерна для напорных гидроциклонов?
4. Условия применения открытых гидроциклонов.
5. Что является основной расчетной величиной открытых гидроциклонов?
6. Когда применяют многопродуктовые напорные гидроциклоны?
7. Для чего применяют мультигидроциклоны?
8. Как можно добиться компактности установки при использовании мультигидроциклона?
9. Условия применения центрифуг и сепараторов.
10. Как можно повысить эффективность очистки на жидкостных сепараторах?

ЛЕКЦИЯ 8

Фильтрование сточных вод

План лекции:

Область применения. Особенности процесса фильтрования производственных сточных вод.

Конструкции фильтров (скорые безнапорные фильтры, двухпоточные фильтры системы АКХ, скоростные напорные фильтры: (вертикальные, горизонтальные); сверхскоростные напорные фильтры; контактные осветлители; контактные фильтры; фильтры с плавающей загрузкой, принцип расчета.

Гиперфильтрация и ультрафильтрация. Назначение, типы модулей: трубчатые, трубчатые с полыми волокнами, пластинчатые, спиральные. (0,056; 2*ч*).

Фильтры нашли широкое применение для доочистки производственных сточных вод, содержащих мелкодисперсную взвесь, эмульгированные масла, смолы и нефтепродукты, после отстаивания, флотации, биологической очистки, перед выпуском 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 $м^3$/сут должно быть не менее четырех.

Открытые скорые фильтры с однослойной загрузкой (рис. 39) представляют собой прямоугольные (в плане) железобетонные резервуары площадью 100–120 $м^2$, 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, дробленым 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.

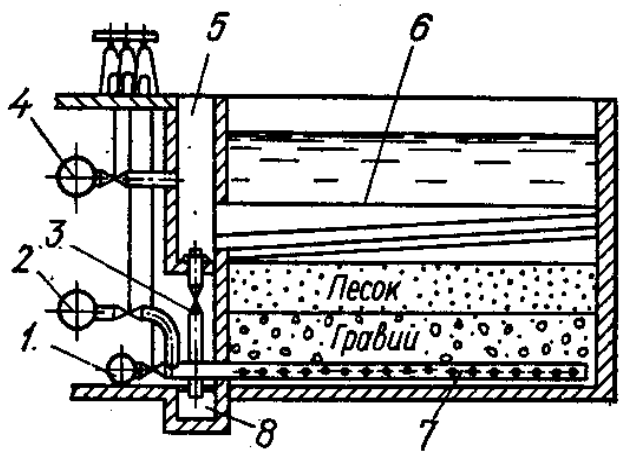


Рис. 39. Схема открытого скорого фильтра: 1 – отвод отфильтрованной воды; 2 – подача промывной воды; 3 – выпуск загрязненной промывной воды; 4 – подача осветляемой воды; 5 – распределительный карман; 6 – желоба для распределения фильтруемой и для отвода промывной воды; 7 – дренажная система; 8 – канализационный 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 фильтрования 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 фильтрования 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 фильтрования, а также удлинить фильтроцикл.

Конструктивно такие фильтры аналогичны обычным скорым фильтрам с однослойной загрузкой. Особенностью их оборудования является формиро-

вание раздельных 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 фильтрования воды с отводом фильтрата трубчатой дренажной системой, расположенной в толще фильтрующего слоя.

Фильтрование 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. 40).

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.

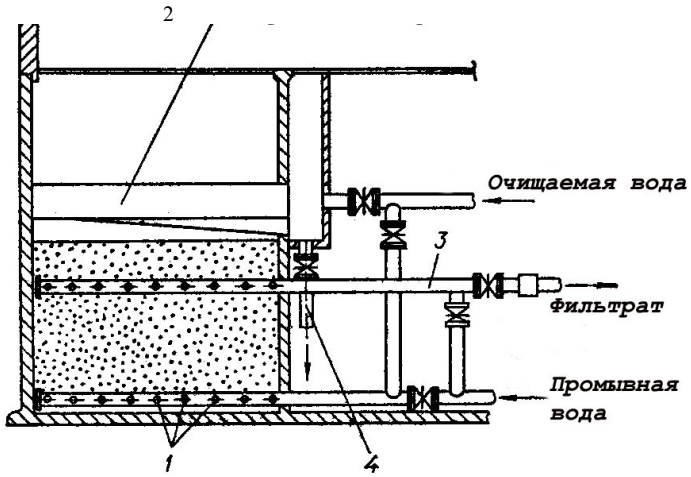


Рис. 40. Схема устройства фильтра АКХ: 1 – нижний дренаж; 2 – желоб; 3 – дренаж внутри загрузки; 4 – трубопровод

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 противодавления, 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 винипластовых, асбестоцементных или прочных полиэтиленовых труб. Щели располагают рядами параллельно оси труб в шахматном порядке. Длина щелей в винипластовых 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 необходимым 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 канализацию. корые 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 ма-

лой, вследствие этого, разности давлений в различных точках дренажной системы.

Трубчатый дренаж большого сопротивления может быть выполнен с горизонтальной компенсацией и без нее. Дренаж без горизонтальной компенсации устраивают так, чтобы вода из него при промывке фильтра поступала непосредственно в толщу поддерживающего или фильтрующего слоя.

В дренаже с горизонтальной компенсацией предусматривается поступление воды из отверстий системы в свободное от загрузки пространство фильтра, где она, двигаясь в горизонтальном направлении, компенсирует в известной мере возможную неравномерность распределения воды дренажной системой. Наиболее распространенным является трубчатый дренаж большого сопротивления без горизонтальной компенсации (рис. 41). Он выполнен, как центральный коллектор с ответвлениями из перфорированных труб с круглыми отверстиями диаметром 10–12 мм, направленными вниз под углом 45^0.

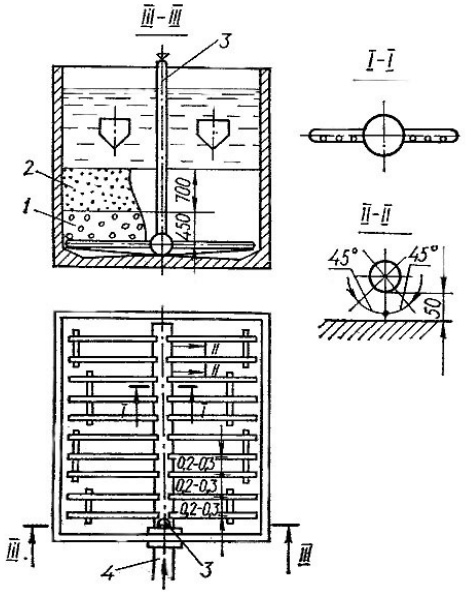


Рис. 41. Схема трубчатого дренажа большого сопротивления: 1 – гравий; 2 – фильтрующий слой; 3 – воздушная труба; 4 – подача воды для промывки фильтра

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 изготовляют 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. 42).

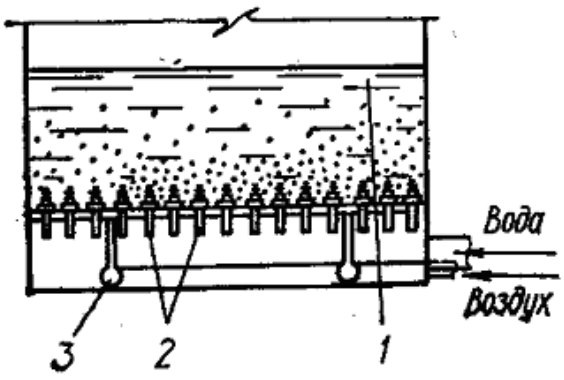


Рис. 42. Схема скорого фильтра с колпачковым дренажем: 1 – фильтрующий слой; 2 – дренажные колпачки; 3 – система труб для подачи воздуха

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^2 площади фильтра.

Интенсифицировать работу скорых безнапорных фильтров с дренажной системой без поддерживающих слоев можно промывкой с неравномерной подачей воды.

Промывная вода распределяется по площади фильтра (рис. 43) с различной интенсивностью, в результате чего зерна загрузки в зоне больших скоростей перемещаются вверх, а в зоне малых скоростей – вниз.

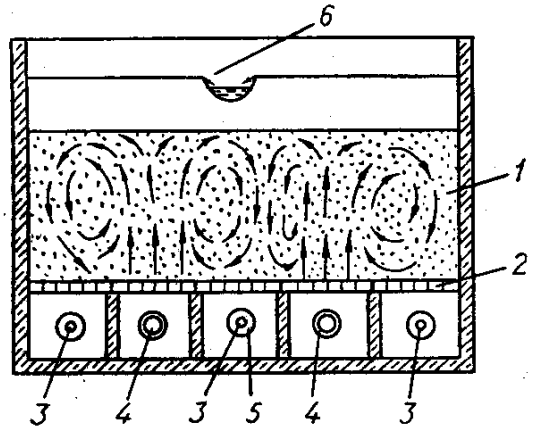


Рис. 43. Схема фильтра с чередующейся промывкой: 1 – загрузка; 2 – полимербетонный дренаж; 3, 4 – диафрагмы большого и малого сопротивления; 5 – патрубки на входах в дренажные каналы; 6 – желоб для отвода промывной воды

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 строительно-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. 44) 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.

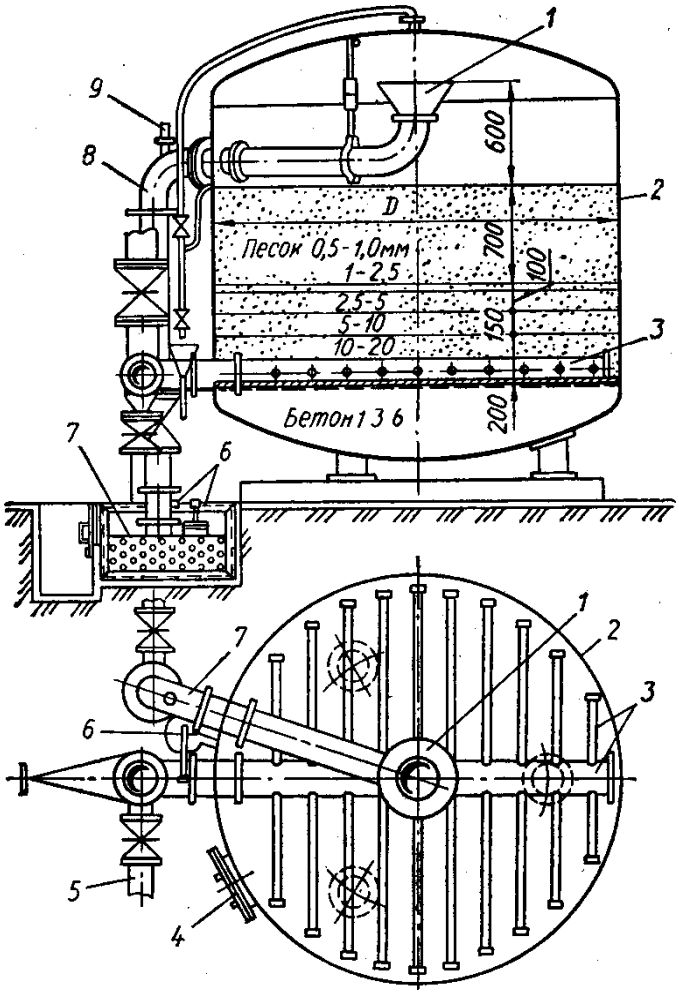


Рис. 44 Схема вертикального напорного фильтра: 1 – воронка; 2 – корпус; 3 – дренажная система; 4 – люк; 5 – трубы для отвода фильтрата; 6 – поплавок; 7 – лоток для промывной воды; 8 – трубопровод; 9 – предохранительный клапан

Производительность каждого вертикального фильтра составляет 50–90 $м^3$/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 $м^2$.

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

Применяют напорные вертикальные фильтры на станциях с полезной производительностью до 5000 $м^3$/сут, т. е. исходя из экономических соображений фильтров должно быть 4–6. Если производительность станции

большая и применить открытые железобетонные фильтры невозможно, устанавливают горизонтальные напорные фильтры (рис. 45) диаметром 3 м и длиной 10 м, обеспечивающие площадь фильтрования до 27 м^2.

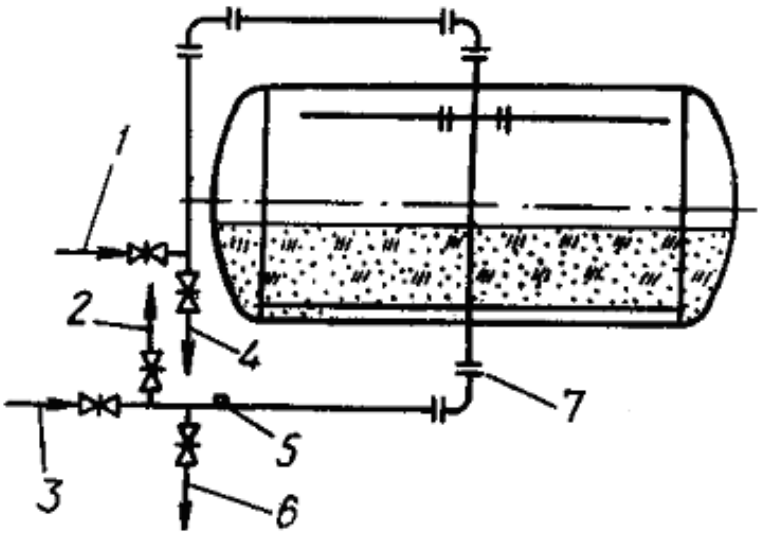


Рис. 45 Схема фильтра осветлительного горизонтального однокамерного ФОГ 3,0-6-5,5: 1 – подвод обрабатываемой воды; 2 – выход отфильтрованной воды; 3 – подвод промывной воды; 4 – спуск промывной воды; 5 – подвод сжатого воздуха; 6 – спуск первого фильтрата; 7 – гидровыгрузка фильтрующего материала

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^2) (загрузка – кварцевый песок и мраморная крошка) и 10 л/(с м^2) (загрузка – дробленый антрацит) в течение 6 мин. Сжатый воздух при водовоздушной промывке подают с интенсивностью 20 л/(с·м^2) в течение 3 мин.

Сверхскоростной напорный фильтр конструкции Г. Н. Никифорова (рис. 46) работает при постоянном напоре с переменной скоростью фильтрования, уменьшающейся по мере загрязнения фильтра. Начальная скорость фильтрования составляет 50–100 м/ч. Фильтр представляет собой цилиндрический корпус с цилиндрической камерой внутри. Пространство между ци-

линдрами 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.

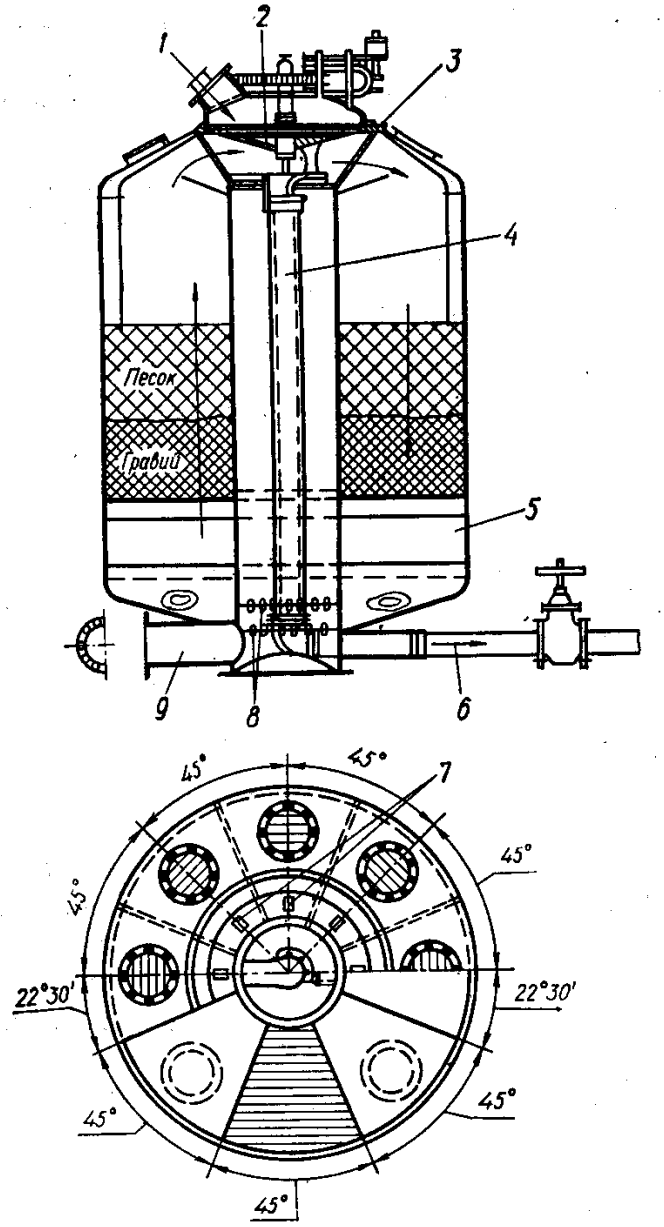


Рис. 46. Схема сверхскоростного фильтра конструкции Г.Н. Никифорова

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 фильтрую-

щего слоя 450 мм. Поддерживающим является слой гравия толщиной 300 мм. Производительность сверхскоростных фильтров при максимально допустимом диаметре составляет 150 м^3/ч.

Контактные осветлители являются своеобразной разновидностью скорых фильтров, работающих на принципе фильтрования воды с добавленным коагулянтом через слой зернистой загрузки снизу вверх, т. е. в направлении убывания крупности зерен в слое. Схема контактных осветлителей типа КО–1 приведена на рис. 47. 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.

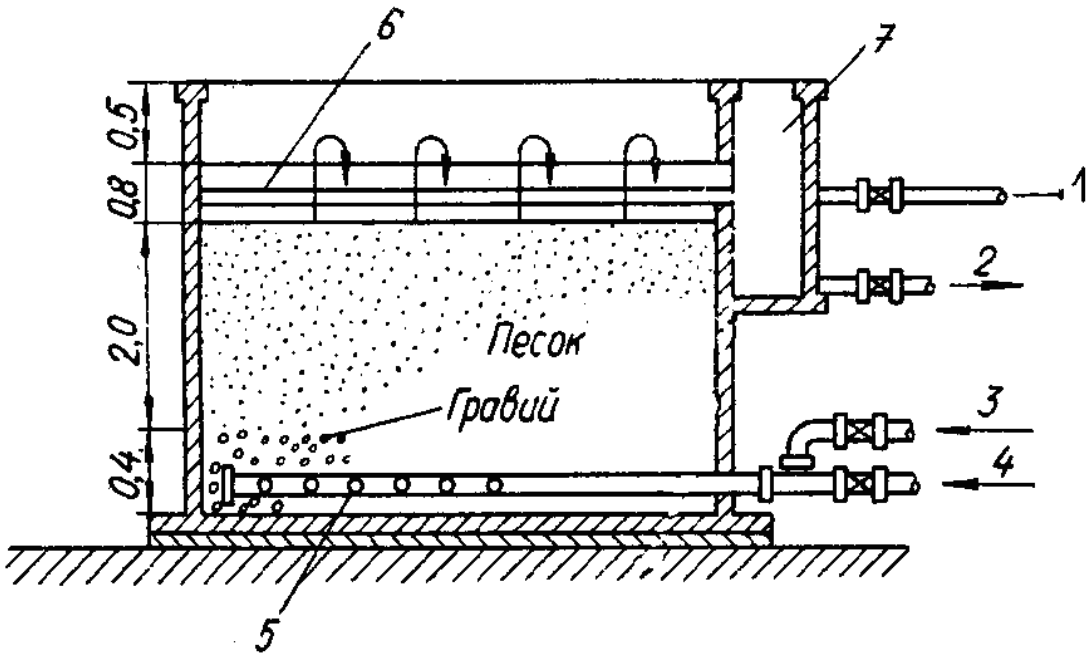


Рис. 47. Схема устройства контактного осветлителя: 1 – отвод осветленной воды; 2 – отвод промывной воды; 3 – подача воды с коагулянтом; 4 – подача промывной воды; 5 – распределительная система из дырчатых труб; 6 – сборные желоба; 7 – карман фильтра

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. Поэтому ее магистральные каналы выполняют такой высоты, чтобы обеспечить доступ человека к распределительным трубам; эти каналы могут располагаться у передней стенки и в центре осветлителя (рис. 48).

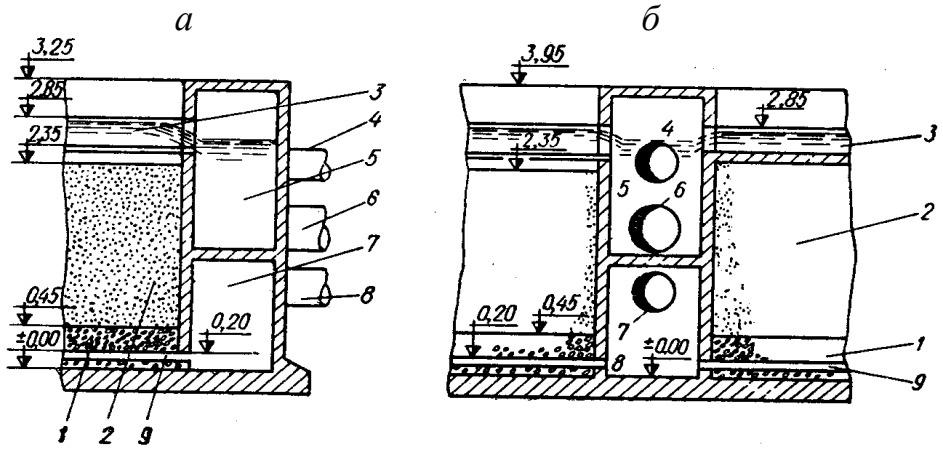


Рис. 48. Узел каналов контактного осветлителя с распределительной системой большого сопротивления: *а* – при расположении канала у передней стенки; *б* – при центральном расположении канала; 1 – гравийная подушка; 2 – рабочая загрузка; 3 – желоб; 4 – отвод осветленной воды; 5 – сборный канал; 6 – сброс промывной воды; 7 – магистральный коллектор; 8 – подача речной и промывной воды; 9 – ответвления распределительной системы.

Для предотвращения попадания в распределительную систему и загрузку осветлителей песка, крупных диспергированных частиц, а также воздуха рекомендуется перед ними устраивать входные камеры (рис. 49). Объем их рассчитывается на время пребывания воды в течение 2–3 мин. В таких камерах устанавливают съемные сетки с отверстиями 2–4 мм для задержания плавающих предметов. Необходимая рабочая площадь сеток определяется по расчетной скорости прохождения через них осветляемой воды 0,2 – 0,3 м/с.

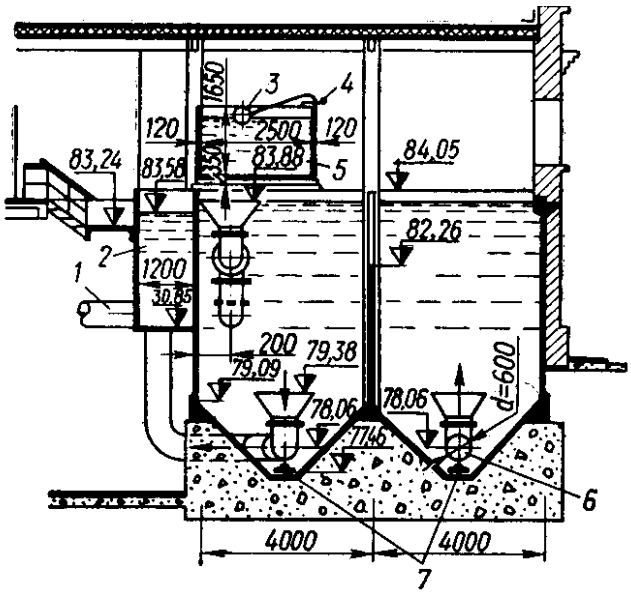


Рис. 49. Входная камера контактного осветлителя (типа Гипрокоммунводоканала): 1 – трубопровод отвода воды на осветлители; 2 – смеситель; 3 – поплавковый клапан; 4 – подача коагулянта; 5 – дозировочный бачок; 6 – трубопровод, подающий воду из источника; 7 – спускной трубопровод

При непрерывной работе станции входные камеры должны состоять из двух отделений, их оборудуют спускными и переливными трубами, а также приспособлениями для подъема и промывки сеток. Дно камер устраивают с наклонными стенками под углом 50–60^0 к горизонтали. Уровень воды в них должен быть 2,5–3,0 м выше кромки желобов в осветлителях, этим обеспечивается напор, необходимый для нормальной эксплуатации контактных осветлителей. Для защиты распределительных систем осветлителей от засорения могут использоваться барабанные сетки с размерами 0,5 х 0,5 мм, предназначенные для грубого процеживания воды. После входных камер или барабанных сеток воду направляют в смеситель, где к ней добавляют реагенты. Их можно вводить и в трубопровод, подводящий обрабатываемую воду к контактным осветлителям. Растворы реагентов должны быть осветленные. 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 оборудо-

вания 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 природных, оборотных и сточных вод от гетерофазных примесей.

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.

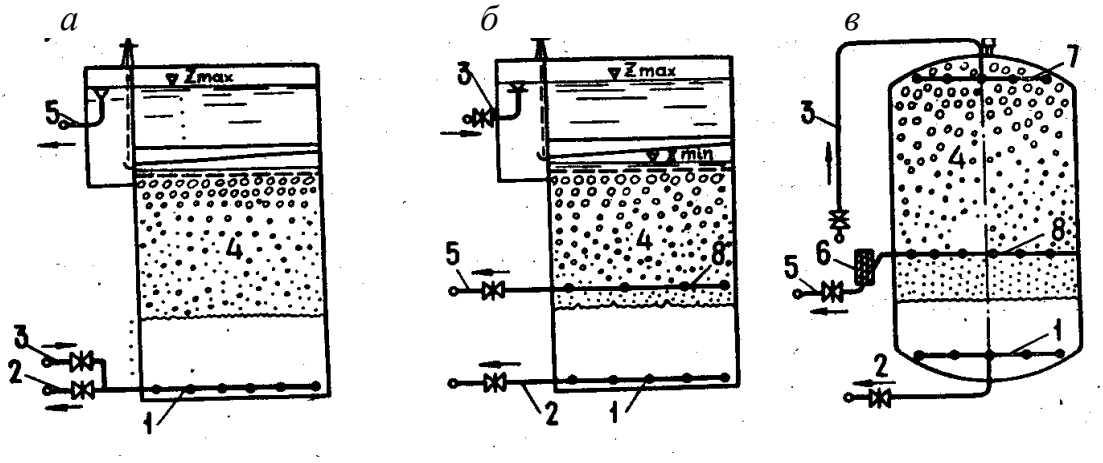


Рис. 50. Фильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой: *а* – ФПЗ–1; *б* – ФПЗ–4; *в* – ФПЗ–4н (ФПЗ-3,4–150); 1 – нижняя сборно-распределительная система; 2 – отвод промывной воды; 3 – подача исходной воды; 4 – пенополистирольная загрузка; 5 – отвод фильтрата; 6 – уловитель пенополистирола; 7 – верхняя 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 пеностирольной загрузки. Работа некоторых из них (ФПЗ–1, ФПЗ–3, ФПЗ–4, АФПЗ–4) была изучена и испытана в процессе эксплуатации на действующих станциях (рис. 50).

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).

Исходные данные для инженерного расчета ФПЗ различных конструкций в первом приближении могут быть приняты по табл. 3.

Таблица 3

Параметры работы фильтров типа ФПЗ

Фильтр	Максимальное содержание взвеси в исходной воде, мг/л	Скорость фильтрования, м/ч, при режиме работы		Минимальная продолжительность фильтроцикла, ч	Предельные потери напора за филь троцикл, м
		нормальном	форсированном		
ФПЗ-1 (с восходящим фильтрационным потоком) безнапорный	200	10	12	8	2,5
ФПЗ-4 (с нисходящим фильтрационным потоком) безнапорный	500	5-6	6-7	12	2,0
ФПЗ-4 и (ФПЗ-3,4-150) (с нисходящим фильтрационным потоком) безнапорный	500	5-6	6-7	12	6-10

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

Скорости фильтрования и продолжительность фильтроцикла уточняется в процессе эксплуатации фильтра. При применении конструкций ФПЗ–3, ФПЗ–4, ФПЗ–5 в технологии очистки хозяйственно–питьевой воды с целью обеспечения высокой санитарной надежности регенерации нагрузки следует предусматривать устройство дополнительного трубопровода для подачи чистой воды в надфильтровое пространство (табл. 4).

Таблица 4

Гранулометрический состав загрузки и параметры ее промывки

Фильтр	Диаметр гранул загрузки, мм	Толщина загрузки, м	Интенсив-ность промывки, л/(с·м^2)	Продолжитель- ность промывки, мин	Относительное расширение загрузки, %
ФПЗ-1	0,8-1,5	2,0	12-10	4-5	20-30

ФПЗ-4	0,5-20	1,6	12-15	5-6	15-25
ФПЗ-4 и (ФПЗ-3,4-150)	2,0-4,0	0,4			

Потери напора на ФПЗ следует принимать ≥ 1,5 м при фильтровании сверху вниз и 2,0–2,5 м при фильтровании по схеме снизу вверх. Высота слоя воды над поверхностью загрузки во время фильтрования должна быть не менее 0,5м, а к концу промывки – не менее 0,1м. Требуемая высота слоя воды в надфильтровом пространстве, используемой для промывки, определяется расчетом. Количество рабочих фильтров и блокирование секций надфильтрового пространства должно обосновываться технико – экономическим расчетом. Выключение одной секции ФПЗ на промывку допускает увеличение скорости фильтрования на 20%. Температура очищаемой воды не должна превышать 50^0С (во избежание размягчения полимера).

С целью уменьшения расчетной высоты фильтра в конструкциях ФПЗ–l, ФПЗ–2, ФПЗ–6 (фильтрование осуществляется снизу вверх) рекомендуется объединять надфильтровое пространство трех-шести фильтров с помощью общего бокового кармана или трубопровода в блок-фильтры. При этом должна быть предусмотрена возможность отключения любого фильтра на ремонт или осмотр без нарушения гидравлического режима работы остальных фильтров.

Для механической очистки сточных вод применяют комбинированные сооружения, такие как тонкослойные отстойники-фильтры (рис. 51). 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). Вода поступает в водораспределительный лоток, в котором установлены съемные решетки с прозорами 10 мм. Решетки очищаются вручную граблями. Мусор удаляется в контейнер. Через щель в дне водораспределительного лотка вода поступает в песколовку. Из песколовки стоки через щелевые перегородки с отражателями попадают в отстойники, оборудованные универсальными полочными блоками с поперечными треугольными желобами и изолированными каналами для отвода задержанных частиц нефтепродуктов и взвеси. В полочных тонкослойных отстойниках задерживается основная масса тонкодисперсных взвешенных и плавающих веществ, преобладающих в дождевых сточных водах.

Применение полочных блоков интенсифицирует процесс очистки по сравнению с обычными отстойниками примерно в 6–8 раз, время отстаивания сокращается до 15–20 мин, что приводит к уменьшению строительного объема сооружения. Гидравлическая крупность частиц, задерживаемых в тон-

кослойных отстойниках, U_0 = 0,012 мм/с. Эффект очистки от эмульгированных нефтепродуктов составляет более 80 %. Задержанные нефтепродукты накапливаются на поверхности, собираются нефтесборными трубами и отводятся в колодцы-сборники. Для предотвращения попадания нефтепродуктов и других плавающих веществ в водосборный желоб отстоянной воды предусмотрены полупогруженные перегородки. Оседающие взвешенные вещества накапливаются в бункерах. Из водосборного желоба отстойника вода поступает в резервуар очищенной воды, оборудованный устройствами для установки блоков кассетных фильтров. Наполнителями для фильтров являются древесная стружка 25 см, сипрон 15 см, стекловолокно или активированный уголь. Сопротивление фильтра составляет около 5 Па, скорость фильтрации $V_ф$ = 10 м/ч. Эффект очистки воды на фильтрах по взвешенным веществам и нефтепродуктам 50–70 %. Очищенная вода после фильтров собирается в водосборный лоток и отводится из него по трубопроводу.

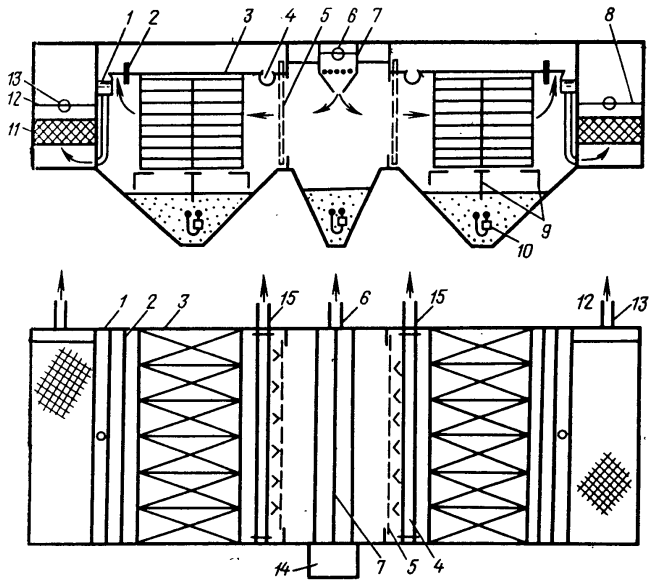


Рис. 51. Тонкослойный отстойник-фильтр: 1 – водосборный лоток; 2 – полупогружная перегородка; 3 – блоки тонкослойных элементов; 4 – нефтесборная труба; 5 – щелевая распределительная перегородка с отражателями; 6 – подводящий трубопровод; 7 – распределительный лоток со съемной решеткой; 8 – камера очищенной 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

Осадок из песколовки и отстойников удаляется стационарными гидроэлеваторами на площадки для обезвоживания. При эксплуатации сооружения перед удалением осадка из отстойников отводятся нефтепродукты. Следует отметить, что большим преимуществом комбинированных сооружений для очистки дождевого 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 подоб-

ных сооружений крайне важно. Расчет этих сооружений заключается в определении размеров и общего эффекта очистки каждого блока сооружения и производится в соответствии с приведенными выше рекомендациями.

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 обсссоливания 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 ~ 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÷100 г/моль.

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

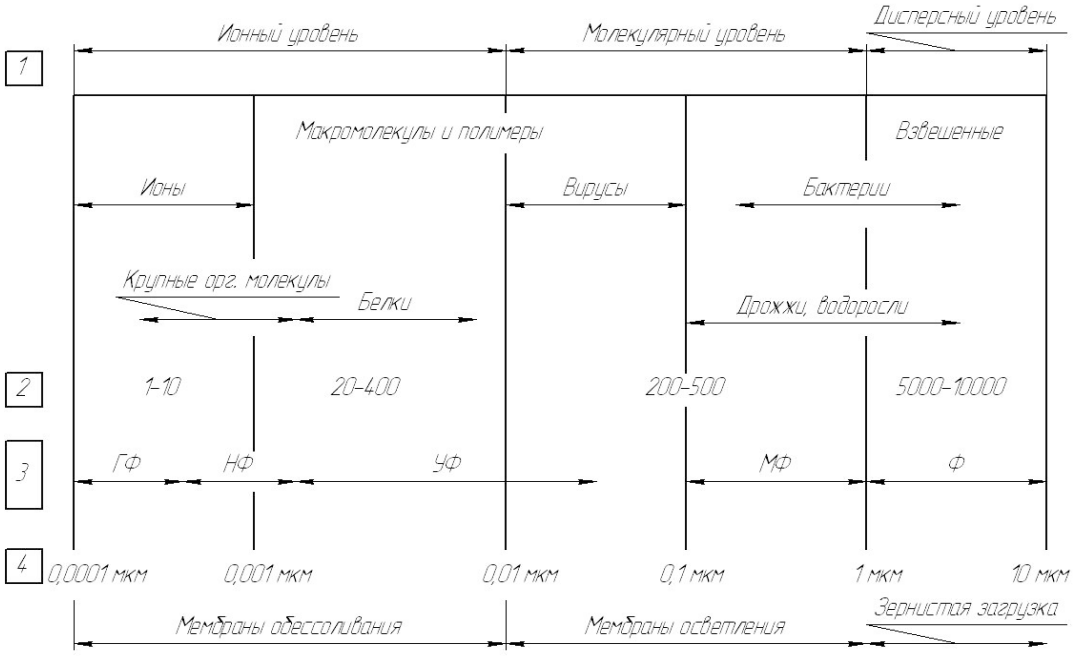


Рис.52 Ориентировочные пороги разделения по размерам задерживания частиц в фильтрационных процессах очистки воды: Ф – фильтрация; МФ – микрофильтрация; УФ – ультрафильтрация; ГФ – гиперфильтрация (обратный осмос) 1 – уровень обработки воды; 2 – производительность по фильтру; 3 – вид фильтрационной технологии; 4 – размер задерживаемых частиц; 5 – фильтрующая среда

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 pH 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 харакгеристикой мембранной установки является коэффициент выхода фильтрата (пермеата):

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

где Q_{Φ} – расход фильтрата установки; Q – расход подаваемой воды; K_{ϕ}–коэффициент выхода фильтрата, K_{ϕ} =10–90 %.

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

$$C_к = \frac{100 \cdot C_E}{100 - K_ф}$$

Если $K_ф = 75\%$, то $C_к = 4C_E$

Если хотят получить $K_ф$ >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 $Q_Ф$, так и от концентрации C_m жидкости, соприкасающейся с мембраной. В свою очередь C_m зависит от исходной концентрации C_E

$$C_m = C_Е \cdot \Psi$$

где Ψ — коэффициент концентрационной поляризации мембраны, $\Psi = \frac{C_m}{C_Е}$ — 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 Ψ = 1,05...1,4. Коэффициент Ψ можно уменьшить до минимума посредством эффективной промывки мембраны, сбрасывая больший 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 улътрафильтрации 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. 53 *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^{2}площади фильтрации. Для мембранных биореакторов при очистке производственных СВ применяют модули с керамическими мембранами (рис. 53 *б*), изготавливаемые путем экструзии (выдавливания).

а). *б).*

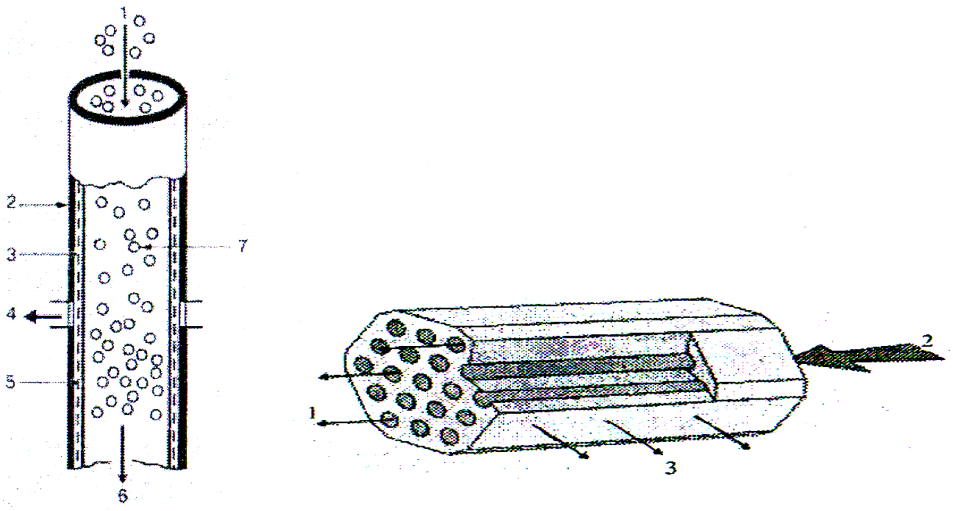


Рис. 53 *а).* трубчатая мембрана: 1 – подача исходной воды; 2 – труба; 3 – держатель мембраны; 4 – очищенная сточная вода; 5 – мембрана; 6 – выход концентрата; 7 – взвешенные вещества; *б*). керамическая мембрана: 1 – концентрат; 2 – вода; 3 – пермеат

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

Они могут выдержать 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. 54) содержит 35600 волокон диаметром 0,9 мкм, что составляет площадь фильтрации 125 м^2 и для осветления может использоваться в режимах фронтальной ($К_ф$ = 80–100 %) или тангенциальной фильтрации ($К_ф$ = 15–30 %), а в режимах обессоливания Кф = 20–50 %. Такие модули выпускаются с поверхностью фильтрации 125, 64 и 7 м^2.

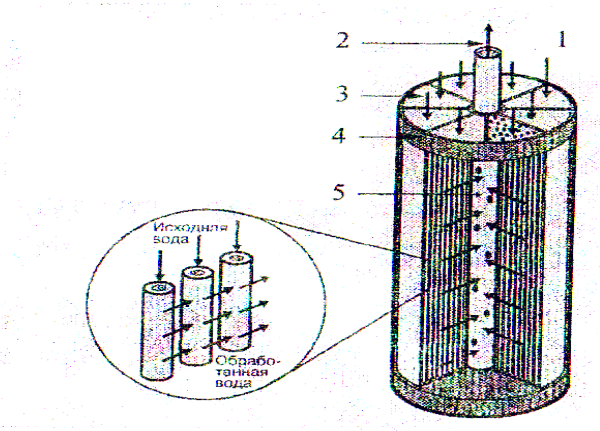


Рис. 54. Модуль Ultrazur 450 с внутренней поверхностью фильтрации: 1 – поступление исходной воды; 2 – выход пермеата; 3 – восемь пучков волокон; 4 – смола для герметичного крепления пучков; 5 – центральный коллектор пучков

Погружные модули ультрафильтрации с внешней фильтрующей поверхностью (рис. 55) 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.

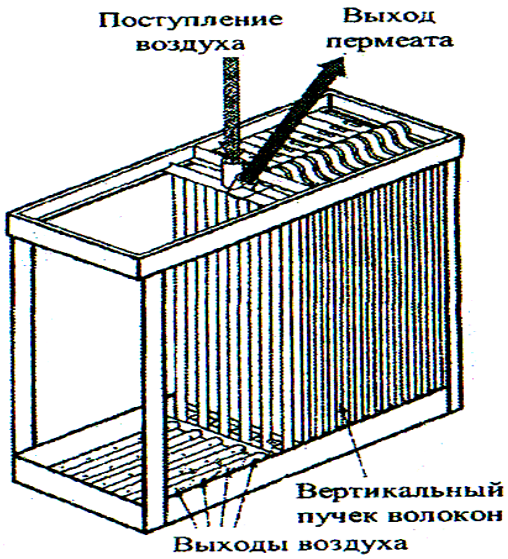


Рис. 55 Наружные модули ультрафильтрации.

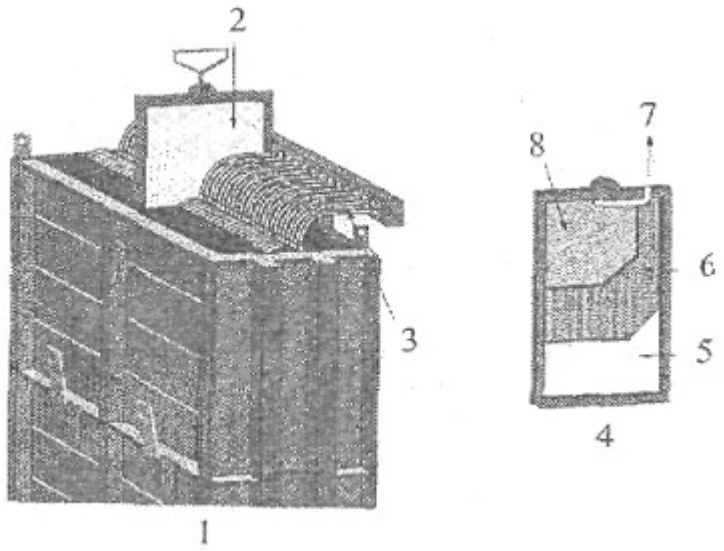


Рис. 56 Пластинчатый модуль: 1 – кассета; 2 – пластина-держатель мембраны; 3 – выход пермеата; 4 – рама; 5 – мембрана; 6 – войлок; 7 – обработанная вода (на отсасывание); 8 – дренажная система

Пластинчатые модули состоят из набора мембран и поддерживающих пластин (рис.56). Особенно часто они используются для обработки сильно загрязненных жидкостей (производственных СВ, в биореакторах и т.п.). Фильтрат (пермеат) накапливается в желобах и выводится под давлением (ГФ, НФ) или вакуума (УФ, МФ). Толщина такой прослойки между пластинами 0,5...3 мм. Площадь фильтрации установки с комплектом таких мембран может доходить до 120 м^2 .$К_ф$ = 80...100%, режим фильтрации — фронтальный. Для мембран осветления с целью предотвращения быстрого забивания пластин предусматривается аэрация в основании модуля. Спиральные модули (рис. 57). Диаметр модуля от 5 до 30 см, длина 0,3... 1,5 м, мембранная поверхность от 0,3 до 41 м^2, $К_ф$ = 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 фильтрования. 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.

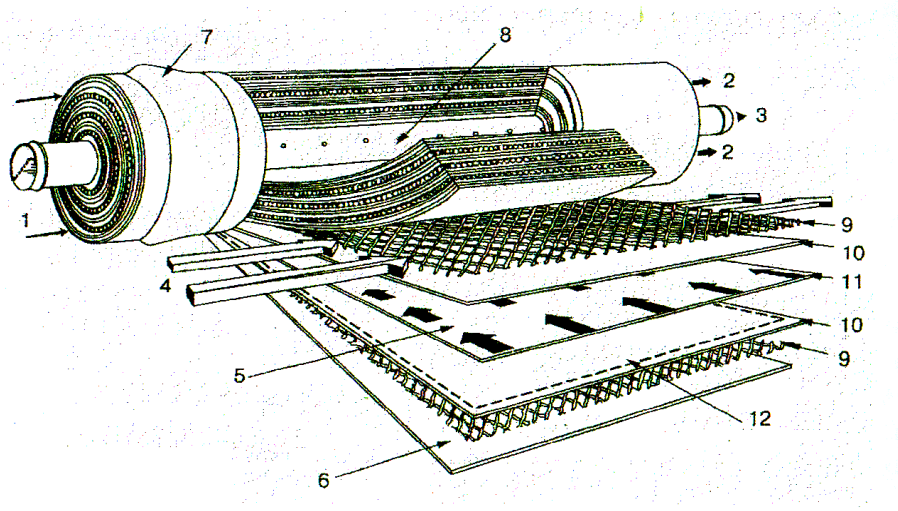


Рис. 57. Спиральный модуль: 1–поступление воды; –выход концентрата: 3 – трубка – коллектор; 4–направление движения исходной воды; 5–направление движения пермеата; 6 – защитный материал: 7–герметичная прокладка между модулем и корпусом; 8 – отверстия коллектора пермеата; 9 – прокладка; 10 – мембрана; 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. 58) 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.

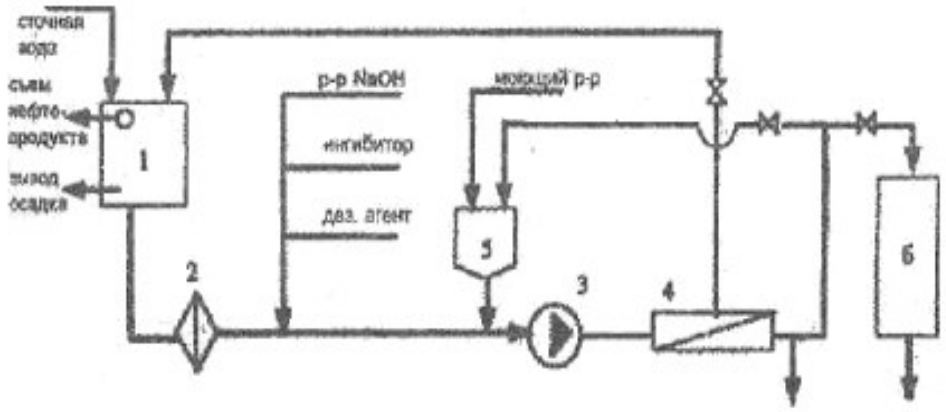


Рис.58. Технологическая схема ультрафильтрационной установки для очистки сточных вод автотранспортных предприятий: 1 – отстойник; 2 – механический фильтр; 3 – насос; 4 – мембранный модуль; 5 – узел мойки; 6 – сорбционный фильтр

Технологией предусматривается регенерация мембранных элементов моющим раствором; корректировка pH 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. Производительность установки до 8 м^3/ч, селективность по нефтепродуктам не менее 95 %, по взвешенности вещества – 99,9 %, а рабочее давление 0,3–0,45 МПа.

Ультрафильтрационная установка УМ (рис. 59) для разделения водомасляных эмульсий работает следующим образом.

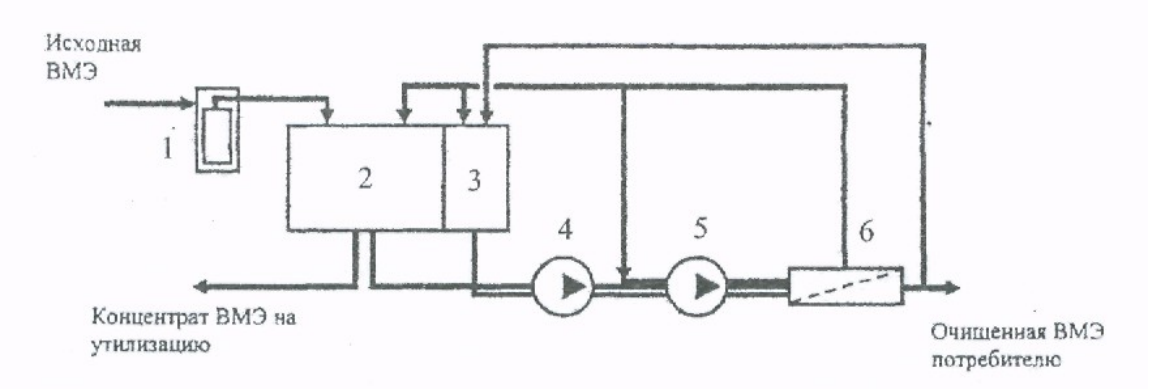


Рис. 59. Технологическая схема установки УМ

Исходная водомасляная эмульсия (ВМЭ) через фильтр предварительной очистки 1 подается в емкость. После заполнения емкости с помощью насоса 4 заполняется ультрафильтрационный модуль 6. Затем включается рециркуляционный насос 5 с помощью насосов 4 и 5 в ультрафильтрацион-

ном модуле создается рабочее давление (0,3–0,4 МПа) и скорость потока над мембраной (4–6 м/с) для проведения процесса ультрафильтрации. При этом часть рециркуляционного потока возвращается в емкость 2 для выравнивания температуры и концентрации в мембранном модуле 6 и емкости 2.

В процессе ультрафильтрации ВМЭ разделяется на два потока: ультрафильтрат, который непрерьгено отводится от мембранного модуля, и концентрат, возвращаемый в емкость 2.

В процессе разделения ВМЭ постепенно снижается скорость ультрафильтрации.

Для регенерации мембран осуществляется химическая мойка их раствором, приготовленным на основе ультрафильтрата в емкости 3. Концентрат из емкости 2 направляется на утилизацию.

При разделении смазочно-охлаждающих и жиросодержащих вод требования к качеству фильтрата ужесточаются, так как он обычно сбрасывается в канализацию.

В этом случае установка дополнительно укомплектовывается угольным адсорбером. Регенерация сорбента осуществляется 1 %-ным раствором щелочи, который готовится на основе фильтрата, либо с помощью водяного пара давлением 0,07 МПа.

Загрязненный нефтепродуктами раствор щелочи или конденсат после регенерации возвращается на стадию ультрафильтрации. Остаточное содержание нефтепродуктов в фильтре 10–30 мг/л. Для установок укомплектованных адсорбером 3 мг/л.

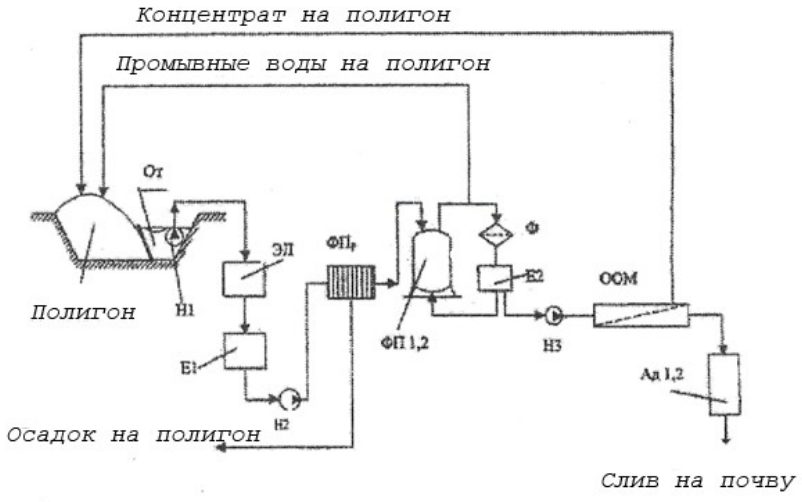


Рис. 60 Схема установки УМС для очистки дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов: От – отстойник; Н1, Н2, Н3 – насосы; ЭЛ – узел электрохимической обработки; Е1,Е2 – устройства для обеззараживания воды; ФП$_р$ – фильтр-пресс; ФП, Ф – узел двухступенчатой фильтрации; ООМ – обратноосматический мембранный модуль; Ф$_д$ -1,2 – адсорбционные фильтры

Установка УМС с обратноосмотическими мембранами (рис. 60) для очистки дренажных вод полигонов, включающих биологически разлагаемые

и трудноразлагаемые вещества, азот (в виде аммония), растворимые соли, тяжелые металлы содержит:

—узел электрохимической обработки исходной воды предназначенный для предочистки от основных примесей: железа Fe^{2+}, тяжелых металлов, органических соединений, аммонийного азота с одновременным ее обеззараживанием за счет образующегося активного хлора;

—узел двустуггенчатой фильтрации предназначенный для удаления взвешенных частиц более 5 мкм. Снижения цветности и мутности исходной воды;

—узел глубокой очистки обессоливания осветленной воды до значения ПДК на обратноосмотических мембранах;

—узел окончательной доочистки воды от низко молекулярной органики на сорбенте.

Контрольные вопросы

1. Назначение скорых безнапорных фильтров, на какие типы они подразделяются по направлению движения воды?
2. Какие фильтрующие материалы известны?
3. Типы и конструкции скоростных напорных фильтров?
4. Принцип работы сверхскоростного напорного фильтра конструкции Г.И. Никифорова?
5. Принцип работы контактного осветлителя, схема конструкции.
6. Принцип работы и схемы конструкции фильтров с плавающей пенополистирольной загрузкой.
7. Типы мембран в зависимости от размера пор.
8. Что является основной характеристикой мембранной установки?
9. Назначения, типы модулей и их применение при микрофильтрации, ультрафильтрации, нанофильтраии.
10. Когда применяются мембранные технологии?

ЛЕКЦИЯ 9

Химические методы очистки производственных сточных вод

План лекции:

Область применения и основные виды химических реакций, используемых для очистки сточных вод. Классификация методов химической очистки.

Нейтрализация сточных вод реагентным и фильтрационным способом. Конструкции сооружений, принцип работы, область применения. (0,056; 2*ч*).

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 ($KMnO_4$), озон (O_3) 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.

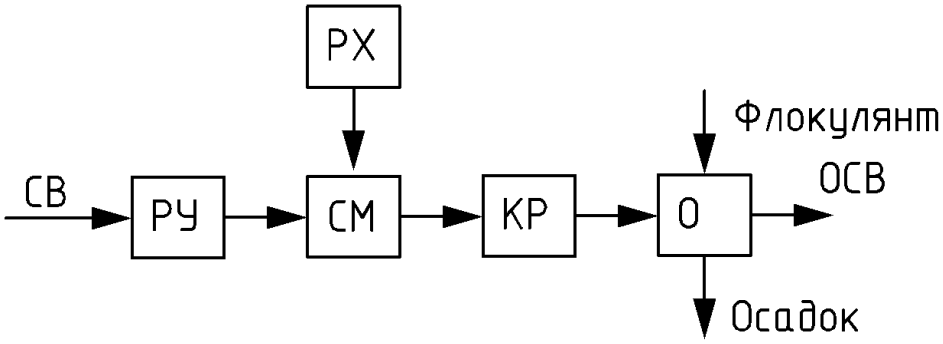


Рис. 61. Принципиальная схема химической очистки СВ с осаждением продуктов реакции: РУ – резервуар–усреднитель; СМ – смеситель; РХ – реагентное хозяйство; КР – контактный резервуар; О – отстойник.

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:

$$H^+ + OH^- = H_2O$$

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 pH=7.Наиболее часто сточные воды загрязнены минеральными кислотами: серной H_2SO_4, азотной HNO_3, соляной HC1, 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 $Ca(OH)_2$ 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:

$$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 = CaSO_4 + 2H_2O;$$
$$H_2SO_4 + CaCO_3 = CaSO_4 + H_2O + CO_2.$$

Образующийся в результате нейтрализации сульфат кальция (гипс) кристаллизуется из разбавленных растворов в виде $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Растворимость гипса в интервале температур от 0 до 40°С 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 кислот или щелочей и принимают на 10 % больше расчетной (табл.5). 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:

$$G = K_з QaA \cdot 100 / B,$$

где $K_з$ – 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, подлежайщих нейтрализации, м³; a – расход реагента на нейтрализацию (см. табл. 5); A – концентрация кислоты или щелочи, кг/м³; B – количество активной части в товарном продукте, %.

Таблица 5

Расход реагентов для нейтрализации 100% –ных кислот и щелочей

Щелочь	Кислота			
	Серная	Соляная	Азотная	Уксусная
Негашенная известь	0,56	0,77	0,46	0,47
	1,79	1,3	2,2	2,15
Гашенная известь	0,76	1,01	0,59	0,62
	1,32	0,99	1,7	1,62
Кальцинированная сода	1,08	1,45	0,84	0,88
	0,93	0,69	1,19	1,14
Каустическая сода	0,82	1,1	0,64	0,67
	1,12	0,91	1,57	1,5

Аммиак	0,35 2,28	0,47 2,12	0,27 3,71	___

Примечание: над чертой дано количество щелочи, г на 1г кислоты, под чертой – количество кислоты, г на 1г щелочи.

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

$$G = K_з Q(aA + b_1C_1 + b_2C_2 + ... + b_nC_n)100 / B,$$

где $C_1, C_2, ..., C_n$ – концентрация металлов в сточных водах, кг/м³; $b_1, b_2, ..., b_n$ – количество реагента, требуемое для перевода металлов из растворенного состояния в осадок (табл. 6).

Таблица 6

Расход реагентов, требуемых для удаления металлов

Металл	Расход реагентов, г/г.			
	CaO	Ca(OH)2	Na2CO3	NaOH
Цинк	0,85	1,13	1,6	1,22
Никель	0,95	1,26	1,8	1,36
Медь	0,88	1,16	1,66	1,26
Железо	1	1,32	1,9	1,43
Свинец	0,27	0,36	0,51	0,38

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. 62) и горизонтальные. В вертикальных фильтрах фильтрация происходит сверху вниз:

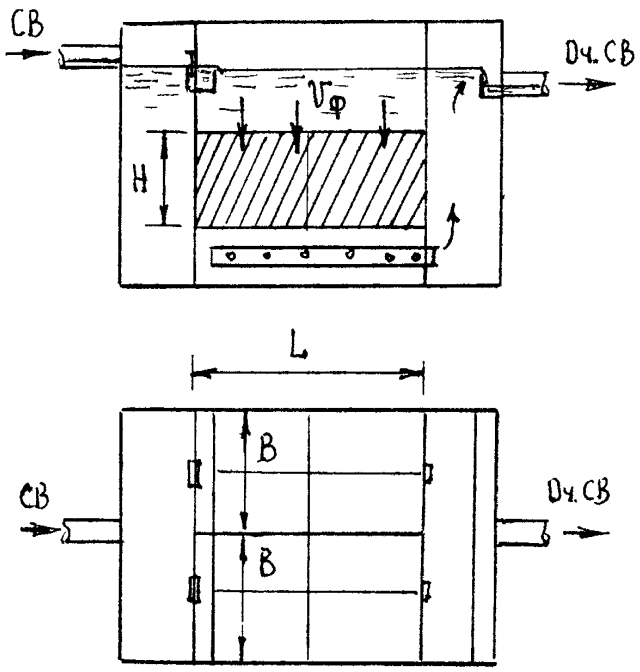


Рис. 62. Схема вертикального фильтра нейтрализатора

В горизонтальных фильтрах–нейтрализаторах сточные воды в фильтрующем слое движется в горизонтальной плоскости (рис. 63).

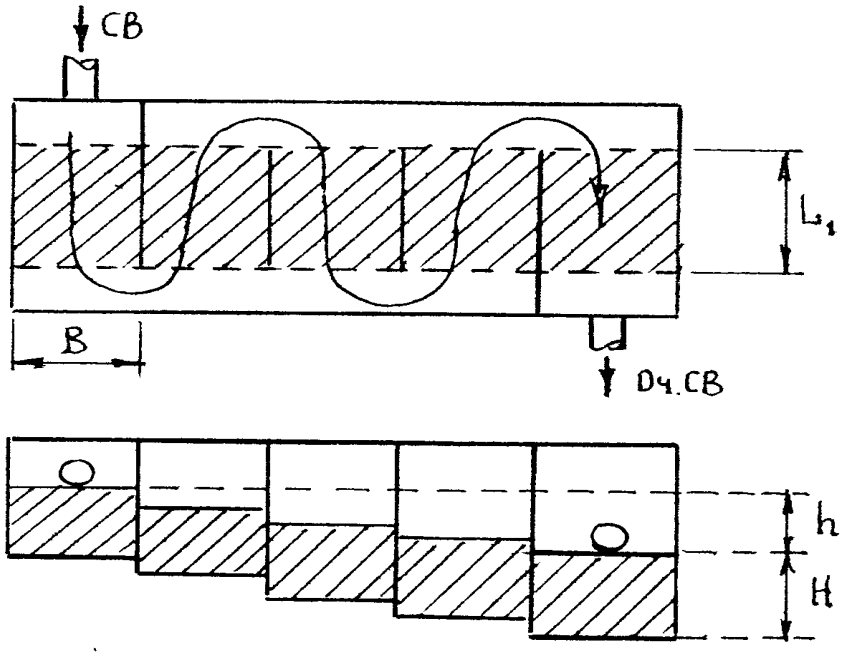


Рис. 63 Схема горизонтального фильтра–нейтрализатора.

Расчет горизонтальных фильтров-нейтрализаторов производится (как и вертикальных фильтров) исходя из необходимой продолжительности контакта сточных вод с загрузочным материалом.

Нейтрализация методом фильтрации применяется чаще всего для сильных кислот (HCl, HNO_3), которые дают хорошо растворимые в воде соли. Для нейтрализации серной кислоты (H_2SO_4) такие фильтры применимы при $C_{ср} \leq$ 5 г/л, т.к. при большей концентрации $C_{ср}$ 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^- или молекул воды на поверхности анода.

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

$$Fe^{2+}+2OH^-\rightarrow Fe(OH)_2.$$

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^+ и OH^- соответственно составляет 1–10 и 10^{13}–10^{14} г-ион/л.

Из прикатодного или прианодного слоя ионы OH^- и H^+ 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_2O 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^+ и OH^- в объеме обрабатываемой жидкости. Это осуществляется путем разделения продуктов анодной и катодной реакций инертными или ионообменными диафрагмами, снижением чисел переноса ионов H^+ и OH^- за счет повышения концентрации индифферентных ионов-переносчиков тока (K^+, Na^+, SO_4^{2-} и др.).

Однако во всех случаях следует учитывать, что числа переноса ионов H^+ и OH^- 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 электрореакторах 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.

Существеным 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.

Контрольные вопросы

1. Назначение химической очистки производственных сточных вод
2. Что относится к методам химической очистки?
3. Сущность реакции нейтрализации, способы нейтрализации.
4. Нейтрализация сточных вод реагентным методом.
5. Составить уравнение химической реакции нейтрализации сточных вод, содержащих кислоты.
6. По какой формуле можно рассчитать количество реагентов необходимых для нейтрализации кислот?
7. По какой формуле рассчитывают количество реагентов, необходимых для нейтрализации кислых стоков, содержащих соли тяжелых металлов?
8. Какие сооружения входят в состав установок для нейтрализации производственных сточных вод реагентным методом?
9. Когда применяется фильтрационный способ нейтрализации сточных вод и какие схемы установок известны?
10. Что учитывается при расчете горизонтальных фильтров–нейтрализаторов?
11. Что происходит в прикатодном слое при электрокорректировании pH?

ЛЕКЦИЯ 10

Окислительный метод очистки.

План лекции:

Область применения.

Окисление активным хлором, кислородом воздуха, озоном.

Схемы озонаторной установки, схемы введения озона в воду.

Электрохимическое окисление. Конструкции сооружений, принцип работы. (0,056; 2*ч*).

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 циансодержащих стоков применяют методы окисления гипохлоритом натрия NaOCl или кальция $Ca(OCl)_2$.

$$CN^- + OCl^- \text{<-----> } CNO^- + Cl^- ;$$

циан-ион цианат-ион

$$CNO^- + 2\ H_2O = CO_3^{2-} + NH_4^+ .$$

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

В сточных водах цехов гальванопокрытий содержат ионы Cr^{6+} , кислоты и щелочи. Схема очистки СВ гальванических цехов включает три основных блока: для обезвреживания цианосодержащих; хромсодержащих; кислых и щелочных стоков (рис. 64).

Реакция восстановления ядовитого шестивалентного хрома до трехвалентного

$$Cr_2O^{2-}_7 + 3HSO_3^- + 5\ H^+ = 2\ Cr^{3+} + 3SO_4^{2-} + 4H_2O\ .$$

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

$$Cr^{3+} + 3OH^- = Cr(OH)_3 \Downarrow.$$

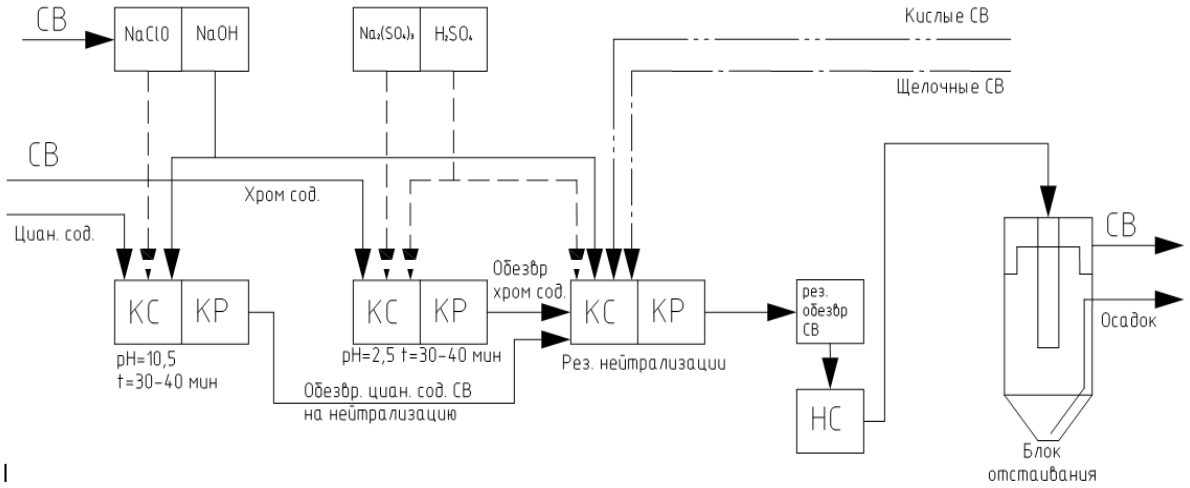


Рис. 64 Схема очистки сточных вод цехов гальванопокрытий: КС – камера смешения; КР – камера реакции; РОСВ – резервуар обезвреживания сточных вод

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 меж-

электродного пространства от механических примесей, возможность образования взрывоопасной смеси водород-кислород.

В процессе анодного окисления происходит деструкция органических загрязнений с образованием органических кислот, CO_2, H_2O. 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^2.Окисление кислородом воздуха применяется для окисления сульфидных сточных вод целлюлозно–бумажных, нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов (рис. 65).

Реакция идет в жидкой фазе при повышенных температуре и давлении.

Конечными продуктами процесса могут быть элементарные сера и сероводород, который может служить сырьем для получения серной кислоты.

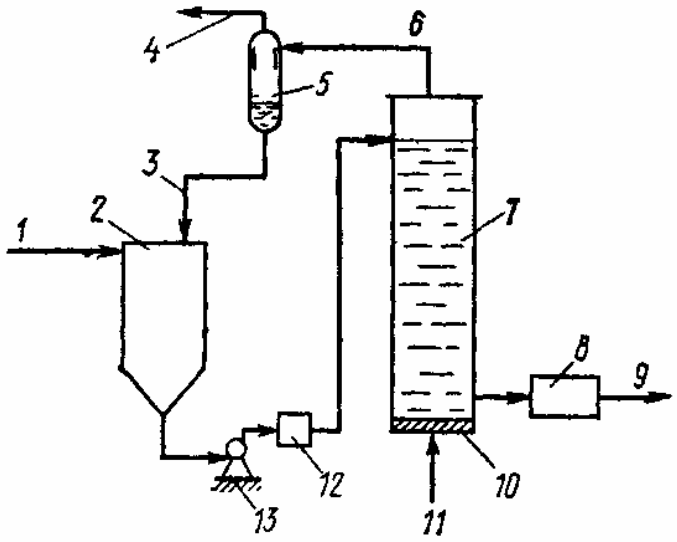


Рис. 65. Принципиальная схема установки по окислению сульфидов, содержащихся в сточных водах, кислородом воздуха: 1– подача сточной воды; 2 – приемный резервуар; 3, 4, 6 – выпуск соответственно конденсата, отработанного воздуха и увлажненного отработанного воздуха; 5 – сепаратор; 7 – окислительная колонна; 8 – холодильник; 9 – выпуск обработанных сточных вод; 10 – воздухораспределительное устройство; 11 – подача воздуха; 12 – теплообменник; 13 – рнасос.

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 коррозийный и токсичный, поэтому трубопроводы и оборудование, с которыми он контактирует, выполняют из нержавеющей стали и алюминия, а в помещении, где находятся люди концентрация озона должна быть не более 0,0001

мг/л.Основной способ получения озона – синтез его из воздуха или технического кислорода под воздействием «тихого» электрического разряда при напряжении 10–20 кВ в специальных генераторах озона.

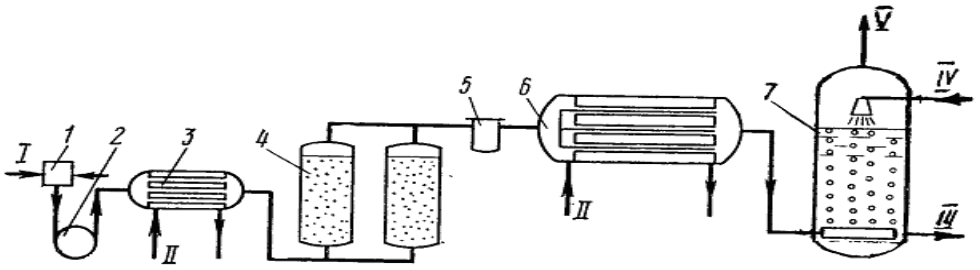


Рис. 66. Схема озонаторной установки: 1–воздушный фильтр; 2–воздуходувка; 3 –теплообменник; 4 – адсорберы; 5 –пылевой фильтр; 6 –генератор озона; 7 –барботажная колонна; 8 – озоно–воздушная смесь; 9 – распыливающие элементы; I –воздух; II –охлаждающая вода; III – выход очищенной воды; IV – вода на очистку; V – выход отработанного газа.

Принципиальная схема озонирования включает (рис.66):

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

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%. В России имеется ряд производителей озонаторного оборудования, технические характеристики которых приведены в табл. 7–9.

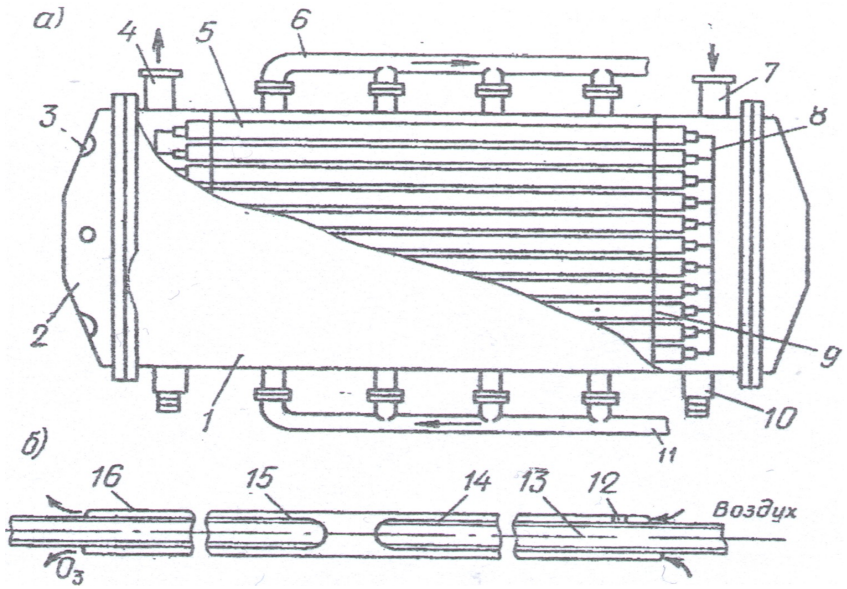


Рис. 67 Принципиальная схема озонатора трубчатого типа большой производительности: *а*–схема озонатора; *б*–схема трубчатого разрядного элемента 1–корпус; 2–крышка;

3–смотровые окна; 4–выход озоно–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.

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.

Таблица 7

Техническая характеристика озоногенераторов «Мультизан»

Показатель	Озоногенератор				
	310.10	310.50	310.100	310.200	310.500
Производительность по озону, г/ч	10	50	100	200	500
Концентрация озона, г/м^3	20	20	20	20	20
Расход воздуха, м^3/ч	0,5	2,5	5	10	25
Напряжение: основное, В вторичное, кВ	220/380 6	220/380 6	220/380 6	220/380 6	220/380 6
Потребляемая мощность, кВт	1,35	1,65	3,3	6,8	10
Масса, кг	50	230	280	420	1050
Габариты (длина ×ширина×высота), мм	600x600x250	1200x600x1200	1200x600x1200	1200x600x1500	1200x1620x1800
Количество электродов, шт	14	32	63	148	344
Количество компрессоров, шт	1	1	1	1	3

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.

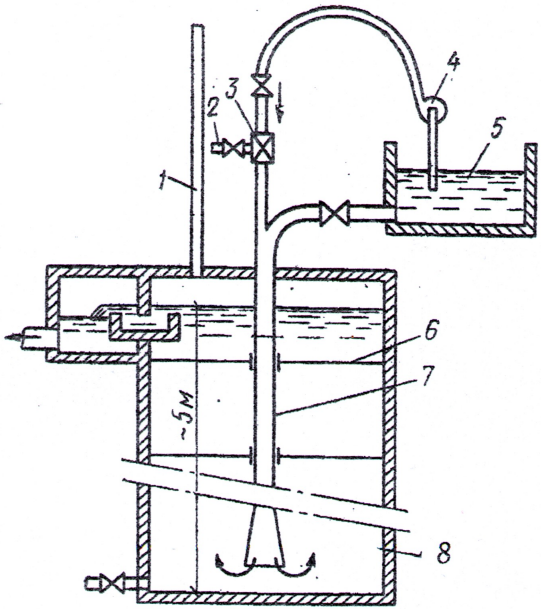


Рис.68 Технологическая схема введения озона в воду с применением эмульсатора: 1–выброс непрориагировавшего озона; 2–подвод озоновоздушной смеси; 3–эмульсатор; 4–насос для подачи воды на эмульсатор; 5–вода, подлежащая озонированию; 6–распорки; 7–труба- смеситель; 8– контактная колонна.

Таблица 8

Техническая характеристика озонофильтровальных установок

Показатель	Тип установки				
	Р6-0,5	Р6-6	Р6-12	Р6-25	Р6-6П
1	2	3	4	5	6
Производительность по обрабатываемой воде, $м^3$/ч ($м^3$/сут), не более	0,5 (12)	6 (144)	12 (288)	25 (600)	6 (144)
Производительность по озону, г/ч	10	45	45	400	45
Концентрация озоно-воздушной смеси, г/ $м^3$, не более	15	15	20	20	15
Электропитание, В/Гц	380/50	380/50	380/50	380/50	380/50
Установленная мощность, кВт	1,7	8,0	11,3	23,1	5,5-8

Удельный расход электроэнергии на обработку воды, кВт·ч^3, не более	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Габаритные установки (длина ×ширина×высота), м, не более	1,7х0,6 х0,86	2,7х2 х2,5	4,6х2 х2,4	4,5х2 х4,6	2х2,4 х2
Масса транспортная, кг, не более	450	1800	2800	5000	12300

Режим работы Автоматический

Таблица 9

Основные характеристики озонаторов производительностью по озону более 1 кг/ч

Производитель	Тип озонатора	Производительность по озону, кг/ч	Концентрация озона, г/м^3	Рабочее давление, кгс/см^2	Потребляемая мощность (общая), кВт	Расход воздуха, м^3/ч
1	2	3	4	5	6	7
ОАО «Кургахимаш»	П-60	1,5	20	0,7	15	75
	П-90	2,6	20	0,7	35	130
	П-120	3,65	20	0,7	47	235
	П-160	4,8	20	0,7	64	315
	П-222	6,7	20	0,7	68	435
	П-379	11,5	20	0,7	151	745
	П-514	15,6	20	0,7	203	1000
	П-647	19,6	20	0,7	258	1275
	П-850	25,8	20	0,7	338	1670
Завод им. М.В. Хруничева	ОВМ-1	1	20	1	20	55
	ОВМ-3	3	20	1	65	160
НПП «Техозон» обл.)	ТС-1200	1,2	25	1	25	80
	ТС-1700	1,7	25	1	34	100
	ТС-2500	2,5	25	1	50	150
	ТС-3500	3,5	25	1	70	190

Предприятие «КБ Химавтоматика»	ОУ-1,5 ОУ-2 ОУ-5	1,5 2 5	40 25 25	1,6 1,6 1,6	30 40 100	180 80 200

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. 68), 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.

В табл. 10 приведены данные по работе эжектора-смесителя конструкции Л. И. Смирнова при его расположении над поверхностью воды в контактной камере на высоте 3,25м.

Таблица 10

Давление воды перед эжектором, МПа	Расход воды через эжектор, $м^3/ч$	Количество засасываемого газа, $м^3$ на $1м^3$ воды	Максимальное количество озона, г/ч, подаваемое эжектором при концентрации озона в газе $С_{оз}$=10 $г/м^3$
1	2	3	4
0,7	12,8	1,4	18
0,6	12,8	1,24	13,8
0,5	11,3	1,18	13,3
0,4	10,3	0,98	10,1
0,3	8,8	0,5	4,4

При обработке сточных вод с компонентами первой группы озоностойкости на установках малой производительности можно применять технологическую схему, разработанную ЦНИИ МПС (рис. 69). Обрабатываемая вода нагнетается насосом в трубчатый змеевик через эжектор, в котором происходит засасывание озоновоздушной смеси из озонатора.

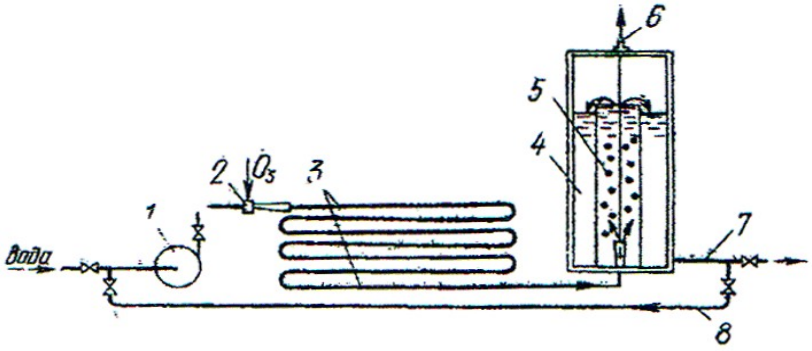


Рис. 69. Технологическая схема введения озона в воду с применением эжектора и змеевика: 1–насос; 2–эжектор; 3–змеевик; 4–воздухоотделитель; 5– контактная камера; 6–выход непрореагировавшего озона; 7–выход озонированной воды; 8–циркуляционный трубопровод.

Диаметр труб змеевика подбирают из расчета, чтобы создать скорость движения воды в нем порядка 1,2–1,5 м/с при длине трубопровода 15–25м. Напор насоса должен быть 0,3–0,4МПа. 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. Механические смесители (табл. 11) представляют собой контактные камеры, внутри которых размещены перемешивающие устройства (дисковые турбины, импеллеры, роторы и др.). Озоновоздушную смесь подают под лопасти перемешивающих устройств или внутрь полых роторов.

Таблица 11

Озоностойкость компонентов, содержащихся в воде	Объем смесителя, $м^3$	Размеры, м				
		Сторона основания B или диаметр D	Высота смесителя рабочая H	Соотношение H:B	Диаметр турбинки $D_т$	Соотношение $D_т$/B
1	2	3	4	5	6	7
Первая группа, легко взаимодействующая	0,22 0,73 1,7	0,6 0,9 1,2	0,6 0,9 1,2	1:1 1:1 1:1	0,2 0,3 0,4	1:3 1:3 1:3
Третья группа, трудно взаимодействующая	0,125 0,33 1 1,7	0,5 0,7 1 1,2	0,5 0,7 1 1,2	1:1 1:1 1:1 1:1	0,1 0,15 0,2 0,25	1:5 1:4,7 1:5 1:4,8

	2,8	1,4	1,7	1:1,2	0,3	1:4,7

Наиболее перспективными для станций малой и средней производительности (до 50 тыс.м^3/сут) являются механические смесители с дисковыми турбинами открытого типа и автономным подводом озоно–воздушной смеси под лопасти турбины (рис. 70).

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.

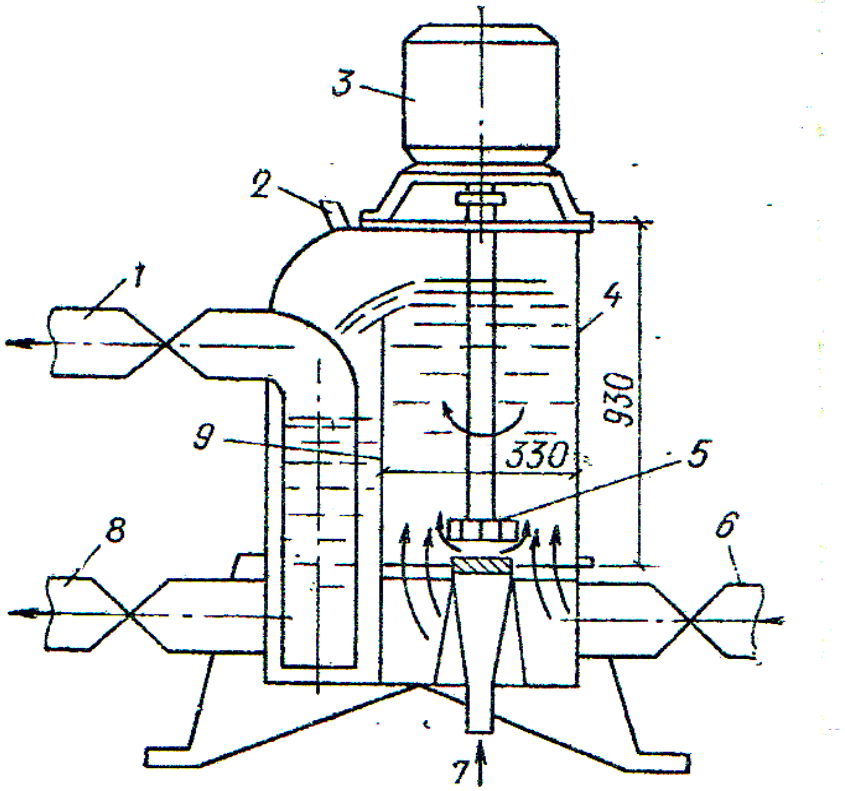


Рис. 70 Механический смеситель турбинного типа: 1–аварийный перелив воды; 2–выход непрориагировавшего озона; 3–трехслойный электродвигатель; 4–корпус смесителя; 5–

турбина; 6–подвод воды; 7–подвод озоновоздушной смеси; 8–отвод озонированной воды; 9–переливная стенка.

В табл. 12 представлены ориентировочные значения мощностей электродвигателей механических перемешивающих устройств.

Таблица 12

Диаметр мешалки, м	Частота вращения мешалки, об/с							
	5	6,8	8,3	16,6	25	33,3	41	50
0,1	—	—	—	0,06	0,24	0,48	0,93	1,65
0,15	0,012	0,04	0,05	0,45	1,65	3,6	6,9	10,8
0,2	0,06	0,135	2,25	1,8	7,8	—	—	—
0,25	0,15	0,45	0,67	5,25	—	—	—	—
0,3	0,45	4,1	7,4	—	—	—	—	—
0,4	1,65	11,7	—	—	—	—	—	—

С целью более полного использования озона применяют многоступенчатое (многократное) озонирование (рис. 71 и 72).

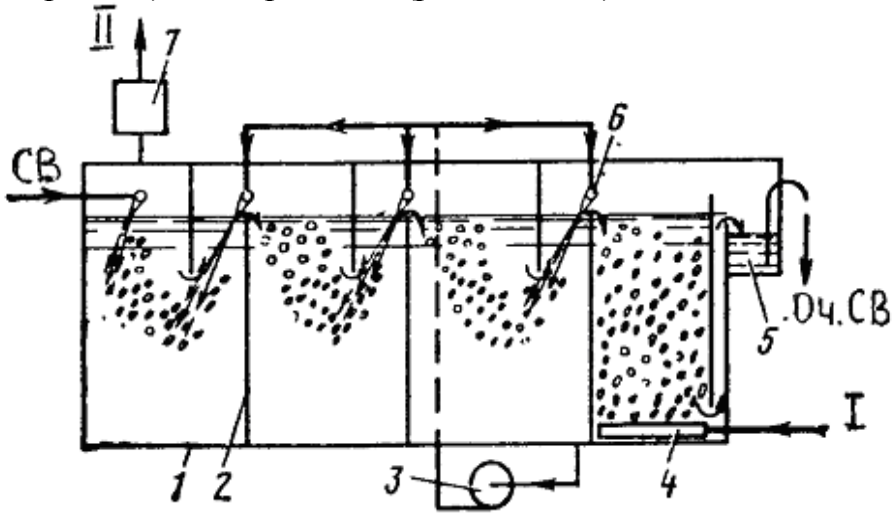


Рис. 71 Струйный смеситель: 1 – резервуар; 2 - перегородки; 3 – рециркуляционный насос; 4 – пористый распылитель; 5 – водосборный карман; 6 – сопло; 7 – пеноотделитель; I – озонированный воздух; II – отработанный воздух.

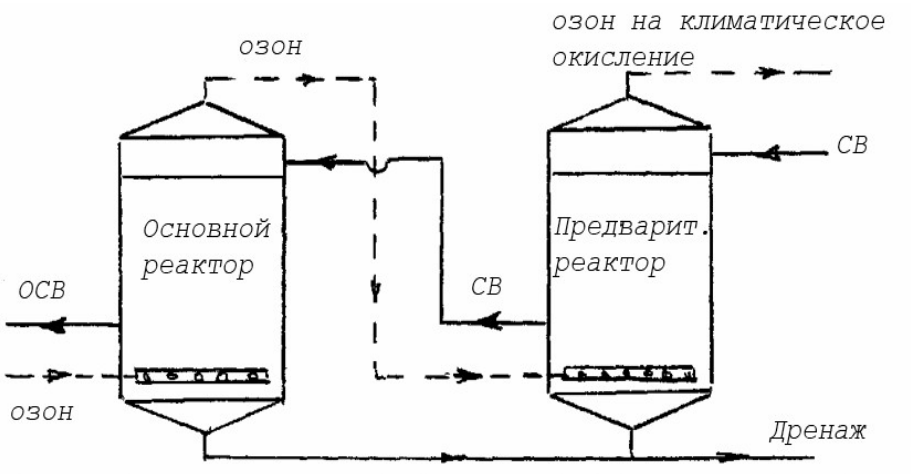


Рис. 72 Схема озонирования при двух последовательно работающих реакторах.

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 озоно–воздушной смеси, увеличить протяженность движения воды, ликвидировать застойные зоны. В каждой секции предусматривают устройства для измерения и регулирования расхода воды и озоно – воздушной смеси, стабилизации уровня воды и аварийного сброса.

Распределение озоновоздушной смеси в секциях в зависимости от озоностойкости окисляемых компонентов и озонопоглощаемости воды составляет 50–70% в первой по ходу воды и по 15–25% – в последующих секциях. Озоновоздушную смесь в массе воды распределяют с помощью фильтросных труб, располагаемых у дна резервуара. Расчет фильтрующих элементов для озоновоздушной 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. Основные методы химической очистки промышленных сточных вод.
2. Химическое окисление, его сущность, область применения.
3. Что используют в качестве окислителей?
4. Написать химические уравнения процесса окисления для обезвреживания циансодержащих сточных вод.
5. Составить уравнение химической реакции восстановления шестивалентного хрома до трехвалентного и его осаждения.
6. На чем основано электрохимическое окисление и когда применяется данный метод?
7. Озонирование. Схема установки.
8. Какие способы известны для введения озоно – воздушной смеси в обрабатываемую воду?
9. С какой целью применяется многоступенчатое озонирование?
10. Составить схему озонирования при двух последовательно работающих реакторах.

ЛЕКЦИЯ 11

Физико-химическая очистка производственных сточных вод

План лекции:

Коагуляция (гомокоагуляция, гетерокоагуляция).

Коагулянты, их получение, свойства. Уравнение гидролиза коагулянтов. (0,056; 2*ч*).

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, целюлозно−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, происходящий 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 (Σ – потенциал) равен сумме зарядов, находящихся в адсорбционном слое противоионов. Потенциал на границе адсорбционного слоя называется электрокинетическим потенциалом или дзета – потенциалом (ξ– потенциал).

На рис. 73 представлена схема строения мицеллы золя $Fe(OH)_3$, полученного вследствие гидролиза $FeCl_3$. 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.

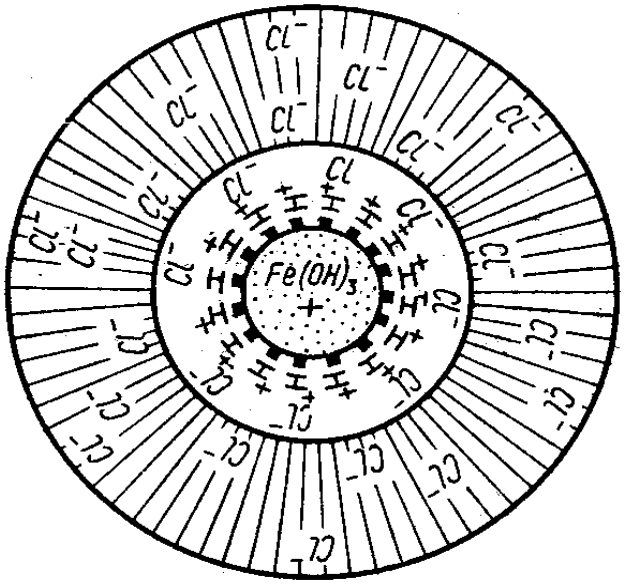


Рис. 73 Схематическое изображение мицеллы золя гидроксида железа (I I I) с положительно заряженной частичкой

Наличие у частиц электрических зарядов одного знака вызывает из взаимное отталкивание, мешает слипанию частиц. Одновременно между коллоидными частицами имеются молекулярные силы взаимного притяжения – силы Вандер – 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 ξ–потенциала, силы отталкивания уменьшаются и частицы слипаются. Для того чтобы силы взаимного притяжения между коллоидными частицами могли преобладать над электрическими силами отталкивания, ξ – потенциал должен быть меньше 0,03 в, с максимальной интенсивностью идет коагуляция, когда ξ – потенциал станет равным нулю.

Состояние коллоидной системы при ξ=0 носит название изоэлектрического состояния, а величина pH, отвечающая этому состоянию, называется

изоэлектрической точкой системы. Одним из методов снижения ξ – 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 ξ – 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 ξ – потенциала, иногда до ξ=0. Однако, альнейшее увеличение концентрации в растворе электролита может вызвать перезарядку коллоидных частиц, при этом заряд их может измениться на противоположный, а величина ξ – потенциала начинает увеличиваться, т.е. устойчивость золя коллоида возрастает.

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

$$MeA_n + пH_2O \leftrightarrow Me(OH)_n + пHA,$$

или в ионной форме

$$Me^{n+} + пH_2O \leftrightarrow Me(OH)_п + пH^+,$$

где Me^{n+} – катион; A^-–анион соли.

Скорость гидролиза можно описать уравнением

$$V = k_r [Me^{n+}] [H_20].$$

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 AI $(OH)_3$, 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. 13).

Таблица 13

Растворимость гидроксидов некоторых металлов (при t = 18 °С)

Гидроксид	Произведение растворимости	Растворимость	
		м моль/л	г/100 мл H_2O
Al $(OH)_3$	$1{,}9\cdot10^{-33}$	$2{,}9\cdot10^{-9}$	$2{,}26\cdot10^{-8}$
$Fe(OH)_2$	$6{,}3\cdot10^{-16}$	$4{,}9\cdot10^{-6}$	$4{,}40\cdot10^{-5}$
$Fe(OH)_3$	$3{,}8\cdot10^{-38}$	$2{,}0\cdot10^{-10}$	$2{,}13\cdot10^{-9}$

Приведенные в табл. 13 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 HCO_3^-, которые связывают ионы водорода, выделяющиеся при гидролизе:

$$H^+ + HCO_3^- = H_20 + CO_2.$$

Благодаря наличию в воде буферной системы HCO_3^- - H_2CO_3 с pH, близким к 7, pH воды при гидролизе коагулянтов в большинстве случаев изменяется незначительно.

По уравнению гидролиза коагулянтов можно вычислить концентрацию ионов HCO_3^-, необходимую для нейтрализации кислоты, образующейся при гидролизе определенной дозы коагулянта. Из суммарной реакции гидролиза $Al_2 (S0_4)_3$ в присутствии ионов HCO_3^-

$$Al_2 (S0_4)_3 + 3Ca (HCO_3)_2 + 6H_2O == 2Al (OH)_3 + 3CaS0_4 + 6H_2CO_3$$

следует, что на каждые 342 мг $Al_2 (S0_4)_3$ расходуется 6 мг-экв HCO_3^-.

В тех случаях, когда концентрация ионов 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 H^+ ионами OH^- извести, во втором – связыванием ионов H^+ ионами 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:

$$A1^{3+} + H_2O \leftrightarrow A1\ (0H)^{2+} + H^+;$$
$$Al\ (OH)^{2+} + H_2O \leftrightarrow Al\ (OH)_2^+ + H^+;$$
$$\underline{Al\ (OH)_2^+ + H_2O \leftrightarrow Al\ (OH)_3 + H^+;}$$
$$A1^{3+} + 3H_2O \leftrightarrow Al\ (OH)_3 + 3H+.$$

Степень гидролиза повышается с разбавлением раствора, повышением его температуры и pH. При коагулировании в кислых и нейтральных средах, содержащих небольшое количество гидрокарбонатов, для нейтрализации ионов H^+, накапливающихся в воде при гидролизе $Al_2(SO_4)_3$ можно применять смесь $Al_2 (SO_4)_3$ и $NaAlO_2$. В этом случае накапливающиеся ионы H^+ будут нейтрализоваться ионами OH^-, образующимися при гидролизе $NaAlO_2$:

$$AlO_2^- + 2H_2O \leftrightarrow Al\ (OH)_3 + OH^-.$$

Если в смеси выдержано необходимое соотношение между $Al_2(SO_4)_3$ и $NaAlO_2$, при гидролизе значение pH воды практически не изменяется и гидролиз обоих реагентов протекает достаточно полно.

Гидролиз гидроксихлорида алюминия $Al_2(OH)_5Cl$ протекает по уравнению $[Al_2(OH)_5]^+ + HOH \leftrightarrow 2Al(OH)_3 + H^+$.

Гидролиз $FeCl_3$ протекает в три стадии:

$$Fe^{3+} + H_2O \leftrightarrow Fe(0H)^{2+} + H^+;$$
$$Fe(OH)^{2+} + H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_2^+ + H^+;$$
$$\underline{Fe(OH)_2^+ + H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_3 + H^+;}$$
$$Fe^{3+} + 3H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_3 + 3H+.$$

Гидролиз железного купороса в воде выражается уравнением

$$Fe^{2+} + 2H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_2 + 2H^+.$$

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

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

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O = 4Fe(OH)_3.$$

Хлопья $FeCl_3$ наиболее интенсивно образуются при pH = 5–7, причем оптимум находится между значениями pH 6,1 и 6,5. Изоэлектрическая точка $Fe(OH)_3$ соответствует значению pH несколько большему, чем 6,5. Хлопьеобразование $Fe(OH)_3$, в отличие от $Al(OH)_3$, протекает в значительно более широком диапазоне значений pH.

Таким образом, коагуляции подвергаются не коллоидные примеси воды, а образующиеся при гидролизе коагулянтов гидроксиды. Вода очищается не в результате коагуляции, а вследствие адсорбции различных коллоидных и высокомолекулярных примесей на поверхности гидроксидов. Процесс коагуляции гидроксидов фактически приводит к удалению отработанного сорбента из очищенной воды.

В технологии очистки воды применяют в качестве коагулянтов соли алюминия и железа. Алюмосодержащие коагулянты представлены в табл.14

Таблица 14

Виды и состав алюминий содержащих коагулянтов

Коагулянт	Формула	Содержание, мас.%	
		Al_2O_3	нерастворимых примесей

Сульфат алюминия	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	>9,5	<23
Неочищенный	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	>13,5	<1
Очищенный	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	17-19	-
Гидроксихлорид алюминия (твердая форма) (жидкая форма)	 $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ $Al_2(OH)_5Cl$	 40-44 18	 — —
Алюминат натрия	$NaAlO_2$	45-55	6-8

Сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ – неочищенный. Получают этот коагулянт в результате обработки бокситов, нефелинов или глин серной кислоты. Он должен содержать не менее 9,5% Al_2O_3, или около 30% чистого $Al_2(SO_4)_3$. 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_2SO_4. В этом реагенте должно быть не менее 17% Al_2O_3, или 53% чистого $Al_2(SO_4)_3$.

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

Изоэлектрическая область для $Al(OH)_3$, в которой он имеет наименьшую растворимость, соответствует pH=6,5-7,8.

Гидроксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ может быть представлен как в твердой форме – в виде белого порошка, так и в жидкой, приготовляемой растворением свежеосажденного $Al(OH)_3$ в 0,5-1%-ом растворе HCl.

Преимущества гидроксихлорида в сравнении с $Al_2(SO_4)_3$:

—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^{0}C;

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

—исключение применения дополнительных реагентов, используемых для корректировки pH 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" прошел лабораторное и промышленное испытание, успешно используется водопроводными станциями г. Москвы, Владимира, Черкесска, ТЭЦ и др. потребителями.

"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; коррозийная активность воды при применении коагулянта снижается. Краткая характеристика основных продуктов представлена в табл. 15

Товарный вид марок: "Аква–аурат–10, –14, –18" – жидкости;

"Аква–ауарт–30" – сухой коагулянт.

Таблица 15

Краткая характеристика основных продуктов

	"Аква–аурат–10"	"Аква–аурат–14"	"Аква–аурат–18"	"Аква–аурат–30"
Массовая доля $A1_20_3$ %	10,0±0,6	13,6±0,5	17,0±0,5	30±2
Массовая доля CI, %	13,0±2,0	22,0±2,0	21,0±2,0	35±2
Плотность, г/см^3	1,24±0,02	1,33±0,03	1,36±0,02	0,85±0,05
pH	2,5±0,5	2,0±0,5	1,0±0,5	2,5±1,0
Основность	70,0±5,0	26,0±6,0	43,0±5,0	-
Температура замерзания, ^oC	-18	-20	-20	-

Алюминат натрия $NaAlO_2$ – это твердые куски белого цвета с перламутровым блеском на изломе; его получают при растворении $AlOH_3$ или Al_2O_3 в растворе NaOH. Товарный продукт содержит 55% Al_2O_3, 35% Na_2O и до 5% свободной щелочи NaOH. Растворимость $NaAlO_2$ – 370 г/л (при 200 °C).

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 $Al_2(SO_4)_3$. Так, в случае их использования улучшается коагуляция при низких температурах воды; на ход процесса почти не влияет pH среды; ускоряется осаждение с коагулированных частичек; сокращается длительность отстаивания, т.к. плотность хлопьев $Fe(OH)_3$ больше, чем хлопьев $Al(OH)_3$.

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

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

Этот недостаток в значительной мере можно устранить, добавив $Al_2(SO_4)_3$.

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 $Al_2(SO_4)_3$?
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?

ЛЕКЦИЯ 12

Флокуляция

Получение и свойства флокулянтов. Выбор коагулянтов и флокулянтов.

Интенсификация процесса коагуляции. (0,056; 2*ч*).

План лекции:

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

Крахмал представляет собой смесь двух углеводов: линейного полимера амилозы и сильноразветвленного полимера амилопектина. Его получают из клубней картофеля, зерен кукурузы, риса и др. растений в виде гранул, не растворяемых 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 «Флокатон» – флокулянты серии Флокатон; ПО «Оргсинтез» – катионный флокулянт КФ–91, ПО «Каустик» – флокулянты серии ВПК.

В научно–производственном объединении им. С.М. Кирова в рамках акрилатного комплекса разработана и освоена в промышленном масштабе биотехнология получения слабоконцентрированных (7–10%) и концентрированных (30–50%) водных растворов акриламида, на основе которых создается крупнотоннажное производство порошкообразных флокулянтов. Разработан ряд рецептур порошкообразных анионных флокулянтов марки Гидрокрил, полученных щелочным гидролизом полиакриламида, и катионных флокулянтов Камафлок, которые не уступают по эффективности их зарубежным аналогам – флокулянтам Praestol фирмы Stockhausen (Штокхаузен).

ОАО «Сорбент» приступило к производству флокулянтов класса полиамфолитов с торговым названием «Кама». Данные флокулянты позволяют

ускорить процесс хлопьеобразования до 2–5 мин даже в воде с температурой, приближающейся к нулю градусов, снизить дозу коагулянтов для очистки воды.

Химическая природа большинства флокулянтов, выпускаемых различными фирмами, мало отличается друг от друга. Наибольшее распространение получили флокулянты на основе акриламида, аминоалкиловых эфиров метакриловой и акриловой кислот, четвертичных аммониевых солей, солей акриловой и метакриловой кислот, полиаминов. Основными способами получения флокулянтов являются полимеризация и сополимеризация акриламида и ионогенных мономеров, полимераналогичные превращения.

Представляют интерес флокулянты на основе гуанидиновых мономеров, обладающие флокулирующей и обеззараживающей способностью, что позволяет исключить стадию хлорирования воды в процессах водоподготовки. К таким флокулянтам относится отечественный катионный полимер Фогуцид.

Молекулярная масса (ММ) флокулянтов, производимых различными фирмами, колеблется в широких пределах – от 300 тыс. до 20 млн. Например, флокулянты серии Praestol производятся с ММ от 6 млн. до 16 млн., серии Zetag и Magnafloc – до 20 млн.

Основность, характеризуемая чаще всего наличием и количеством ионогенных групп в макромолекулах флокулянта, может меняться от 0 до 100%.

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, Флокатон 200, Флокатон 100, КФ 91, ВПК 402. Из анионных флокулянтов используются флокулянты А 930, А 1510, гидролизованный 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.

В связи с тем, что в технологии водоподготовки широко используются

флокулянты в сочетании с коагулянтами получили распространение смешанные реагенты, в состав которых входят в определенном соотношении соли алюминия или железа и органический флокулянт . ОАО «Сорбент» при участии Пермводоканала и Пермэнерго разработал композиционный коагулянт-флокулянт на основе сульфата алюминия и полиакриламида марки СА-3Н-600, который позволяет упростить технологию водоочистки и повысить ее эффективность на станциях, не имеющих отдельного узла приготовления растворов флокулянтов.

В Великобритании запатентован смешанный флокулянт на основе солей алюминия или железа и катионных флокулянтов для очистки природных вод.

Флокулянты марки Праестол приведены в табл. 16.

Таблица 16

Флокулянты марки Праестол

Праестол	Ионоактивность	Насыпная плотность, кг/м^3	Вязкость, концентрация		Значение pH 0,1 вес % LW	Действия в области pH
			0,5 вес % DW, мПа·с	0,1 вес % DW, мПа·с		
2515 TR	слабоанионные	700	3000	400	7	3-8
2530 TR	среднеанионные	700	4000	500	7	6-10
2540 TR		700	5500	600	7	6-13
611 TR	слабокатионные	650	450	35	7	1-14
650 TR	среднекатионные	650	700	65	7	1-14

Активная кремниевая кислота (АК) – неорганический флокулянт коллоидный водный раствор оксида кремния (IV), получаемый частичной или полной нейтрализацией силиката натрия. Молекулы кремниевой кислоты, конденсируясь, выделяются из раствора в виде отрицательно заряженных коллоидных частичек. Механизм взаимодействия АК с $Fe(OH)_3$ и $Al(OH)_3$ объясняется либо взаимной коагуляцией разноименно заряженных частичек, либо взаимодействием её на сверхмицеллярную структуру, возникающую при обработке воды.

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. В осветлителях со взвешенным осадком эти вещества способствуют увеличению концентрации частичек во взвешенном слое и сокращению выно-

са из него взвешенных веществ при одновременном повышении скорости восходящего потока воды. Применение флокулянтов на фильтрах и в контактных осветлителях способствует продлению защитного действия загрузки, улучшению качества фильтрата, росту скорости процессов и относительному снижению расхода промывной воды.

Добавление небольших доз флокулянтов перед отстойниками и осветлителями интенсифицирует работу как этих сооружений, так и фильтров. Для стабилизации фильтрования флокулянты добавляют непосредственно перед поступлением воды на фильтры или в контактные осветлители.

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). Это объясняется изменением вязкости воды. Согласно литературным данным, вязкость воды при 1^0С примерно в 2 раза больше, чем при 30^0С. Во столько же раз замедляется и скорость осаждения взвешенных в ней частичек, так как по закону Стокса указанные величины обратно пропорциональны друг другу. Некоторые авторы объясняют это замедлением самого процесса хлопьеобразования, другие – замедлением скорости гидролиза сульфата алюминия и реакции его с гидрокарбонатами природных вод. При использовании гидроксихлорида алюминия возможна эффективная очистка воды в широком диапазоне температур, включая 0,5–8,0^0С. Подвижность коллоидных частичек в процессе коагуляции возрастает при перемешивании растворов. Так, при 20^0С 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. Движущийся поток жидкости влияет на процесс лишь тогда, когда частички уже достигли определенного размера в результате коагуляции при броуновском движении.

Если быстрое протекание коагуляции не может быть полностью восстановлено при низких температурах перемешиванием, то это свидетельствует о том, что в данном случае агрегаты частичек гидроксида не могут достичь размеров, при которых может появиться ортокинетическая коагуляция в результате действия потока.

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 необ-

работанной водой хлопья, сформировавшиеся в условиях повышенной концентрации коагулянта, хорошо удаляют примеси воды.

Метод не всегда дает положительные результаты, что объясняется изменением свойств обрабатываемой воды и загрязнений.

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, получаемойпри обработке мутных вод сульфатом алюминия; повышается степень очистки воды от органических и неорганических примесей фильтрованием.

Воздействие магнитного поля приводит к уменьшению структурно-механической гидратациии ξ–потенциала частичек. Сорбоционная емкость продуктов гидролиза коагулянтов по отношению к гуминовым веществам возрастает на 30–40%. При очистке 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^3 воды. Кооагуляции 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 уве-

личением частоты ультразвука возрастает скорость коагуляции; оптимальная продолжительность озвучивания составляет 1=3мин.

Действие ионизирующих γ–, β– и рентгеновскux 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 гидролизирующимися коагулянтами, расширяют сферу их применения. В качестве источников излучения чаше всего используют ^{60}Co и ^{137}Cs, реже ^{9O}Sr, ^{2O4}TI, ^{147}Eu и др.

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

Контрольные вопросы

1. Какие флокулянты используются в настоящее время в процессах очистки сточных вод и основные способы их получения?
2. Вкаких случаях экономически оправдано применение высокомолекулярных органических флокулянтов?
3. В чем выражаются основные характеристики органических флокулянтов?
4. В чем выражаются преимущества полиамфолитов “Кама”?
5. На какие группы можно разделить органические флокулянты?
6. Чем характеризуется основность флокулянтов?
7. В чем недостаток порошкообразных и гелеобразных флокулянтов?
8. Какие преимущества флокулянтов известны при их использовании?
9. Как можно интенсифицировать процесс коагуляции?
10. Чем объяснить влияние температуры на процесс коагуляции?

ЛЕКЦИЯ 13

Электрохимическое коагулирование

План лекции:

Процессы, протекающие при электролизе.
Гальванокоагуляция. Процессы, лежащие в основе метода очистки.
Особенности конструкций аппаратов, принцип работы. (0,056; 2*ч*).

Электрокаогуляция – 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 η – 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:

$$Al - 3e \rightarrow Al^{3+};$$
$$Al^{3+} + 3OH^{-} \rightarrow Al(OH)_3.$$

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:

$$Al - 3e \rightarrow Al^{3+};\ \ Fe - 2e \rightarrow Fe^{2+}$$
(анодное растворение);

$$Al^{3+} + 3OH^{-} \rightarrow Al(OH)_3;$$

$$Fe^{2+} + 2OH^{-} \rightarrow Fe(OH)_2;\ 4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3$$
(образование гидроксидов).

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

$$H^+ + 1e \rightarrow H;\ Fe^{3+} + 1e \rightarrow Fe^{2+}$$

(деполяризация мигрирующими ионами);

$$O_2 + 4e + 2H_2O \rightarrow 40H^-$$

(деполяризация нейтральными молекулами в щелочной среде);

$$O_2 + 4e + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$$

(в кислой и нейтральной среде)

или $Cl_2 + 2e \rightarrow 2Cl^-;\ Fe^{2+} + 2e \rightarrow Fe^o;\ Fe_3O_4 + H_2O + 2e \rightarrow 3FeO + 2OH^-$

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

$$RO + 4e + 4H^+ \rightarrow RH_2 + H_2O; \qquad R + 2e + 2H^+ \rightarrow RH_2$$

(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:

$$2Al + 6H_2O = 2AI\ (OH)_3 + 3H_2 \uparrow$$

благодаря значительному повышению значения pH (до 10,5-12,0) в прикатодном слое во время электролиза и растворения защитной пленки AI_2O_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 (H_2, 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. Например, железные электроды более восприимчивы к пассивации, чем алюминиевые. С ростом плотности тока увеличивается скорость химического растворения алюминия, и тем в большей степени, чем меньше его частота.

Большинство исследователей рекомендует плотность тока в пределах 0,5–20 мА/см^2, 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.

Известно, что для усиления действия электрода и снижения энергозатрат применяют асимметричный переменный ток. Асимметричный переменный ток – это импульсный ток специальной формы с различными величинами амплитуд и длительности положительных и отрицательных полярностей.

При электрообработке сточных вод с различной концентрацией органических загрязнений можно выбрать оптимальную форму тока, изменяя период T, длительность обратного тока $\tau_{обр}$, амплитуду импульсов $I_{пр}$ и $I_{обр}$. Энергия обратного тока (отрицательного импульса), используемая для разрушения поляризационной пленки, может быть выбрана минимальной. В этом случае будут минимальными энергозатраты при высоком эффекте очистки.

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

$$2A1^{3+} + 3O^{2-} \rightarrow Al_2O_3;$$
$$2Al + 3O \rightarrow Al_2O_3.$$

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:

$$Cl^- > Br^- > I^- > F^- > SO_4^{2-} > NO_3^- > PO_4^{3-}.$$

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

На основании исследований, проведенных на кафедре “Водоснабжение и водоотведение” Института градостроительства, управления и региональной экономики 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 Т, 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.

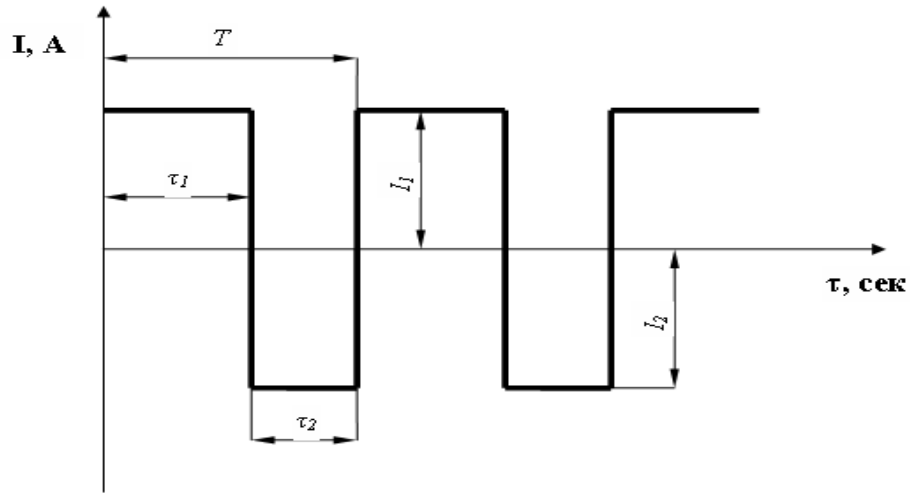


Рис 74. Форма тока: I_1 – амплитуда прямого тока, А; I_2 – амплитуда обратного тока, А; τ_1 – длительность прямого тока, сек; τ_2 – длительность обратного тока, сек; Т – период, сек; t – время контакта, сек.

При электрообработке нефтестоков 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.

Устройство для получения асимметричного тока было разработано на кафедре ВиВ ИГУиРЭ СФУ и содержит первый и второй силовые выпрямители 1,2, соединенные по выходу последовательно. Общая точка выпрямителей является одним из выходов устройства. Вторые выходы выпрямителей соединены с одними выводами контактов первого и второго контакторов 3,4, причем вторые выводы контактов обоих контакторов объединены и являются вторым выходом устройства, а также последовательно соединенных задающего регулируемого импульсного генератора 5, регулируемого делителя частоты 6 и регулируемого ждущего мультивибра 7, причем выходы регулируемого ждущего мультивибратора 7 соеденены с обмотками контакторов 3,4; 8 − контакт контактора 3; 9 − контакт контактора 4. (рис.75.)

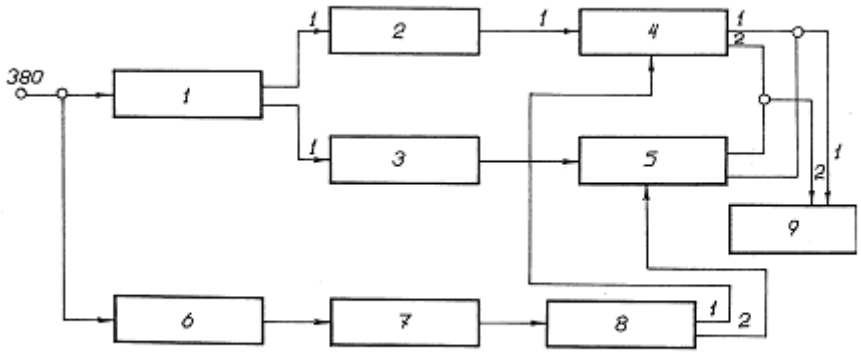


Рис.75. Структурная схема устройства для получения асимметричного тока.

На основании исследований проведенных на кафедре ВиВ ИГУиРЭ 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 $Al_2 (SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, растворение 1 г металлического железа – введению 4,8 г $FeCI_3 \cdot 6H_2O$ или 4,9 г $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$.

Метод электрокоагуляции обеспечивает высокий эффект удаления из воды загрязнений в виде взвесей минерального, органического и биологического происхождения, коллоидов (соединений железа, веществ, обусловли-

вающих 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^3/ч. 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 pH обработки – 2 - 4, скорость вращения барабана – 30–60 об/ч

Вращение барабана обеспечивает контакт стружки с воздузом и очищаеи её поверхность от продуктов реакции.

Для реализации гальванокоагуляционного метода разработаны аппараты различных модификаций.

Схема гальванокоагулятора представлена на рисунке 76

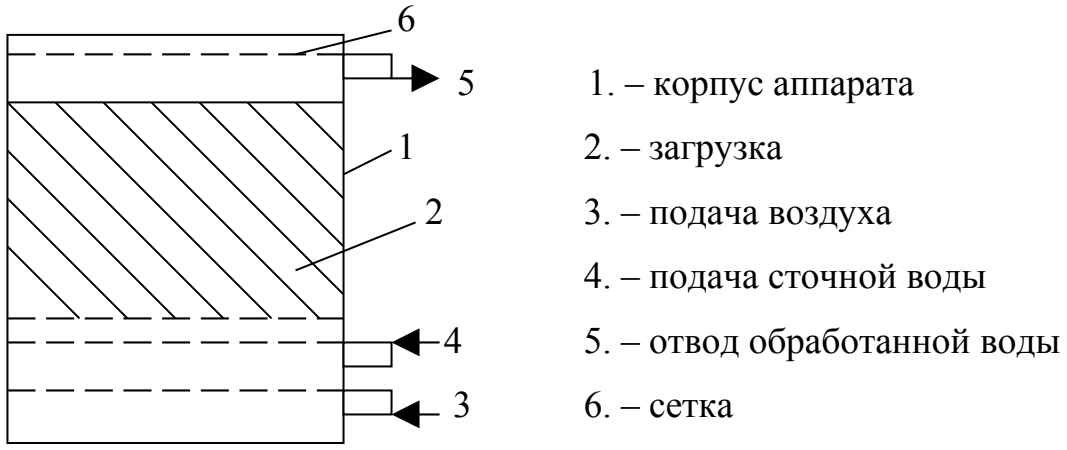


Рис. 76. Гальванокоагулятор содержит: корпус 1 с размещенной в нем загрузкой 2, из смеси железной стружки и материала, играющего роль «кислородного» электрода (активированный уголь). В нижней части корпуса осуществляется подача сжатого воздуха 3, через диспергатор, над которым расположена распределительная дырчатая перегородка и патру-

бок подачи сточной воды 4. Для предотвращения выноса загрузки в верхней части расположена сетка 6 и патрубок отвода отработанной воды 5.

Гальванокоагулятор работает следующим образом: сточная вода подается в аппарат снизу в патрубок 4, одновременно подают сжатый воздух через патрубок 3. 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:

$$Fe^{o}-2\bar{e}\rightarrow Fe^{2+}$$

На активной загрузке возможно протекание нескольких сопряженных реакций:

$$2H_2O+O_2+4\bar{e}\rightarrow 4OH^-$$

$$2H^++2\bar{e}\rightarrow H^2\uparrow$$

$$Cu^{2+}+2\bar{e}=Cu^{o}$$

$$Fe^{2+}+2OH=Fe(OH)_2$$

$$4Fe(OH)_2+O_2+2H_2O\rightarrow 4Fe(OH)_3$$

Контрольные вопросы

1. Сущность процесса электрокоагуляции.
2. как можно определить количество металла, растворяющегося в воде в результате электролиза?
3. Составить схемы реакций восстановления и окисления, протекающие при электролизе с использованием растворимых анодов.
4. Какие факторы влияют на процесс растворения анодов?
5. Как можно снизить пассивацию электродов?
6. Дать определение асимметричному переменному току и в чем преимущество его применения?
7. Сущность процесса гальванокоагуляции.
8. Вчем преимущества гальванокоагуляции?
9. Схема гальванокоагулятора и принцип работы.
10. В чем заключается механизм гальванокоагуляции, представить уравнение реакций, протекающих на электродах.

ЛЕКЦИЯ 14

Флотационная очистка

План лекции:

Назначение и классификация методов флотационной очистки по способу получения диспергированной газовой фазы (напорная флотация, импеллерная, электрофлотация).

Конструкции сооружений, принцип работы и технологические схемы. (0,055; 2*ч*).

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. 76) производительностью от 5 до 50 м^3/ч включает многокамерный флотатор, работающий с коагуляцией и рециркуляцией воды, резервуар–усреднитель, реагентное хозяйство, устройства для насыщения воды воздухом, перекачивающие насосы и др. элементы.

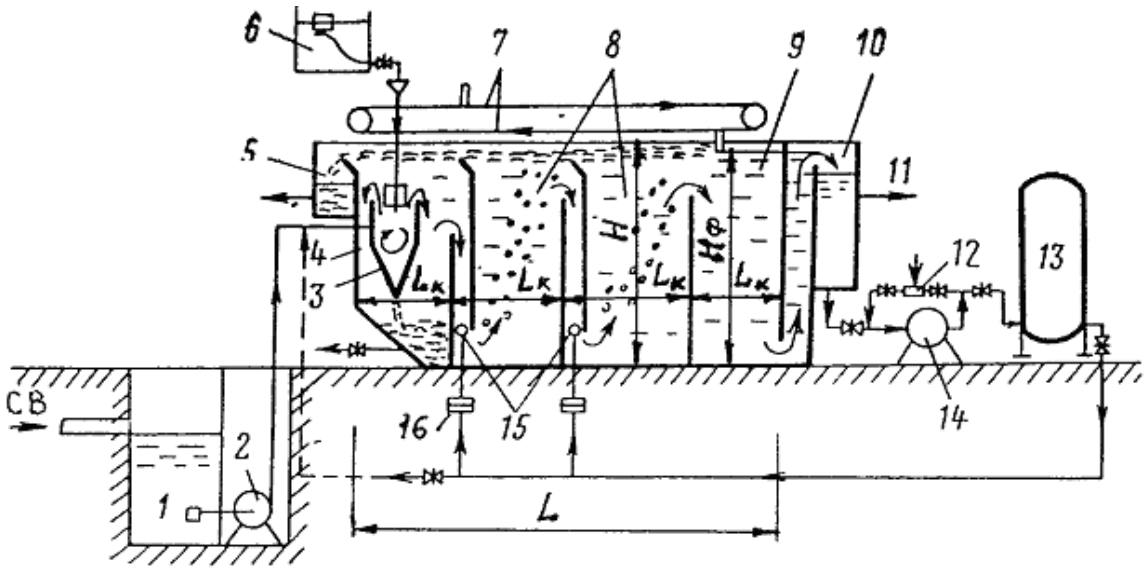


Рис. 77. Схема многокамерной флотационной установки: 1 – приемный резервуар; 2 – насос; 3 – безнапорный гидроциклон; 4 – камера грубой очистки; 5 – нефтесборный карман; 6 – бак с коагулянтом; 7 – скребки; 8 – камеры флотации; 9 – отстойная камера; 10 – карман для сбора очищенной воды; 11 – подача воды 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.

После усреднения в резервуаре–усреднителе сточная вода подается в вихревой смеситель, расположенный в камере грубой очистки флотатора. Сюда же из дозатора поступает раствор коагулянта и часть циркулирующей воды, насыщенной воздухом. Вихревой смеситель, работающий по принципу открытого гидроциклона, обеспечивает хорошее перемешивание и благоприятствует образованию хлопьев и их укрупнению. Хлопья коагулянта с адсорбированными на их поверхности грубодисперсными частицами загрязнений подхватываются пузырьками воздуха, выделяющимися из циркулирующей воды, и быстро поднимаются на поверхность.

Очищенная от грубодисперсных примесей вода поступает сначала в первую, а затем во вторую камеры флотации. Перед каждой камерой флотации к очищаемой воде через дырчатые распределительные трубы добавляется около 15–20 % циркулирующей воды, насыщенной воздухом.

Диафрагма, установленная перед дырчатыми распределительными трубами обеспечивает необходимый перепад давления для выделения растворен-

ного воздуха. Выделяющиеся в камерах флотации пузырьки воздуха адсорбируют на своей поверхности мелкодиспергированные и эмульгированные частицы загрязнений и поднимают их на поверхность воды. Таким образом, в многокамерном флотаторе процесс флотации повторяется трижды, что повышает эффект очистки воды. Пройдя очистку в камерах флотации сточная вода перетекает в отстойную камеру флотатора, где окончательно освобождается от мелких пузырьков воздуха с адсорбированными на них загрязнениями.

Из отстойной камеры вода отводится через щель под нефтеудерживающей полупогруженной перегородкой и сливается в сборный карман. Часть очищенной воды (30–50 %) забирается насосом и нагнетается в напорный бак. В процессе нагнетания воды она насыщается воздухом из атмосферы с помощью эжектора.

В напорном баке поддерживается давление 0,3–0,4 МПа, вследствие чего воздух растворяется в воде. Из напорного бака вода, насыщенная воздухом, поступает на рециркуляцию во флотатор. Загрязнения, всплывающие на поверхность воды во флотаторе в виде пены, сгребаются скребковым механизмом в нефтесборный карман, откуда удаляются на обезвоживание. Подогрев пены в кармане с целью облегчения ее удаления производится с помощью пара, циркулирующего по змеевику.

Флотатор монтируется на общей раме и устанавливается в закрытом отапливаемом помещении с вытяжной вентиляцией.

Флотаторы-отстойники (рис.78) 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.

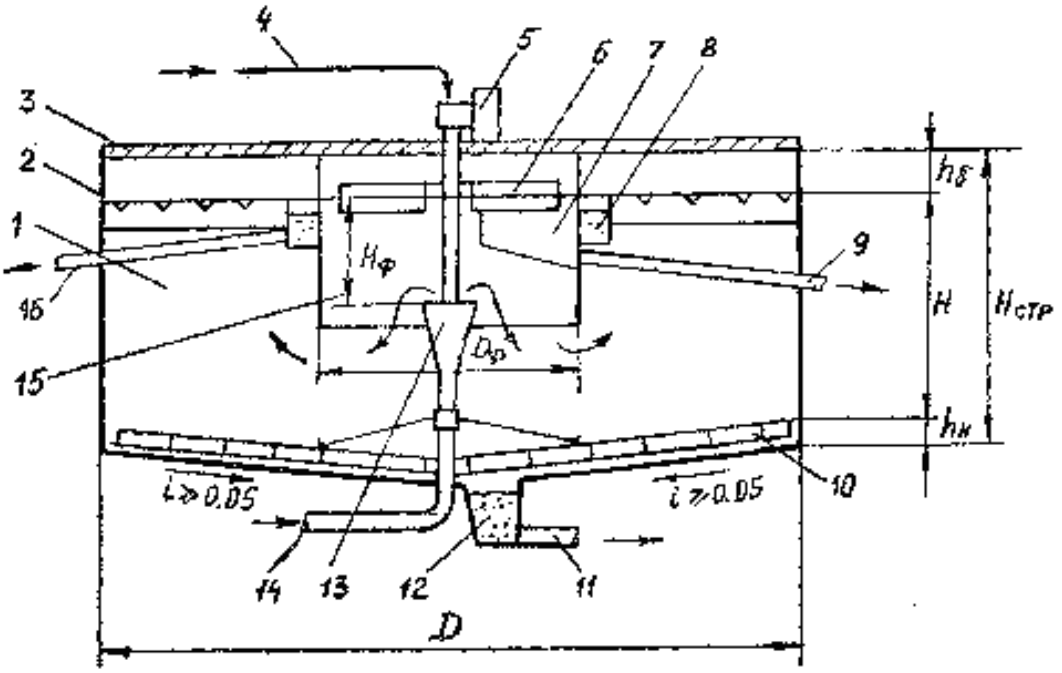


Рис. 78 Флотатор-отстойник: 1 – отстойная камера; 2 – водосборный лоток с зубчатым водосливом; 3 – мостик для обслуживания; 4 – трубопровод рециркуляционной воды; 5 – электропривод; 6 – верхние скребки для сбора всплывших загрязнений (пены); 7 – сборный карман для всплывших загрязнений (пены); 8 – кольцевой 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 подвесной камеры флотации, и отводится из него.

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

Радиальные флотаторы (рис. 79) используются для очистки больших объемов сточных вод (более 100 $м^3$/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.

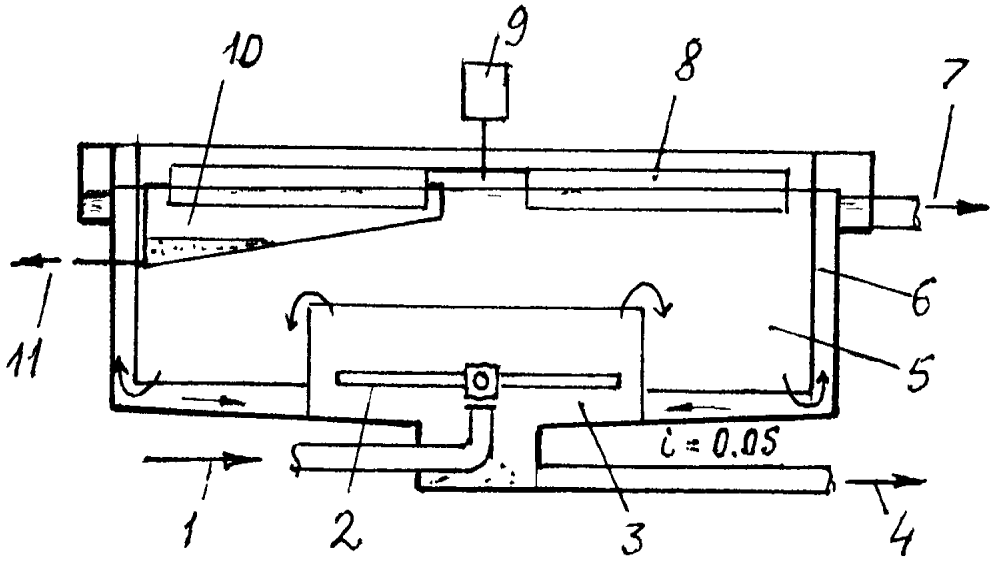


Рис.79 Радиальный флотатор: 1 – подача сточной воды; 2 – вращающийся водораспределитель; 3 – флотационная камера; 4 – отвод осадка; 5 – отстойная камера; 6 – кольцевая перегородка; 7 – отвод очищенной воды; 8 – пеносборные скребки; 9 – электропривод скребков; 10 – пеносборный лоток; 11 – отвод пены

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 ($В_{уд}$) составляет 10–40 $м^3$/ч на 1 $м^2$ 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. 80 *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 пеносъемниками.

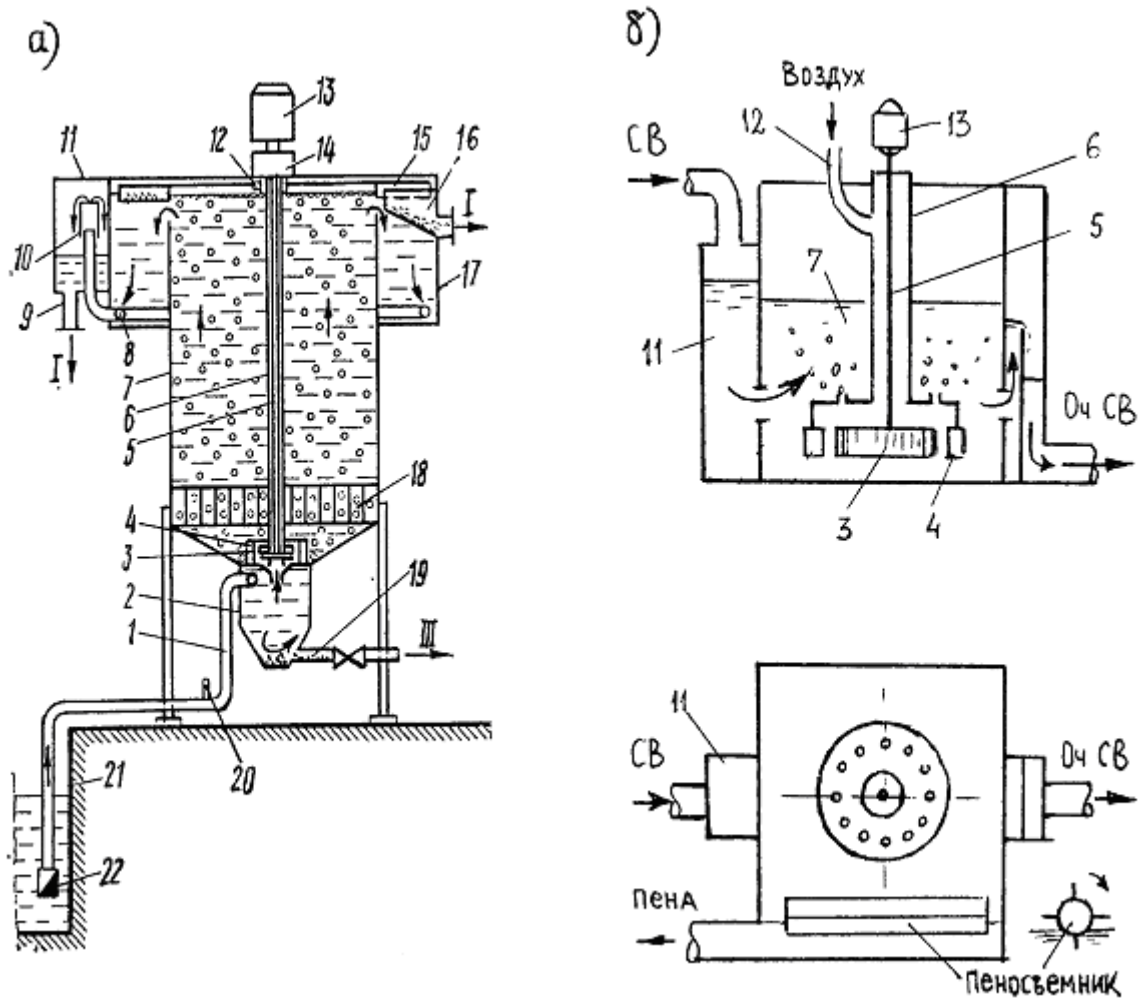


Рис. 80 Самовсасывающий пенный сепаратор (*а*), импеллерный флотатор (*б*): 1 – всасывающая труба; 2 – грязевой приямок; 3 – лопастное колесо; 4 – статор; 5 – вал; 6 – воздушная труба; 7 – флотационная камера; 8 – водосборный кольцевой трубопровод; 9 – отводящий патрубок; 10 – регулятор уровня; 11 – приемный карман; 12 – воздушный патрубок; 13 – электропривод; 14 - редуктор; 15 – скребки; 16 – пеносборный 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.81).

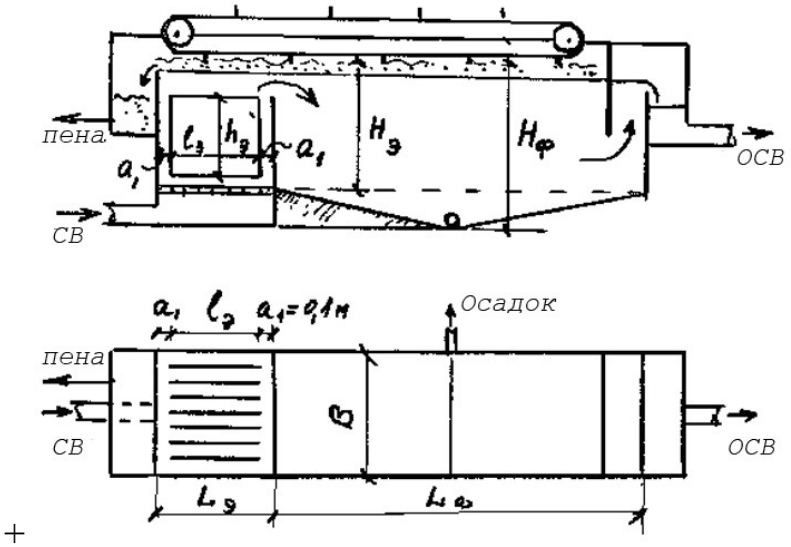


Рис 81 Схема электрофлотационной установки: 1 – электродный блок; 2 – камера флотации; 3 – скребок

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:

$$2H_2O + 2e = H_2\uparrow + 2OH^-$$
$$2H_2O - 4e = O_2\uparrow + 4H^+$$

Контрольные вопросы

1. Сущность флотационной очистки и когда ее применяют?
2. Какие способы диспергирования воздуха известны?
3. Схемы конструкций флотаторов – отстойников.
4. Сущность процесса электрофлотации и схемы установки.
5. Что включает многокамерная флотационная установка?
6. Принцип работы многокамерного флотатора.
7. Что представляет собой флотатор – отстойник и принцип его работы?
8. Когда применяется механическая (импеллерная) флотация и как при этом происходит насыщение воды пузырьками воздуза?
9. Когда используют радиальный флотатор?
10. Схема электрофлотатора, какие процессы протекают на электродах?

ЛЕКЦИЯ 15

Сорбционные методы очистки производственных сточных вод в статических условиях

План лекции:

Основные понятия и определения. Область применения.

Сорбенты, используемые для очистки сточных вод. Технологические схемы сорбционных установок (прямоточная с последовательным введением сорбента; с противоточным введением сорбента).

Принцип расчета (0,056; 2*ч*)

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 за - грязняющих 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 веще ства, в том числе и биологические, не удаляемые из нее другими мето дами. При использовании высокоактивных сорбентов воду можно очистить от загрязнений до практически нулевых остаточных концентраций. Сорб цию применяют и при небольших концентрациях загрязнений, когда дру гие методы очистки оказываются неэффективными и требуется глубокая степень очистки. В качестве сорбентов могут служить все мелкодис персные 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 вещест - вом. Сорбент должен обладать значительной механической прочностью и определенным гранулометрическим составом, а также легкой регенери - руемостью.

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

обусловливается 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 вмести мость, $см^3/г$, 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 $м^3$ 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 $A_{мах}$ – 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 псевдоожиженным 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 последовательном 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 сорбиционной очистки концентрацию сорбата можно определить из выражения

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

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

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

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

При применении многоступенчатой сорбиционной 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

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

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 за держания частиц, не выпадающих в осадок при отстаивании.

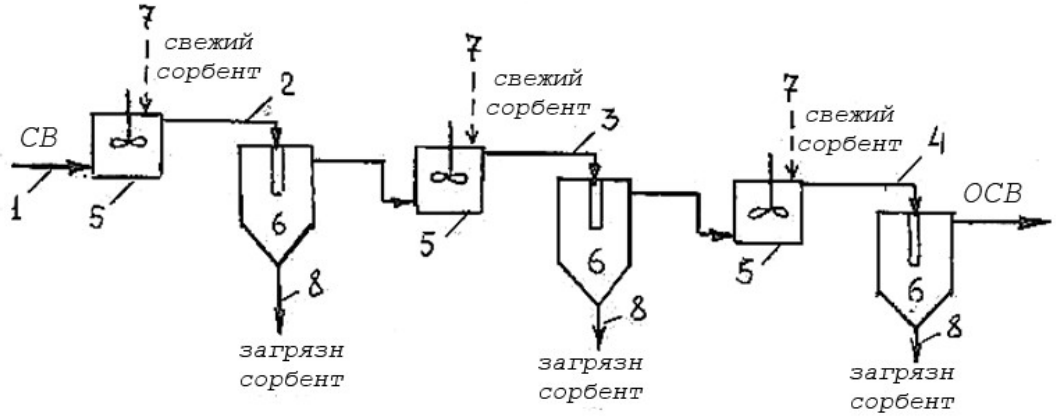


Рис.82 Схема трехступенчатой сорбционной установки с последовательным введением сорбента: 1 – подача неочищенной воды; 2, 3, 4 – вода после первой, второй и третьей обработки сорбентом; 5 – мешалки; 6 – отстойники для выделения отработанного сорбента от воды; 7 – ввод в воду чистого сорбента; 8 – отвод отработанного сорбента из воды

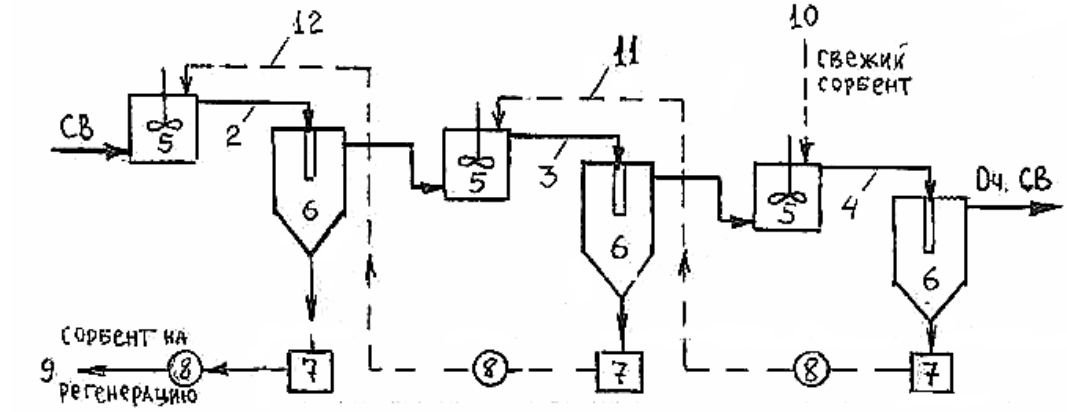


Рис. 83. Схема трехступенчатой сорбционной установки с противоточным введением сорбента:1 – подача неочищенной воды; 2, 3, 4 – вода после первой, второй и третьей обработки сорбентом; 5 – мешалки; 6 – отстойники для отделения отработанного сорбента от воды; 7 – приемники отработанного сорбента; 8 – насосы 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 моле-

кулами (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 поверхности 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.

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.

ЛЕКЦИЯ 16

Адсорбционная очистка производственных сточных вод в динамических условиях

План лекции:

Динамическая сорбция с неподвижным слоем сорбента. Особенности процесса и расчета аппаратов. Установки с подвижным слоем сорбента. Технологии и установки регенерации сорбента. (0,056; 2*ч*).

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).

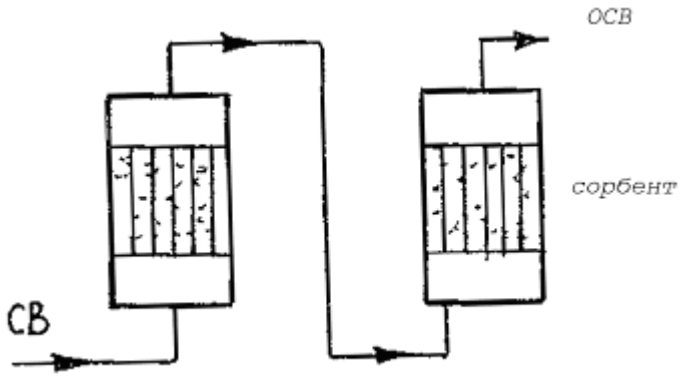


Рис.84 Схема адсорбционной очистки с неподвижным слоем сорбента.

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 слои 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,

$$V = (H - h)\, F\, a_д,$$

где H – высота слоя сорбента, м; h – эмпирическая константа; F – площадь фильтра, м^2; $a_д$ – динамическая активность сорбента, кг/м^3

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 уста-

новка 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_o 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; τ – 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. 85).

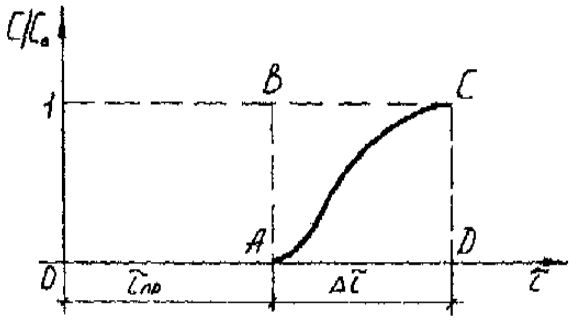


Рис. 85 Изотерма сорбции

Потеря времени защитного действия

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

где ε – пористость активного угля.

$$\varepsilon = 1 - б_н / б_к$$

(здесь $б_н$ – насыпная плотность АУ; $б_к$ – кажущаяся плотность АУ); t – время, в течение которого концентрация вещества в фильтрате изменяется от концентрации сорбата при допустимом проскоке $C_{д.п}$ до C_0.

2. Сорбция в псевдоожиженном 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 псевдоожиженном слое с расширением его в 1,5 раза ($H_{дин}$ / $H_{ст}$ = 1,5); контакт улучшается, процесс ускоряется. Чаще всего применяются одноступенчатые адсорберы с псевдоожиженном слоем.

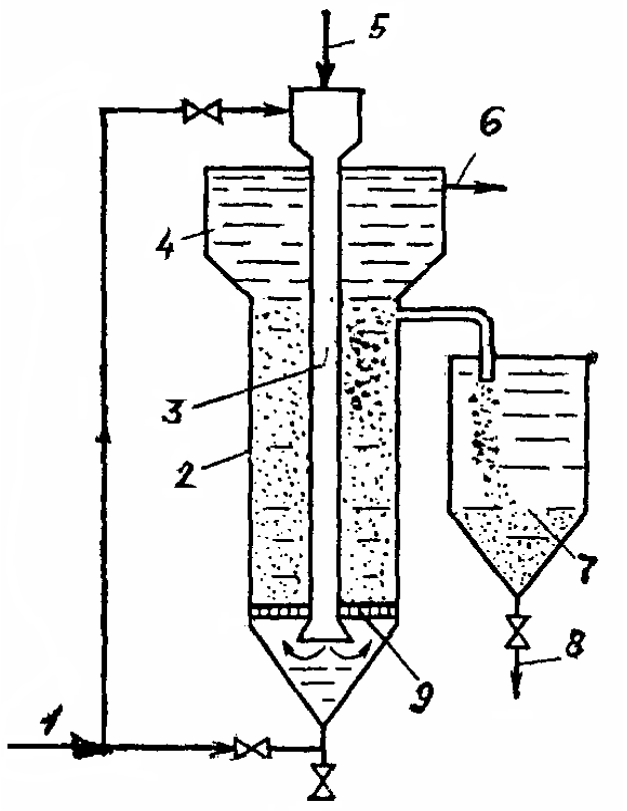


Рис.86 Одноступенчатый адсорбер с псевдоожиженным слоем сорбента:1 – подача сточной воды; 2 – псевдоожиженный слой сорбента; 3 – центральная труба с диффузором; 4 – зона отстаивания; 5 – подача сорбента; 6 – выпуск обработанной сточной воды; 7 – сгуститель сорбента; 8 – выпуск отработанного сорбента; 9 – распределительная решетка

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 газообраз-

ного теплоносителя; д) химическое превращение сорбированных веществ с последующей десорбцией. При деструктивной очистке обычно применяют термические методы (рис. 87).

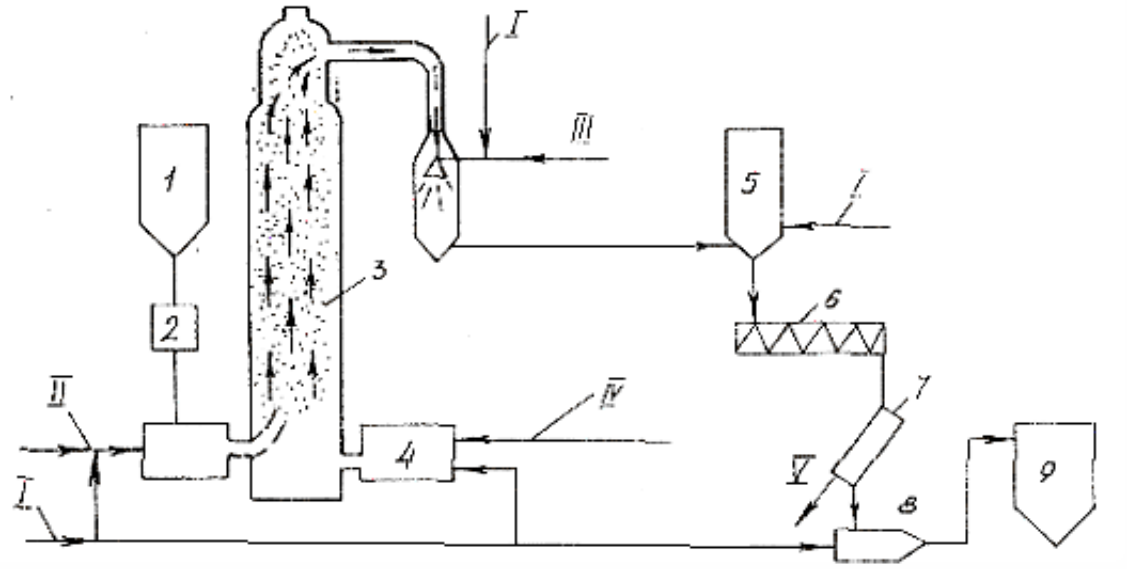


Рис.87 Установка термической регенерации высокодисперсного активированного угля: 1 – 1 У – трубопроводы для подачи воздуха , пара, воды и природного газа; У - трубопроводы для выпуска отходов; 1 – сборник отработанного угля; 2 – дозатор; 3 - регенератор; 4 – камера сгорания; 5 – сепаратор; 6 – шнек; 7 – фильтр; 8 – пневматический транспортер; 9 – сборник регенирированного угля

Контрольные вопросы

1. В чем преимущества сорбции в динамических условиях?
2. Сорбционная установка с неподвижным слоем сорбента и условия её применения.
3. Особенности расчета сорбционных фильтров.
4. Установка сорбционной очистки с подвижным слоем сорбента.
5. Принцип работы установки с псевдоожиженным слоем сорбента.
6. Как осуществляется регенерация сорбента?
7. Что представляет собой регенеративная сорбционная очистка сточных вод?
8. Установка термической регенерации сорбента.
9. Какие методы применяются придеструктивной очистке?
10. Как влияет уменьшение размера частиц активированного угля на процесс сорбции?

ЛЕКЦИЯ 17

Экстракционные методы очистки производственных сточных вод.

План лекции:

Условия применения экстракции.

Схемы экстракционной обработки (перекрестноточные, ступенчато-противоточные и непрерывно-противоточные).

Регенерация экстрагента (экстракционные установки для извлечения нитропродуктов из сточных вод бензолом).

Схемы дефеноляции сточных вод фенсольваном. (0,056; 2*ч*).

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. 88), ступенчато – противоточные и непрерывно – противоточные.

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

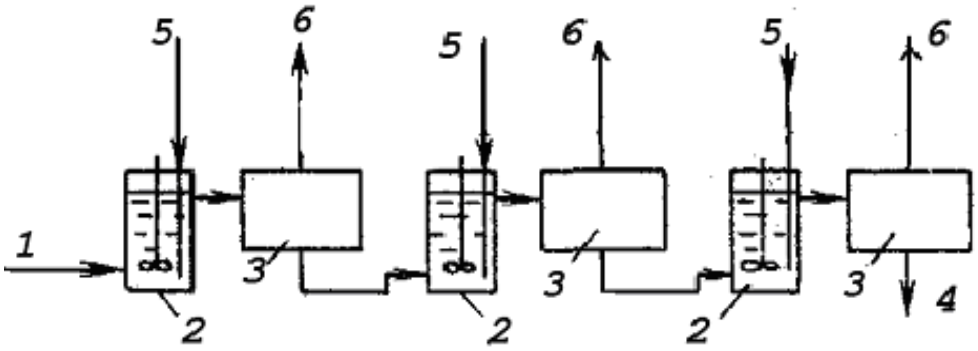


Рис. 88. Схема перекрестной многоступенчатой экстракции: 1–исходные сточные воды; 2 – экстрактор; 3 – отстойник; 4 – очищенные сточные воды (рафинат); 5 – экстрагент; 6 – конечный экстракт

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:

$$К = С_Э/С_В,$$

где $С_Э$ и $С_В$ – 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, диизоприловый 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. 89) . Это позволяет более полно использовать его экстрагирующую способность.

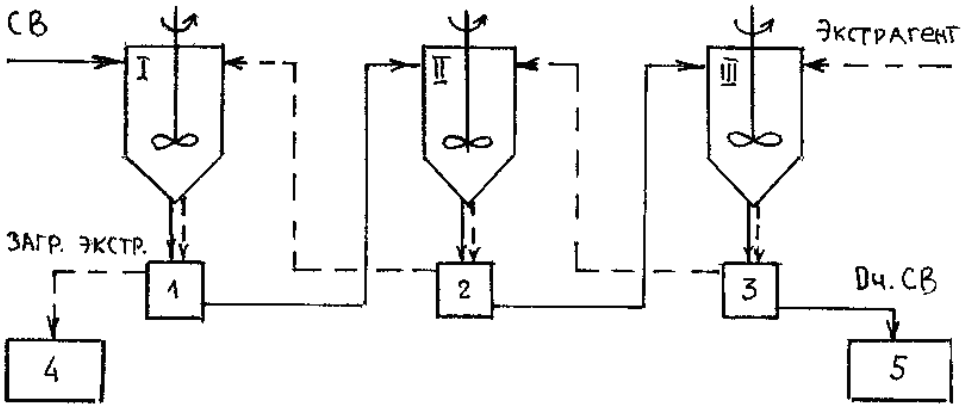


Рис.89. Многократная экстракция с противотоком: I, II, III – экстракторы; 1, 2, 3 – отстойники; 4 – сборник загрязненного экстрагента; 5 – сборник очищенной воды

В сточных водах производств нитропродуктов, например нитробензола, содержится 1,5–2,2% нитропродуктов и 0,25–0,5% свободной азотной кислоты. Нитропродукты экстрагируют бензолом.

В процессе экстракции азотная кислота нитрует бензол и ее концентрация в сточных водах снижается до 0,01–0,03%.

На рис. 90 представлена схема экстракционной установки для извлечения нитропродуктов из сточных вод.

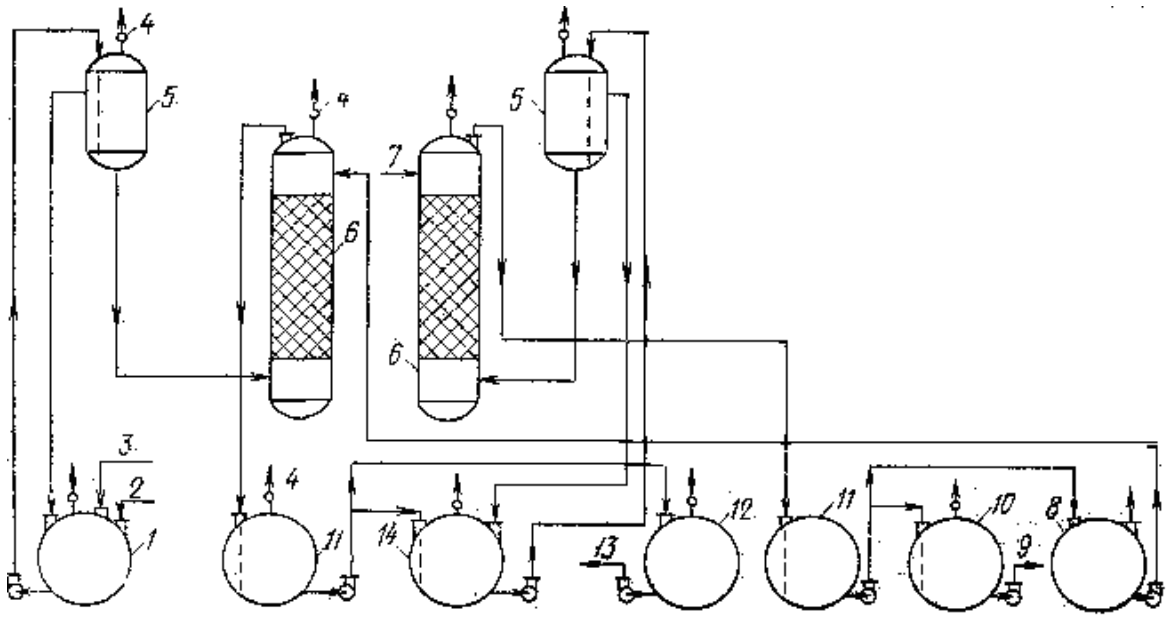


Рис. 90. Экстракционные установки для извлечения нитропродуктов из сточных вод бензолом 1 – емкость для исходного бензола; 2 – бензол после ректификации; 3 – бензол со склада; 4 – огнепреградитель; 5 – напорная емкость; 6 – экстрактор; 7 – исходные сточные воды; 8 – сборник сточных вод после первой стадии экстракции; 9 – конечный экстракт на ректификацию; 10 – сборник конечного экстракта; 11 –сепаратор первой ступени;12 – сборник очищенных сточных вод; 13 – очищенные сточные воды; 14 – сборник промежуточного экстракта

Экстракцию осуществляют в двухступенчатой, установке.

Сточные воды подают на верх экстракционной колонны первой ступени; в нижнюю часть колонны из напорной емкости подают промежуточный экстракт; смесь поступает в сепаратор первой ступени, где после отстаивания отделяют конечный бензольный экстракт, который принимают в сборник, а частично очищенную сточную воду в емкость, откуда ее подают на верх колонны второй ступени. В нижнюю часть колонны поступает из напорной емкости свежий бензол.

Смесь сточных вод и бензола направляется в сепаратор второй ступени. После отстаивания очищенные сточные воды сбрасывают из установки, а промежуточный экстракт бензола передают в сборник. Из сборника бензольный экстракт идет на разгонку в ректификационную колонку. Полученный после ректификации бензол возвращают в сборник для повторного использования, а выделенные нитропродукты (кубовый остаток) утилизируют.

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

Лучшими из перечисленных экстрагентов для извлечения фенола (одноатомного) являются этилацетат и н-амилацетат, а для пирокатехина (двухатомного фенола) – этилацетат.

Трудно поддающиеся очистке фенолсодержащие сточные воды, например, подсмольные воды полукоксования бурых углей, наиболее полно очища-

ются путем экстракции фенсольваном (бутилацетатом) либо трикрезилфосфатом.

Фенсольван – смесь сложных алифатических эфиров, трудно растворим в воде, но с высокой растворяющей способностью по отношению к фенолам. Коэффициент распределения для 2%-ного раствора фенола (карболовой кислоты) составляет 49.

Плотность фенсольвана 0,88 кг/м^3. Он выкипает в интервале температур 100–130°С.

После регенерации экстракционная способность фенсольвана полностью восстанавливается. Экстракция фенолов из сточных вод различными эфирами осуществляется по однотипной схеме.

Фенолсодержащие сточные воды охлаждают до оптимальной температуры обработки 20–25° С, продувают углекислым газом (дымовыми газами) для перевода фенолятов в свободные фенолы, а затем подают на экстракцию. Степень извлечения фенолов достигает 92–97%.

Остаточное содержание фенолов в очищенных сточных водах составляет до 800 мг/л. В большинстве случаев этого бывает достаточно для дальнейшего использования отечных вод.

При необходимости производят глубокую очистку от остаточных фенолов путем их окисления. На рис. 91 приведена принципиальная технологическая схема дефеноляции сточных вод фенсольваном.

Исходные стачные воды через холодильник подают в колонну для продувки дымовыми газами до pH=6÷ 6,5, затем сточные воды поступают в трехступенчатый противоточный экстрактор. Из первой ступени экстракт подают в ректификационную колонну, где отгоняют фенсольван. Пары фенсольвана конденсируют и направляют в сборник, а сырые фенолы подают на утилизацию. Обесфеноленные сточные воды, выходящие из последней ступени экстрактора, содержат некоторое количество фенсольвана. Для регенерации фенсольвана сточные воды продувают острым паром в регенерационной колонне, парогазовую смесь конденсируют, а затем разделяют в декантаторе. Регенерированный фенсольван сливают в общий сборник. Потери фенсольвана составляют 200 г/м^3 очищенных сточных вод. Сток через промежуточный сборник сбрасывают.

Доочистка сточных вод от фенолов возможна их окислением двуокисью марганца (пиролюзитом) в серной кислоте.

О способности различных фенолов к окислению можно судить по величине их окислительно-восстановительных потенциалов (редокс–потенциал), который составляет: для одноатомных фенолов 0,92 В, для м-крезола – 0,89 В, для о-крезола – 0,85 В, для п-крезола – 0,84 В.

Окисление фенола проходит по следующим химическим реакциям:

$$C_6H_5OH + 14MnO_2 + 14H_2SO_4 \rightarrow 6CO_2 + 17H_2O + 14MnSO_4;$$
$$C_6H_5OH + 14Mn_2O_3 + 28H_2SO_4 \rightarrow 6CO_2 + 34H_2O + 28MnSO_4$$

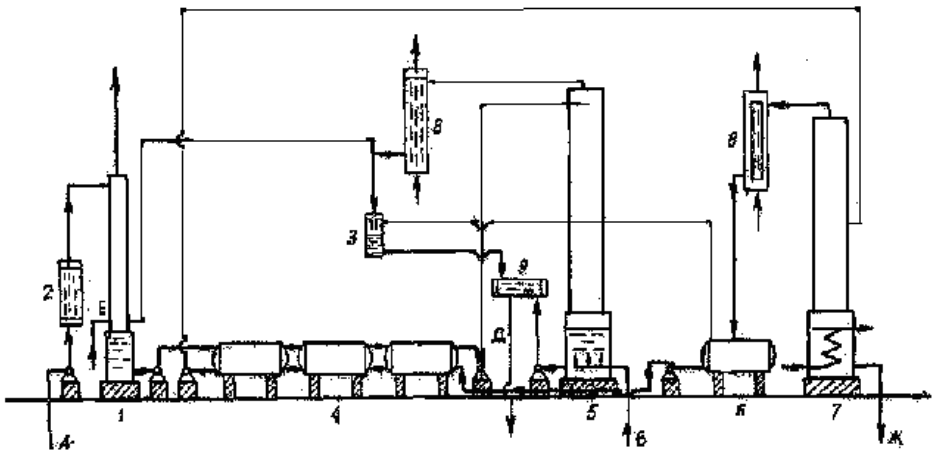


Рис. 91. Принципиальная технологическая схема дефеноляции сточных вод фенсольваном. А – фенолсодержащие сточные воды; Б – дымовые газы; В – отдувочные газы; Г– фенольный экстракт; Д – дефенолированная вода; Е – острый пар; Ж – сырые фенолы; 1 – колонна продувки фенольных вод углекислотой; 2 – холодильник; 3 –отстойник-декантатор; 4 – ступенчатая экстракция; 5 – ректификационная колонна; 6 – сборник фенсольвана; 7 – регенерационная колонна; 8 – конденсаторы; 9 – промежуточная емкость

Регенераций сульфата марганца осуществляют едким натром:

$$MnSO_4 + NaOH \rightarrow Mn(OH)_2 + Na_2SO_4$$
$$2Mn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2H_2MnO_3$$
$$H_2MnO_3 + Mn(OH)_2 \rightarrow Mn_2O_3 + 2H_2O$$

Схема установки доочистки сточных вод от фенолов окислением пиролюзитом представлена на рисунке 92

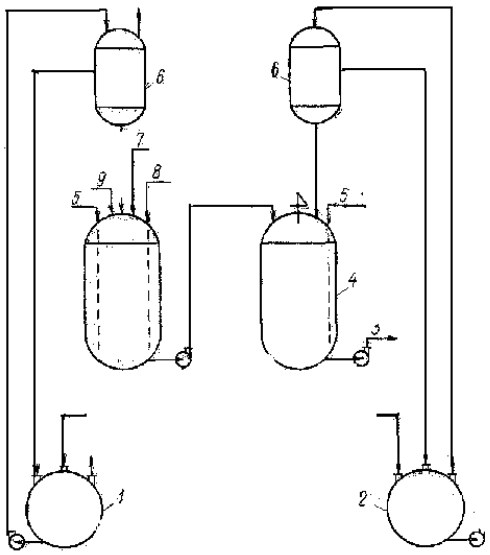


Рис. 92. Схема установки доочистки сточных вод от фенолов окислением пиролюзитом :1 – емкость для серной кислоты; 2 – емкость для едкого натра; 3 – суспензия на разделение;

4 – реактор-регенератор; 5 – сжатый, воздух; 6 – напорная емкость; 7 – исходные сточные воды; 8 – «острый» пар; 9 – пиролюзит

Сточные воды из цикла экстракции подают в стальной, футерованный реактор, снабженный свинцовыми барботерами для сжатого, воздуха и острого пара, затем при непрерывном перемешивании в реактор загружают серную кислоту до концентрации 20–25 г/л.

После этого в реактор также при перемешивании загружают пиролюзит. Затем массу нагревают острым паром и выдерживают в течение нескольких часов. На этом цикле обесфеноливание заканчивается.

Окислы марганца из обработанных сточных вод регенерируют в отдельном реакторе. К сточным водам добавляют раствор едкого натра, доводя pH среды до 9–9,5. Затем смесь продувают сжатым воздухом и по окончании цикла выводят из реактора. Полученную суспензию разделяют в отстойниках либо фильтрующих аппаратах, очищенную воду удаляют, а регенерированный пиролюзит возвращают для повторного использования.

Оптимальные условия дефеноляций: температура – 97–99^{0}С; расход серной кислоты –2,5–3,5 %; расход пиролюзита – 300% (от теоретического); продолжительность окисления – 4–6 ч. При указанных параметрах остаточная концентрация фенолов в сточных водах составляет 1–3 мг/л.

Непрерывная экстракция в одном аппарате по принципу противотока (рис. 93). 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.

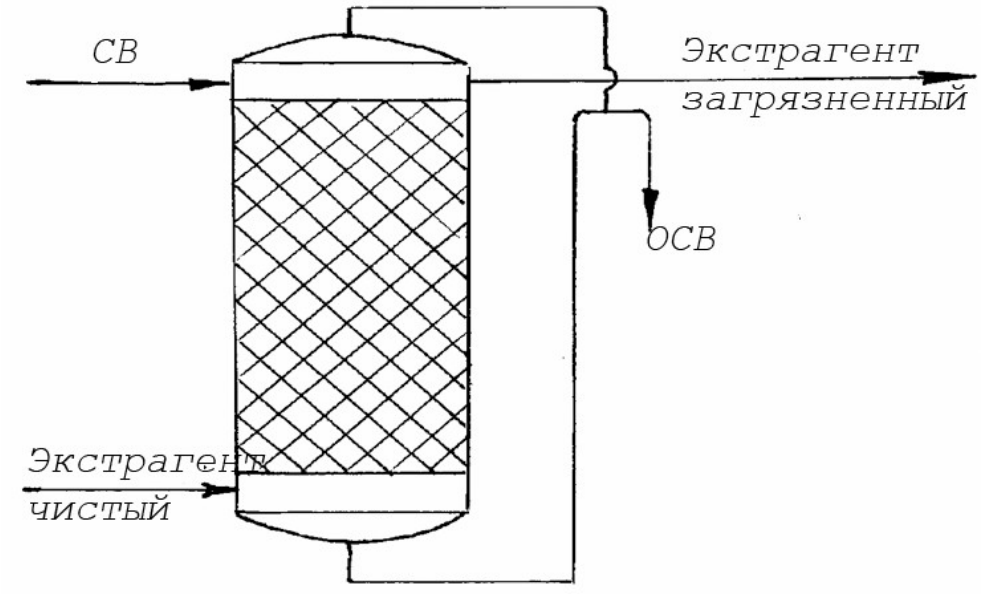


Рис. 93 Схема непрерывной экстракции с противотоком.

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, охладидельные устройства. 2. Установка экстракции – колонна для улавливания паров экстрагента и резервуары (сборники экстрагента). Конструкция экстрационной 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 экстракционного метода очистки, сущность процесса.
2. Какими свойствами должен обладать экстракт?
3. Что применяют в качестве экстрагента?
4. Что характеризует коэффициент распределения при экстракционной очистке?
5. От чего зависит эффективность процесса экстракции?

6. Схема перекрестной многоступенчатой экстракции.
7. Схема непрерывной экстракции с противотоком.
8. Схема экстракционной установки для извлечения нефтепродуктов.
9. Схема многократной экстракции с противотоком.
10. Что применяют в качестве экстрагентов для экстракции фенолов?

ЛЕКЦИЯ 18

Очистка производственных сточных вод методом ионного обмена

План лекции:

Процессы, лежащие в основе метода ионного обмена. Виды ионитов, важнейшие свойства ионитов.

Регенерация ионитов.

Схемы установок ионного обмена. (0,056; 2*ч*).

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 обменивающихся 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, гидрокиси 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 сульфагруппы и сильноосновные аниониты, содержащие четвертичные аммониевые основания;

2) Слабокислотные катиониты, содержащие карбоксильные COOH и фенольные группы, диссоциирующие при pH>7, а также слабоосновные аниониты, содержащие первичные и вторичные аминогруппы, диссоциирующие при 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^3 ионита до полного насыщения. Рабочая емкость ионита – количество находящихся в воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 м^3 ионита до начала проскока в фильтрат поглощаемых ионов. При соприкосновении с водой происходит на-

бухание 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 Н–форме или Na– форме, обмен катионов будет проходить по реакции,

$$Me^{+} + H[K] \rightarrow Me[K] + H^{+},$$
$$Me^{+} + Na[K] \rightarrow Me[K] + Na^{+}$$

где Me^{+} – катионы, находящиеся в сточной воде; К– сложный комплекс катионита. Сильнокислотные катиониты позволяют осуществять реакцию обмена при любых pH, а слабокислотные– при pH≥7.

Регенерация катионитов происходит при промывке кислотой (при Н катионите) или раствором NaCl (при Na–катионите):

$$2Me[K] + H_2SO_4 \rightarrow 2H[K] + Me_2SO_4$$
$$Me[K] + NaCl \rightarrow Na[K] + MeCl$$

Поскольку в сточной воды содержиться, 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

$$H^{+} < Na^{+}{}_4 < Mq^{2+} < 2Zn^{2+} < Ca^{2+} < Cu^{2+} < Cd^{2+} < Ni^{2+} <$$
$$< Ca^{2+} < Sr^{2+} < Pb^{2+} < Ba^{2+}$$

Слабоосновные аниониты поглощают анионы сильных кислот:

$$2[A]OH + H_2SO_4 \rightarrow [A]_2SO_4 + 2H_2O$$

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

$$SO_4{}^{2-} > NO_{3_} > CL^{-}$$

Регенерация слабоосновных анионитов достигается фильтрованием через слой анионита, 2–4%–ных водных растворов NaOH, Na_2CO_3 или NH_4OH.

$$[A]_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow 2[A]OH + Na_2SO_4$$

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.

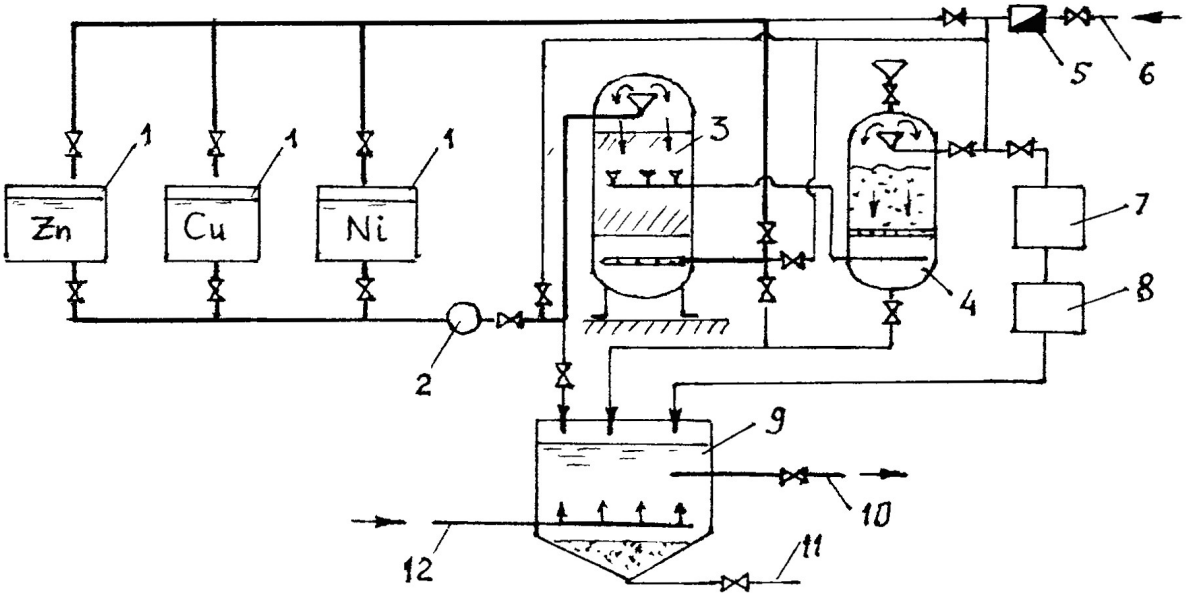


Рис. 94 Ионнообменный способ очистки оборотной воды от тяжелых металлов: 1 – ванна для промывки деталей; 2 – насос; 3 – натрий–катионитовый фильтр; 4 – солерастворитель; 5 – водомер; 6 – водопровод; 7 – бак раствора щелочи; 8 – дозатор раствора щелочи; 9 – емкость для нейтрализации стоков и осаждения 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. 94) 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 м^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 м^3 на 1 м^3 катионита, t_3 = 50 мин). Вода собирается в емкость 9.

Перспективным направлением является применение ионообменных аппаратов непрерывного действия (рис. 95), 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 ионнообменной 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 полом усеченном конисе 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.

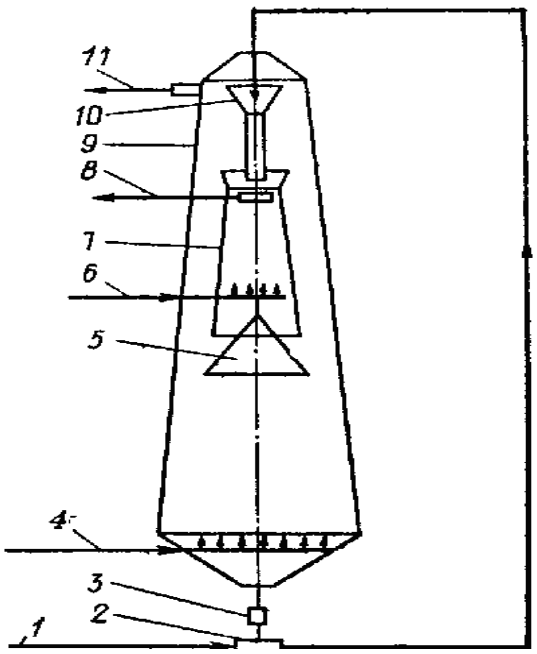


Рис. 95 Ионообменный аппарат непрерывного действия: 1 – подача рабочей жидкости для транспортирования ионита; 2, 3 – устройства соответственно для транспортирования и отбора ионита; 4 – подача сточной воды; 5 – регулятор скорости движения потока воды в регенераторе; 6 – подача регенерационного раствора; 7 – внутренний корпус для регенерации ионита; 8 – отвод послерегенерационного раствора; 9 – ионообменная колонна; 10 – воронка для приема отработанного ионита; 11 – выпуск очищенной сточной воды.

При повышении содержания солей в оборотном цикле (по сухому остатку) > 1500 мг/л производится продувка системы со сбросом до 3 % воды в емкость для нейтрализации. Безвозвратные потери пополняются водопроводной водой, конденсатом, дистиллятом. Регенерирующие растворы нейтрализуются едким натром или едким калием. Образующийся осадок гидроокисей утилизируется или вывозится в контейнерах в отведенные места.

Выбор схемы ионообменной очистки и обессоливания сточных вод производится в зависимости от назначения установки, состава и расходов сточных сод, 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. 96 *а*).

Для более глубокой очистки сточных вод от анионов слабых кислот (боратов, силикатов) применяют схему с одноступенчатым Н–катионированием и 2–ступенчатым анионированием (рис. 96 *б*). На первой ступени анионирование производится с использованием слабоосновных анионитов, на второй ступени используются сильноосновные аниониты.

Для обессоливаиия 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. 96*, 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 (риг. 96, *г*).

В ряде случаев для стабилизации показателя pH 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 (рис. 96, *д).*

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 96 *е*).

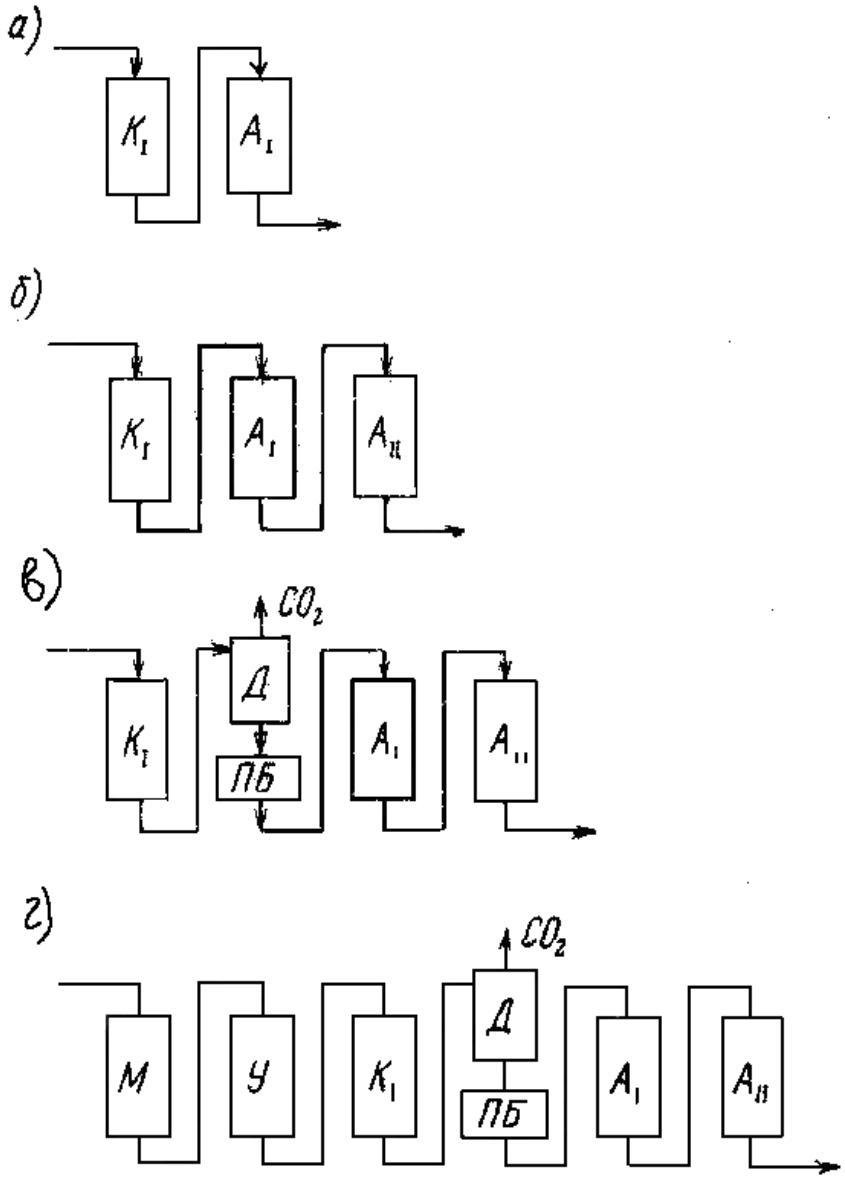


Рис. 96. *а)* – одноступенчатая схема для очистки и частичного обессоливания сточных вод: *б*) – схема очистки и полного обессоливания сточных вод с двухступенчатым анионированием; *в*) – схема очистки и полного обессоливания сточных вод с двухступенчатым катионированием и двухступенчатым анионированием ; *г*) – схема очистки и полного обессоливания сточных вод с двухступенчатым анионированием, удалением углекислоты дегозацией и предочисткой на механических и сорбционных фильтрах: $К_I$ и $К_{II}$ – Н – катионовые фильтры I и II ступени; $А_I$ и $А_{II}$ – ОН –анионитовые фильтры I и II ступени; Д - декарбонизация; ПБ – промежуточный бак; М – механические фильтры; У – сорбционные фильтры; Ф – фильтры смешанного действия (ФСД).

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 псевдоожиженным слоем ионита?
10. Составить схемы установок ионного обмена.

ЛЕКЦИЯ 19

Применение электродиализа и гиперфильтрации для обессоливания производственных сточных вод

План лекции:

Электродиализ. Электродиализные аппараты. Схемы электродиализных установок. Применение мембран обессоливания. (0,056; 2*ч*).

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

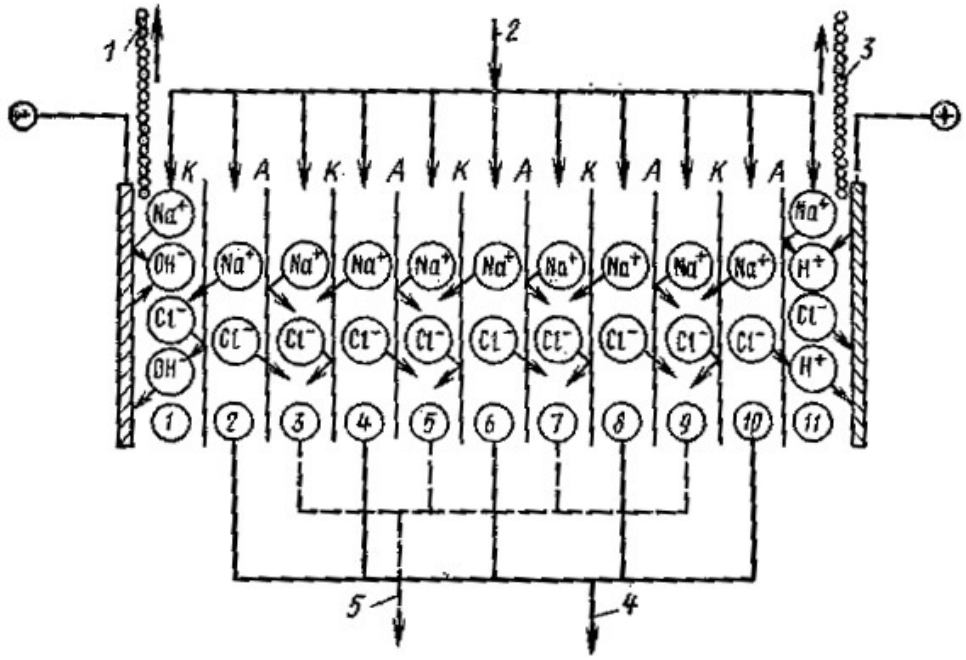


Рис 97. Схема процесса электродиализа (цифры в кружках – номер камер) А - анионитовые мембраны; к – катионитовые мембраны; 1 – выход газообразного водорода; 2 – подача сточной воды; 3 – выход газообразных кислорода и хлора; 4 – выпуск обессоленной воды; 5

– 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 ка-тионитовыми. В результате этого из одного ряда камер (например, четных) ионы обоих знаков выводятся в смежный ряд камер (рис. 97).

Мембраны для электродиализатора изготовляют в виде гибких листов прямоугольной формы или рулонов из термопластичного полимерного связующего и порошка ионообменных смол. В табл. 18 приведены основные свойства ионитовых мембран, выпускаемых отечественной промышленностью.

Таблица 18

Основные свойства ионитовых мембран

Марка	Толщина, мм	Ионообменная емкость, мг-экв/г	Селективность в 0,1 н. растворе NaCI	Электрическое сопротивление, Ом/см^2		Прочность на разрыв, МПа
				Удельное	Поверхностное	
Анионитовые мембраны						
Ма-40	0,5-0,7	3-4,4	0,94	200-250	12-17	12-13
Ма-100	0,3	2-2,3	0,97	150-180	3,5-6	12-14
А-4	0,6	3,5	0,93	—	—	—
РМА	0,1	5	0,96	104	1	8
Катионитовые мембраны						
МК-40	0,4-0,7	2,3-2,5	0,96	180-203	9,8-16,2	12-15
МК-100	0,3	2,5-2,8	0,97	120-150	2,4-5	12-15
К-2	0,:-0,7	2	0,96	—	—	—
РМК-10	0,3	1,9	0,86	208	13	13

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^3/ч. Электродиализаторы лабиринтного типа (Э–400М, ЭДУ–2, ЭДУ–1000, АЭ–25) имеют вертикальную ось электрического поля; их пропускная способность 1–25 м^3/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^3 сточных вод считается рациональным применение технологических схем прямоточного типа.

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

Обратный осмос (гиперфильтрация) 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

$$P_{осм} = CRT$$

где $P_{осм}$ – осмотическое давление, Па; C – концентрация моль/м^3,

$$C=\frac{концентрац\quad ия, кг/м^3}{молярнаяма\quad сса, кг/моль};$$

R – универсальная газовая постоянная, *R* – 8.314 Дж·К/моль; Т – температура , °К.

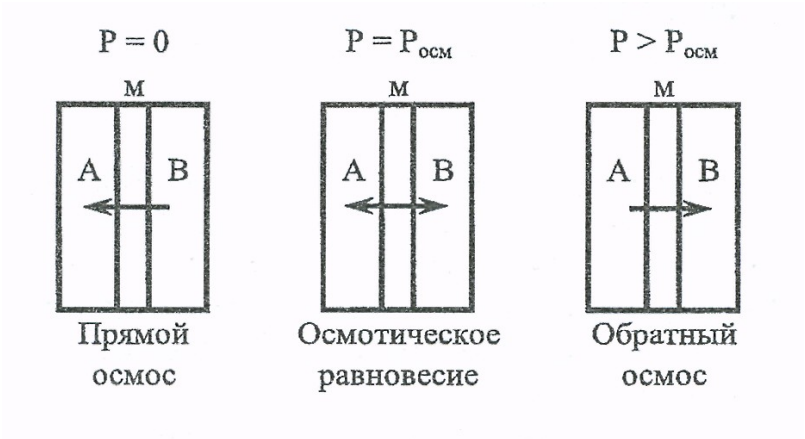


Рис. 98. Схема осмотического процесса: А – раствор; В – вода; Р – давление перед мембраной; $P_{осм}$ - осмотическое давление раствора

Как видно из рис. 98, для производства обессоленной воды из соленой необходимо превысить осмотическое давление раствора. При содержании солей несколько граммов на литр это 5–15 бар, а для морской воды с концентрацией солей 35–45 г/л 50–80 бар.

Таким образом, при выделении растворенных примесей (например, солей) при доочистке воды или сточных вод требуется преодолеть гидравлическое сопротивление мембраны и осмотическое давление, которое может значительно возрастать в результате процесса концентрационной поляризации.

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:

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

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

Расход воды при увеличении температуры на каждые 15°С 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; ΔC – 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. 99) исходная сточная вода (раствор) под давлением Р проходит мембрану и собирается в приемнике.

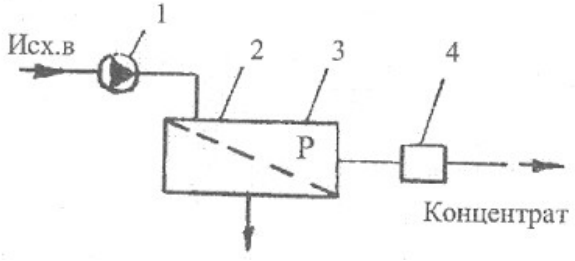


Рис. 99. Схема процесса очистки воды методом обратного осмоса: 1 – насос; 2 – мембранный модуль; 3 – полупроницаемая мембрана; 4 – редукционный клапан

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, $м^3/м^2 \cdot сут$;

– 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...8 МПа, температуру T ≤ 30 °C и pH = 3...8. Пропускная способность (проницаемость) этих мембран составляет соответственно 0,6; 0,35 и 0,25 $м^3 м^2 \cdot сут$. При монтаже промышленных установок для обессоливания воды мембранные модули соединяют по параллельной схеме для большинства установок сравнительно малой производительности (рис. 100 *а*) последовательно (рис. 100 *б*), когда надо увеличить выход фильтрата (до 70–90 %). Для производства ультрачистой воды модули устанавливают последовательно в две ступени. При этом очищенная на I ступени вода подастся высоконапорным насосом на II ступень.

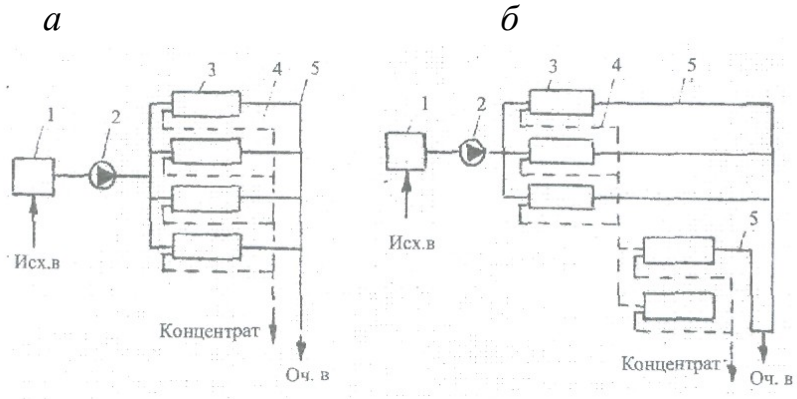


Рис. 100. Схема параллельного (*а*) и последовательного (*б*) соединения модулей: 1 – фильтр; 2 – насос высокого давления; 3 – мембранные модули; 4 – отвод концентрата; 5 – отвод обессоленной воды (фильтрат)

Обратным осмосом можно в одну ступень обессолить морскую воду до качества питьевой, что позволяет процессу обратного осмоса конкурировать с термическими способами обессоливания (дистилляцией) тем более, что этот метод значительно проще и дешевле. Так, при давлении 6 МПа, и $К_ф$ = 25% обработка морской воды, предварительно подкисленной кислотой, при исход-

ном содержании солей до 33 г/л, позволяет получить солесодержание очищенной воды 190 мг/л. Этим способом можно удалить следы солей и растворенной органики после физико-химической, биологической или адсорбционной очистки.

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

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

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

$$S_{к} \approx \frac{100}{100 - K_{ф}} \cdot S_{исх}$$

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

Для обратного осмоса (гиперфильтрации) рабочее давление обычно составляет от 5 до 80 бар, а удельный выход фильтра $q_{уд}$ = 10...40 л/м^2 ч. Для нанофильтрации 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, $q_{уд}$ = 5О...1000 л/м^2-ч.

Преимущества нанофильтрации по сравнению с гиперфильтрацией:

–пониженные значения Δ $P_{осм}$ и энергопотребления;

–более экономичны для частичного обессоливания с обеспе чением необходимого умягчения воды;

–обеспечивается очистка от органических загрязнений (обес цвечивание, удаление пестицидов и т.п.) при меньшей опас ности забивания мембран.

По сравнению с традиционными способами обработки воды методы гиперфильтрации и нанофильтрации обладают рядом преимуществ:

–энергозатраты относительно не велики;

–установки просты и компактны;

–химикаты не применяются;

–не требуется высокой квалификации обслуживающего пер сонала;

–фильтрат может использоваться по оборотной схеме;

–ввиду уменьшения объема концентрата он может быть лег ко 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. Сущность и схема процесса электродиализа.
2. Типы электродиализных аппаратов.
3. Схема процесса электродиализа.
4. Какие типы электродиализных аппаратов применяются?
5. Назначение обратного осмаса (гиперфильтрация).
6. Схема осмотического процесса.
7. Что выражает закон Вант-Гоффа ?
8. От чего зависит эффективность процесса очистки методом обратного осмоса?
9. Какие мембраны применяются при гиперфильтрации?
10. В чем преимущества нанофильтрации по сравнению с гиперфильтрацией?

ЛЕКЦИЯ 20

Биологическая очистка производственных сточных вод

План лекции:

Общие принципы применения биологических методов очистки промышленных сточных вод. Технологические схемы.

Конструкции сооружений (аэротенки – вытеснители, аэротенки – смесители, аэротенки – отстойники, фильтртенк). (0,056; 2*ч*).

Билогическая очистка производственных сточных вод для удаления из воды растворенных органических веществ. Наиболее часто применяют 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, применяемым для 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 (окислении, 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

$$П_р = К(ХПК - БПК_{полн}),$$

где *Пр* – прирост биомассы активного ила в аэротенках, рассчитанных на полную очистку; *К* – коэффициент пропорциональности, характеризующий количество ила; для промышленных сточных вод *К* = 0,1–0.9, или уравнением

$$П_р = \frac{ХПК_н - ХПК_0 - БПК_н - БПК_0}{r} - a$$

где $ХПК_Н$. $ХПК_0$ – химическая потребность кислорода соответственно в неочищенной и очищенной воде; $БПК_Н$, $БПК_0$ – биологическая потребность кислорода соответственно в неочищенной и очищенной воде; *а* – убыль биомассы активного ила вследствие 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 удале-

ние 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 ре-гулирование 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 длительный 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 микробиального 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. Эффектными 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 6^0С и не выше 40^0С.

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$м^3/ч$ на $1м^2$ площади аэратора (в плане).

Расход воздуха на 1м^3 аэрируемой жидкости составляет 0,3-0,5м^3. 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.);

• $БПК_{20}$ сточной воды не должно быть очень большим ($БПК_{20} \leq 1000$ мг/л);

• оптимальное pH = 7...8 (допускается pH = 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 ≤ 5 мг/л; медь ≤ 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 pH среды, охлаждения.

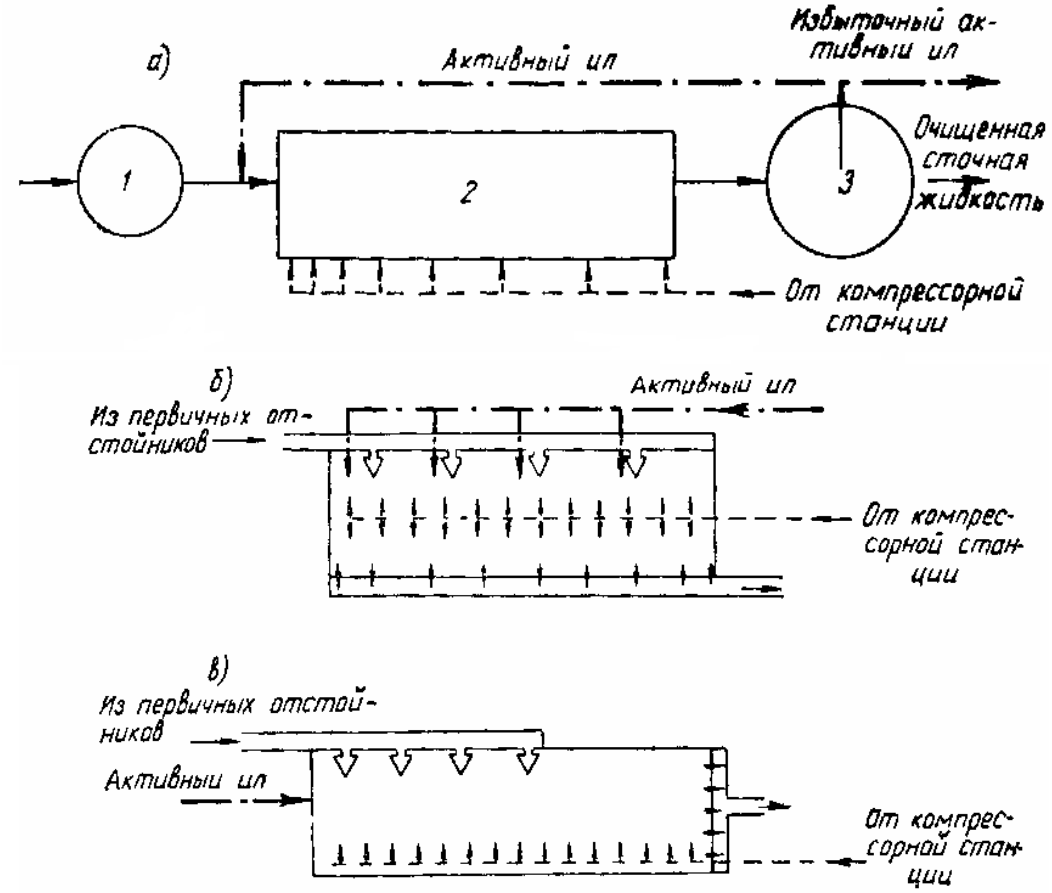


Рис. 101 Схемы аэротенков: а–аэротенк – вытеснитель с рассредоточенной подачей воздуха; б–аэротенк-смеситель с рассредоточенной подачей сточной жидкости и активного ила; в–аэротенк-смеситель с рассредоточенной подачей сточной жидкости; 1–первичный отстойник; 2–аэротенк; 3– вторичный отстойник

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 промышленных 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 $БПК_{20}$ < 500 мг/л, применяют обычные аэротенки–вытеснители (АВ); при $БПК_{20}$ > 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. Аэротекнки–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 $БПК_{20} < 500$ мг/л. Иногда для выравнивания скорости окисления органических веществ в аэротенках – вытеснителях предусматривается дифференцированная подача воздуха.

Преимущества аэротенков–вытеснителей по сравнению с аэротеками–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 БПК20 до 1000 мг/л.

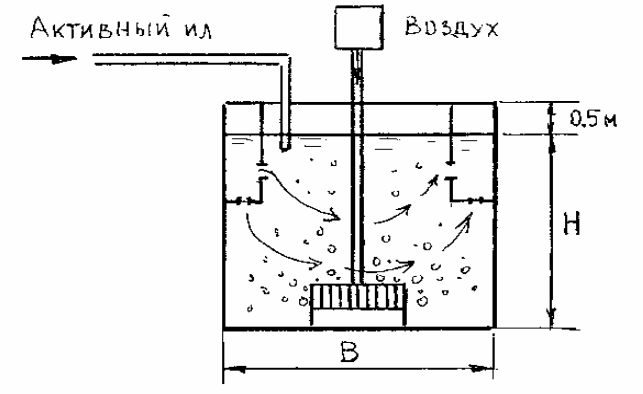


Рис. 102. Аэротенк – смеситель (поперечное сечение)

Для высококонцентрированных сточных вод (при $БПК_{20} \geq 1000$ 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.

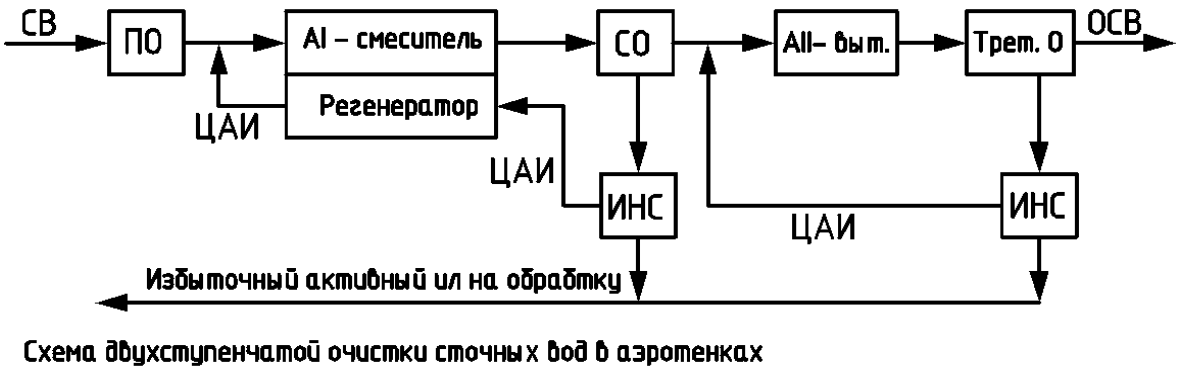


Рис. 103. Схема двухступенчатой очистки сточных вод в аэротенках

Аэротенки – отстойники это комбинированные сооружения, представляющие собой аэротенк, совмещенный со вторичным отстойником. Практически все аэротенки–отстойники с механическими аэраторами относятся к аэротенкам–смесителям.

В России и за рубежом предложено много конструкций таких сооружений.

Аэроакселераторы–аэротенки – отстойники с пневмомеханической системой аэрации. От известных аэротенков–отстойников с механической аэрацией они отличаются наличием пневматической аэрации.

Это позволяет повысить окислительную мощность сооружений, сократить время биологической очистки.

Аэроакселераторы бывают с центральным расположением камеры аэрации, периферийным и смежным.

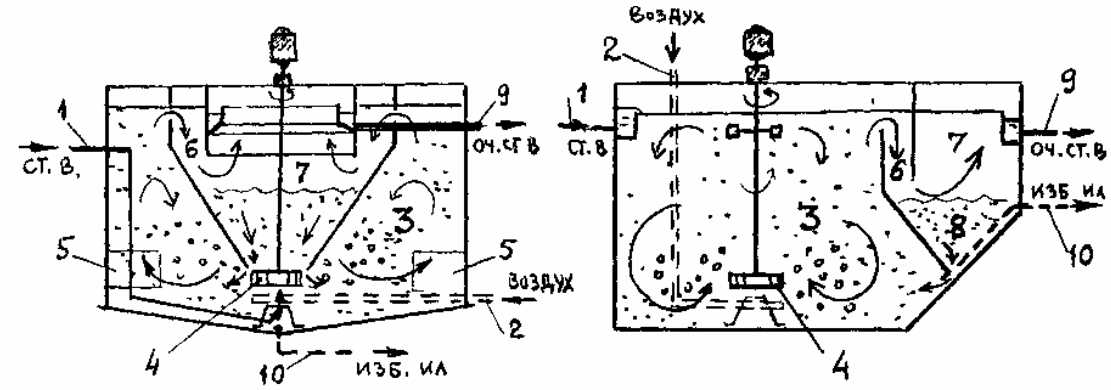
Достоинства аэроакселераторов:

1. Хорошее перемешивание.
2. Возможность регулирования подачи воздуха.
3. Устойчивость к пиковым колебаниям расходов и концентрации.

Применяются при Q = 1…2 тыс.м^3/сут (до 7…10 тыс.м^3/сут).

Оксиконтакты–аэротенки – отстойники с пневматической аэрацией и расположением аэраторов равномерно по площади днища.

а) *б)*



в)

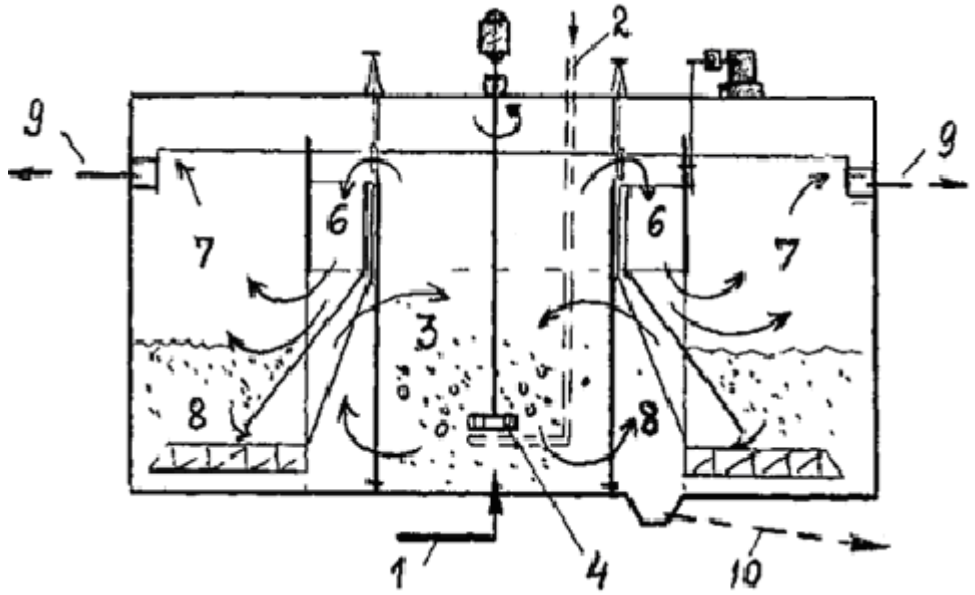


Рис. 104 Аэроакселераторы: *а*– с периферийно расположенной камерой аэрации; *б*–со смежно расположенной камерой аэрации; *в*–большой производительности с центральным расположением камеры аэрации и удаления осадка скребками; 1 – подача сточной воды; 2 – подача сжатого воздуха; 3 – зона аэрации; 4 –пневмомеханический аэратор; 5 – отражатели; 6 – дегазатор; 7 – зоны отстаивания; 8–илоуплотнитель; 9 – выпуск очищенных сточных вод; 10 – выпуск избыточного ила.

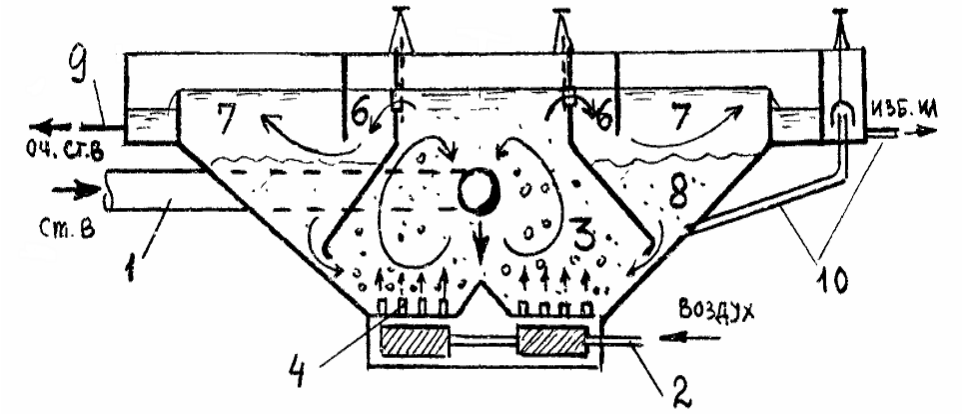


Рис. 105. Оксиконтакт с пневматическими аэраторами типа «Вибрейр»: 1 – подача сточной воды; 2 – подача сжатого воздуха; 3 – зона аэрации; 4 – аэраторы “Вибрейр”; 5 – перегородка; 6 – дегазатор; 7 – зоны отстаивания; 8 – илоуплотнитель; 9 – выпуск очищенных сточных вод; 10 – выпуск избыточного ила.

Используются специальные аэраторы типа “Вибрейр”.

Оксиконтакты предназначены для больших расходов СВ. Оксирапиды – аэротенки–отстойники коридорного типа с пневматической аэрацией и принудительной подачей циркулирующего активного ила эрлифтом в зону аэрации. Применяются при Q = 10…50 тыс. м^3/сут; позволяют работать с высокой нагрузкой по $БПК_{20}$ на активный ил. При оборудовании зоны отстаивания их тонкослойными блоками производительность оксирапидов возрастает в 1,5…1,7 раза.

Фильтртенки – аэротенки–отстойники, в зоне аэрации которых расположены специальные фильтрующие элементы, что обеспечивает их работу при очень высоких дозах активного ила A = 12…25 г/л (обычный аэротенк A = 2…2,5 г/л, аэротенк–отстойник A = 3…6 г/л) и высокую окислительную мощность (10…12 кг $БПК_{20}$ на 1 м^3/сут.), также сокращает время аэрации.

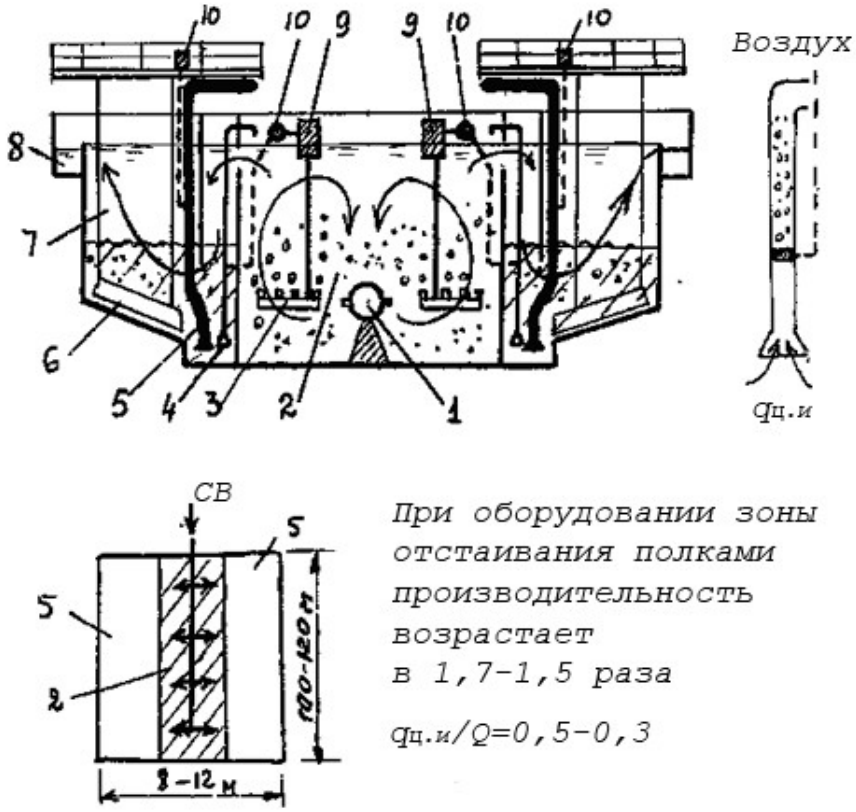


Рис. 106 Оксирапид: 1 – подача сточной воды; 2 – зона аэрации; 3 – аэраторы; 4 – трубопровод циркулирующего ила; 5 – трубопровод избыточного ила; 6 – скребки; 7 – зона отстаивания; 8 – выпуск очищенных сточных вод; 9 – воздуховод аэраторов; 10 – воздуховод эрлифтов.

Фильтртенки применяются при $БПК_{20}$ СВ до 2000 мг/л.

Окситенки – аэротенки–отстойники с механической аэрацией, в которых вместо воздуха используется технический кислород или обогащенный кислородом воздух.

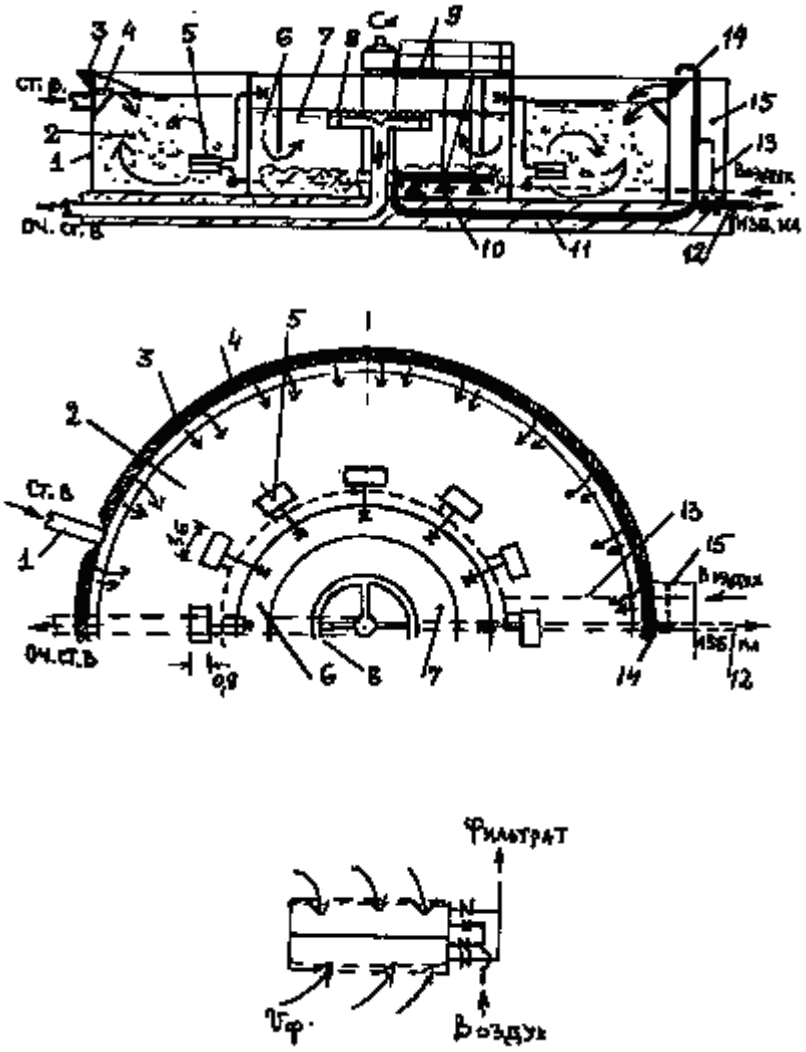


Рис. 107 Фильтртенк: 1 – подача сточной воды; 2 – зона аэрации; 3 – лоток циркулирующего активного ила; 4 – лоток поступающей сточной воды; 5 – фильтровальные элементы; 6 – камера дегазации; 7 – зона отстаивания; 8 – водосборный лоток; 9 – ферма илососов с мостиком обслуживания; 10 – илососы; 11 – трубопровод циркулирующего активного ила; 12 – то же, избыточного ила; 13 – воздуховод; 14 – эрлифт; 15 – иловая камера.

Противоточные аэротенки – аэротенки–отстойники с особой схемой принудительной циркуляции воздушно-иловой смеси, что обеспечивает возможность повышения дозы ила до A = 5…6 г/л и окислительной мощности приблизительно в 2 раза.

При расчете аэротенков–отстойников объем зоны аэрации определяют, как для аэротенков–смесителей, объем зоны отстаивания определяют исходя из расчетного расхода и времени отстаивания около 1 ч. Площадь живого сечения отстойника по скорости восходящего потока $v \approx 0{,}3$ мм/с, площадь зоны дегазации по скорости всплывания пузырьков в иловом слое $v_в \approx 100$ мм/с.

Для глубокой биологической очистки СВ в России, Германии, Японии, США применяются также сооружения типа "Биодиск".

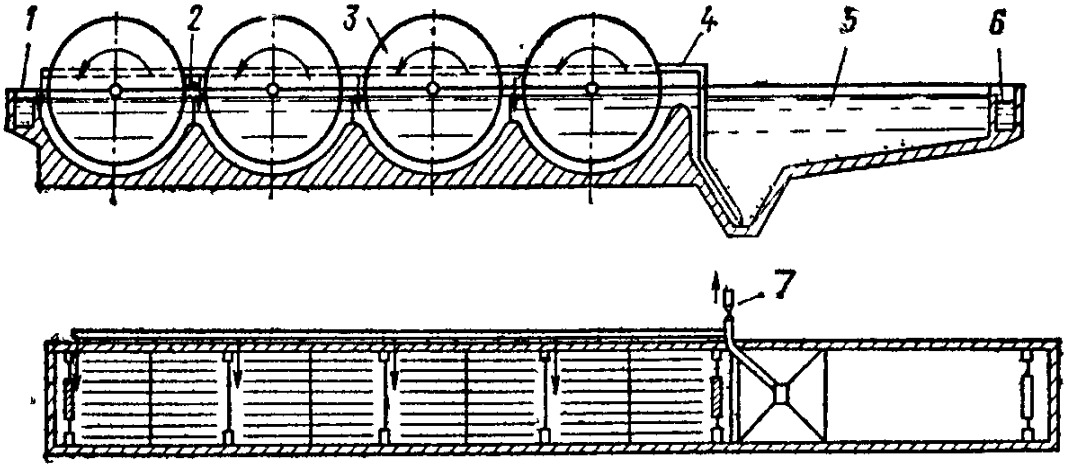


Рис. 108 Схема сооружения типа биодиск в блоке с отстойником: 1 – камера впуска сточных вод; 2 – лоток; 3 – биодиски; 4 – илопровод; 5 – отстойник; 6 – камера выпуска очищенной воды; 7 – трубопровод к иловой насосной станции

Принцип их работы:

Диски собирают из отдельных листов (слоев) пенопласта, пластика, алюминия; толщина листов 2...2,5мм (пенопласт – 20мм). Эти листы укрепляют на горизонтальном валу на расстоянии 15...20 мм друг от друга. Листы частично погружены в емкость со сточной водой и приводятся в медленное вращение; на их поверхности образуется биопленка слоем 4...5 мм. Необходимый кислород для жизнедеятельности бактерий поступает из атмосферного воздуха.

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. Какие комбинированные сооружения для биохимической очистки известны?

ЛЕКЦИЯ 21

Биологическая очистка высококонцентрированных сточных вод

План лекции:

Доочистка биологически очищенных сточных вод. (0,056; 2*ч*).

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 мгO_2/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 концентрированой сточной воды, что позволяет органические загрязнения уменьшить в 10...20 раз.

При этом снижается $БПК_{20}$ с 10000мгO_2/л до 1000мг O_2/л, а при $БПК_{20}$ > 10000 примерно до 2000 O_2мг/л.

Доочистку после метантенков производят по 2–х ступенчатой схеме:

1. Аэротенк– смеситель.
2. Аэротенк– вытеснитель.

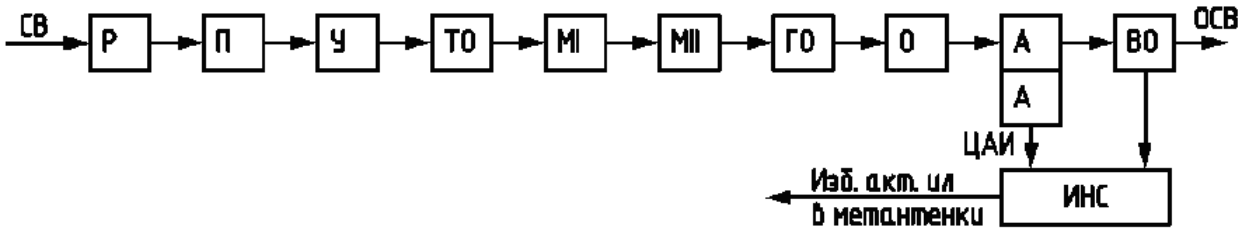


Рис. 109 Схема биологической очистки высококонцентрированных сточных вод: Р – решетка; П – песколовка; У –усреднитель; ТО – теплообменник; МI – метантенк 1-й ступени; МII – метантенк 2-й ступени; ГО– газоотделитель; О - отстойник (Т = 2 ч); А – аэротенк; ВО – вторичный отстойник; ИНС – иловая насосная 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. $м^3$/сут. В биореакторах качество очистки по $БПК_{полн}$ на 50 – 60 % выше, чем у каркасно – засыпных фильтров.

Исследования в НИИ ВОДГЕО показали высокую эффективность применения биосорберов. В результате доочистки на биосорберах биологически биологически очищенных сточных вод их $БПК_{полн}$ снижается до 1,5 – 3 $мгО_2$/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:

$$W = Q \cdot T;$$

$$T = \frac{C_n - C_0}{R}, сут,$$

где C_n, C_o – концентрация загрязнений в поступающих и выходящих из пруда стоков по $БПК_{20}$, мг/л; R –скорость изъятия загрязнений, кг/$м^3$ ·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, съем планктона 200...250мг/л. Флотаторы используются для выделения водорослей. Центрифуги – для концентрации водорослей (обезвоживания) с целью уменьшения их объема.

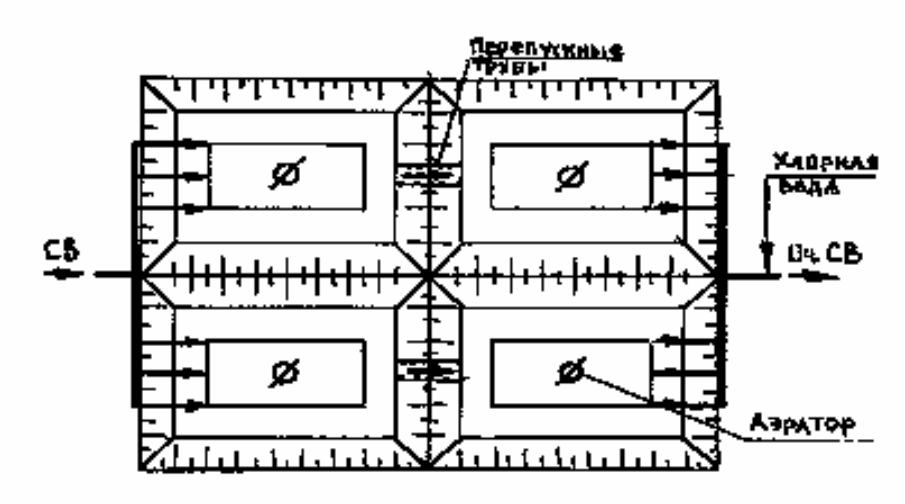


Рис. 110. Схема биологического пруда с механической аэрацией.

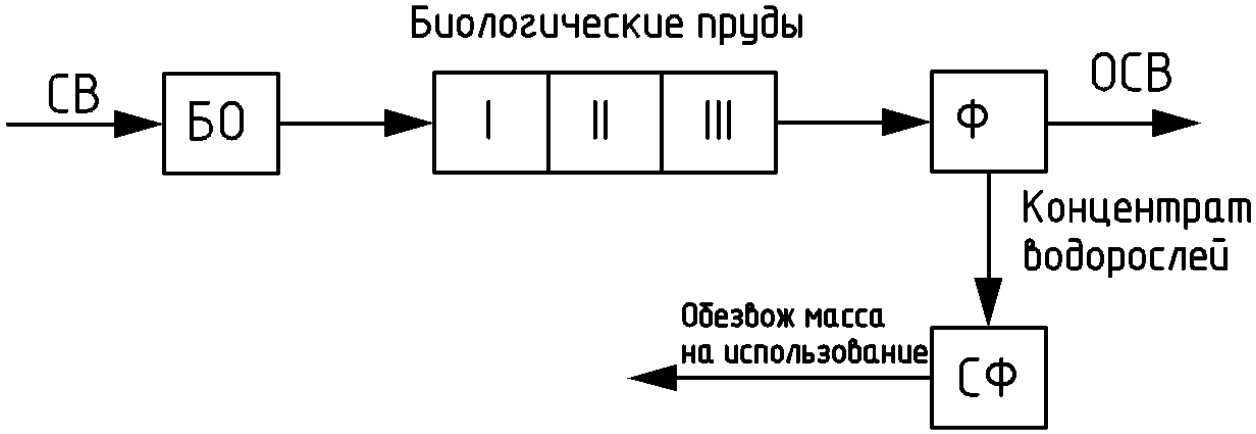


Рис. 111. Технологическая схема доочистки СВ в аэрируемых биологических прудах с использованием водорослей: БО – сооружения биологической очистки; I, II, III – секции пруда; Ф – флотатор; ЦФ – центрифуга.

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 сбросах сточных вод, колебаниях pH, 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. 112). Не следует допускать образования и развития постоянных анаэробных процессов, поскольку при них выделяются неприятные запахи и размножаются комары и мошки.

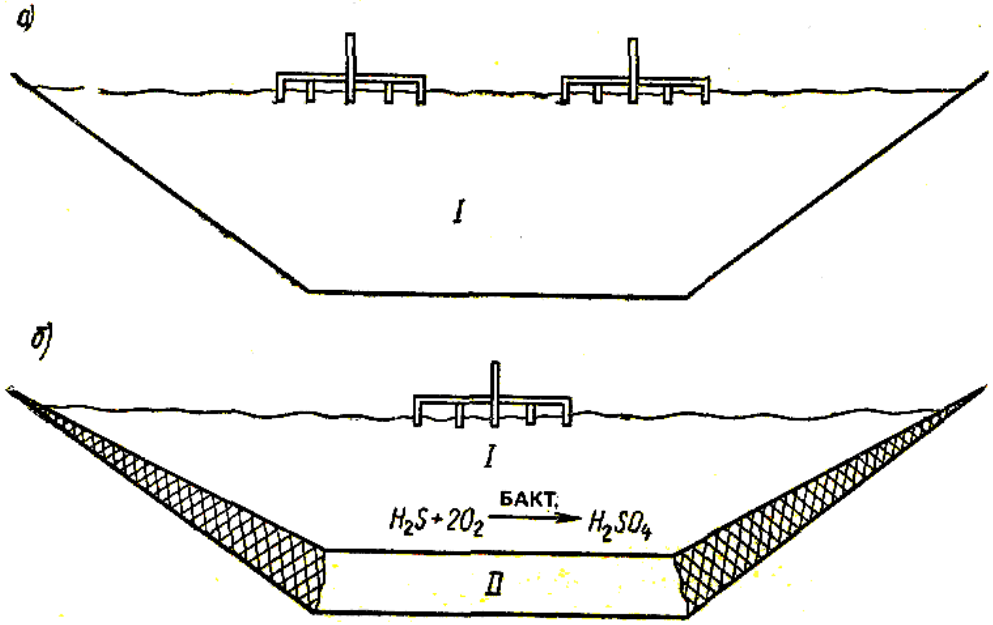


Рис.112. Биологические пруды
а). − аэрируемый; *б*). – аэробно – анаэробный; I – зона аэробная; II – зона анаэробная

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 предназначается 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 БПКполн = 4÷6 мгO_2/л, а опыт их эксплуатации выявил необходимость введе-

ния 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^3 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.

Длительность пребывания сточной воды в рассчитываемой секции пруда определяется по формуле

$$t = \frac{L_a - L_t}{aN}$$

где L_a и L_t — концентрации загрязнений сточных вод, по БПК$_5$ мгО$_2$/л, на входе в рассматриваемую секцию и на выходе из нее; a — концентрация ила, г/л.

Объем каждой аэрируемой секции

$$V = Q_ч t$$

где $Q_ч$ — средний часовой расход сточных вод, м^3.

Опыт показывает, что механические поверхностные аэраторы с вертикальной осью вращения создают хорошие гидродинамические условия в аэрационном бассейне благодаря высокой перекачивающей способности даже при глубине бассейна до 3,5–5 м и исключают образование донных осадков. Однако поддержание в активном состоянии биомассы сравнительно низкой концентрации не требует высоких интенсивпостей подачи кислорода и перемешивания на единицу объема пруда. При стационарной установке этих аэраторов в прудах не удается полностью использовать их окислительную и перемешивающую способность, а их пропускная способность в 15–20 раз превышает потребности в кислороде обслуживаемой ими зоны. В этой связи перемещение аэратора по акватории пруда является экономически целесообразным инженерным приемом устройства аэрируемых биологических прудов.

Число подлежащих установке в пруду аэраторов определяется с учетом окислительной и перемешивающей способности. Размер зоны, в которой может быть использовано подаваемое аэратором количество кислорода,

$$F_a = \frac{ОС}{УН}$$

где *ОС*–окислительная способность аэратора принятого диаметра, кг O_2/ч; *У*–удельная потребность пруда в кислороде, кг O_2/(м^3·ч); *Н*–глубина пруда, м

Удельная потребность пруда в кислороде

$$У = \frac{q}{Vt}$$

где q — количество кислорода, необходимое для снятия БПК заданного расхода сточных вод до расчетного значения, кг O_2:

$$q = \frac{m_1(L_a - L_t)Q}{m_2 d}$$

где m_1 – потребность в кислороде, кг, на снятие 1 кг $БПК_{полн}$ (для глубокой очистки принимается равной 2–2,3 для I секции и 2,5—3 для II секции); Q – суточное количество сточных вод, подлежащих очистке в прудах, м^3; 1,,, L_a,L_t – $БПК_{полн}$ поступающих в пруды и выходящих из них сточных вод, мг/л; m_2 — коэффициент качества сточных вод, равный 0,8 для бытовых и близких к ним по составу сточных вод (для других видов сточных вод определяется экспериментально); d – поддерживаемый дефицит кислорода в прудах, доли единицы (в I секции 0,7—0,8; во II секции — в зависимости от требуемой концентрации кислорода перед спуском в водоем).

Длина перемещения аэратора определяется в зависимости от площади зоны пруда, которую обеспечивает кислородом один аэратор, и радиуса его активного воздействия, не допускающего осаждения ила и образования донных осадков. Проведенные кафедрой водоотведения МГСУ им. В. В. Куйбышева длительные экспериментальные исследования работы механических поверхностных аэраторов диаметром 2 м позволили установить, что ширина этой зоны в прудах глубиной 3,5–4 м составляет около 20 диаметров аэратора. Поэтому длина перемещения аэратора составит:

$$t_n = \frac{F_a}{29 D_a}$$

$$t_n = \frac{Vt_a ОС}{20 HD_a q}$$

Скорость перемещения аэратора должна обеспечить поддержание во взвешенном состоянии максимального количества биомассы, так как период возврата аэратора в исходную точку $t_в$ должен определяться на основе кинетики осаждения ила. Наблюдающееся при этом снижение концентрации ила за счет осаждения части биомассы должно учитываться при расчетах окислительной способности прудов. Скорость перемещения аэратора, в м/ч, определится как

$$v_n = 2l_n / t_в$$

или с учетом значения $l_п$

$$v_n = \frac{Vt_a\, OC}{10HD_a\, qt_в}$$

Диаметр аэратора принимается равным половине глубины пруда, а число аэраторов N_a, подлежащих установке в прудах, определяется сопоставлением площади F_n пруда и площади зоны, обслуживаемой одним аэратором, т. е.

$$N_a = \frac{F_n}{F_a}$$

Во многих случаях размер зоны, обслуживаемой одним аэратором, F_a, определяется не окислительной его способностью, а перемешивающей. Тогда длина этой зоны L_3 назначается в зависимости от максимальной скорости перемещения аэратора, равной 0,05 м/с, что составит 90–100 м при условии возвращения аэратора в исходную точку пе позднее чем через 1 ч. При этих условиях снижение концентрации ила в прудах за счет оседания в расчетах можно не учитывать, а число аэраторов составит:

$$N_a = \frac{F_n}{L_3\, B}$$

Под эффективностью аэрации понимается либо количество растворенного кислорода на единицу затраченной энергии [($гO_2$/кВт·ч) или $кгO_2$/кВт·ч], либо затраты электроэнергии на растворение 1 кг кислорода (кВт·ч/ кг·O_3) при температуре 20 ^{0}С и давлении 760 мм РТ. ст. (стандартные условия.)

Окислительная способность характеризует производительность аэратора по кислороду, т.к. ею выражается скорость растворения кислорода в единицу времени ($гO_2$/ч или $кгO_2$/ч) обеспечиваемая аэратором в стандартных условиях.

В соответствии с предлагаемой кафедрой водоотведения МГСУ им. Б. В. Куйбышева методикой аэрируемые пруды рекомендуется устраивать из трех последовательных секций, из которых первые две – аэрируемые, а третья предназначена для отстаивания в течение 2 ч. В этой связи F_n представляет собой отношение объема рассчитываемой аэрируемой секции к ее глубине, и

следовательно, относится к расчету каждой аэрируемой секции отдельно, так как каждая секция имеет свою скорость окисления, свою концентрацию ила и свою длительность пребывания сточных вод. При больших расходах сточных вод, подлежащих глубокой очистке, пруды могут быть запроектированы в виде нескольких параллельно работающих сооружений, каждое из которых состоит из трех секций.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется биологическая очистка высококонцентрированных сточных вод?
2. Схема биологической очистки высококонцентрированных сточных вод.
3. Какие методы используются для доочистки биологически очищенных сточных вод?
4. Схема доочистки СВ в аэрируемых биологических прудах.
5. За счет чего поддерживаются аэробные условия в прудах?
6. Вследствие чего искусственная аэрация позволяет повысить скорость изъятия и окисления загрязнений?
7. Как определяется объем секции пруда и длительность пребывания в ней сточной воды?
8. Как определяется удельная потребность пруда в кислороде?
9. Принцип работы аэратора.
10. Сколько секций рационально предусматривать в биологических прудах?

МОДУЛЬ 3. МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД 0,11 (4 ч)

ЛЕКЦИЯ 22

Особенности методов и конструкций сооружений по обработке осадков производственных сточных вод

Механическое обезвоживание (вакуум – фильтры, листовые фильтры, фильтр – прессы, виброфильтры, центрифуги).

Термическая сушка осадков. Установка для сжигания осадков на нефтеперерабатывающем заводе.

Криогенная обработка осадков (установка для замораживания и оттаивания осадка производственных сточных вод). (0,11; 4*ч*).

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 утилизуется. 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); 6) 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 щелочкой – до метана и угольной кислоты. Процесс мезофиль-

ный**.** если температура 30 – 35°С, термофильный при температуре 52 – 55°С. Применяют также аэробную стабилизацию, т.е. длительное аэрирование осадков либо ила в сооружениях типа аэротенков–стабилизаторов.

Кондиционирование. Вид обработки, при котором осадок изменяет структуру и формы связи воды, благодаря чему лучше обезвоживается. Это процесс подготовки к механическому обезвоживанию. Наибольшее распространение получила реагентная обработка. Применяют также тепловую обработку, жидкофазное окисление, замораживание и оттаивание (нешироко применяют). Реагентная обработка изменяет структуру осадка и улучшает его способность отдавать влагу. Для этого применяют коагулянты и флокулянты минерального и органического происхождения. Минеральные коагулянты – соли железа, алюминия, известь; сочетания хлорного железа с известью (эти коагулянты дефицитны и дороги, вызывают трудности в эксплуатации установок кондиционирования: они коррозийны, сложны в транспортировании, хранении, приготовлении и дозировке).

Достаточно широкое применение за рубежом находят синтетические флокулянтьг. 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 бсльшое 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 эффективна применение присадочных материалов, которые способствуют формированию жесткого скелета на фильтровальной поверхности, препятствуют слипанию частиц осадка и их дефломации. В качестве присадочного материала наиболее применима зола, образующаяся при сжигании осадков.

Тепловая обработка. Перспективна для органических осадков, имеющих зольность З0–40%. Осадок нагревают в герметичном резервуаре (типа автоклав) до температуры 150-200°С 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 $м^3$/сут**.**

Союзводоканалпроектом разработана улучшенная схема, где надо-садочная вода подается на фильтр с активированным углем. Эту воду можно выпаривать на многокорпусной вакумм−испарительной установке. Конденсат подается на очистные сооружения, концентрированный сток сжигается. Иногда эту воду сбраживают 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 надиловой 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°С 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°С 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 "Водоснабжение и водоотведение" Института градостроительства, управления и региональной экономики СФУ разработана установка (рис. 113), предназначенная для обработки осадков сточных вод путем замораживания и оттаивания в естественных условиях для улучшения их водоотдающей способности.

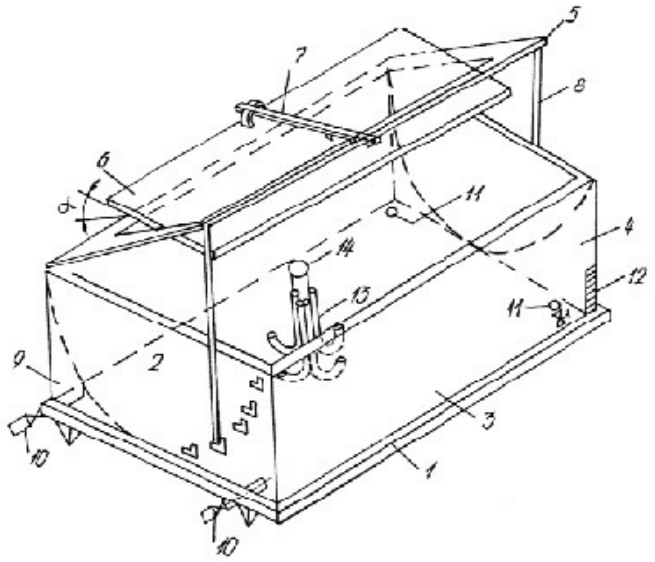


Рис 113. Установка для замораживания осадка: 1-передвижная емкость; 2-полуцилиндрическая рабочая камера; 3-боковые стенки; 4-гидроотсеки; 5-щит; 6-корректирующая плоскость; 7-система подъема щита; 8-система установки щита; 9-торцевые стенки; 10-патрубки подачи горячей воды; 11-патрубки сброса горячей воды; 12-термодатчик; 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 α=50–70° плоскости. Резервуар содержит расположенные в торцевых стенках патрубки подачи и сброса горячей воды, термодатчик, 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 α=50–70°. По температуре определяют время промораживания осадка. После полного промораживания осадка резервуар возвращают в закрытие помещение для удаления замороженного осадка, для чего через патрубки в гидроотсеки подают горячую веду. По термодатчику определяют время появления нулевой изотермы (0,2°С), 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 обьем 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 веды, 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 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, грави-

тационных 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 обезвожи-ваниии 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, вискозного волокна, синтетического каучука, кожевенных заводов, фабрик первичной обработки шерсти. Дисковой вакуум−фильтр имеет площадь поверхности фильтрования 9−100 м^2, 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 резинотканевую ленту, натянутую на двух барабанах, и фильтровальный стол. Щелевое отверстие, расположенное посредине стола, сообща-

ется 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 прорези 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 подслой, 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 не 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 снимается с фильтровальной ткани. Эти фильтры компактны, имеют высокую производительность, поз-воляют автоматизировать весь процесс фильтрования.

Фильтр–пресс применяют для обработки сжимаемых аморфных осадков. Осадки получаются 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. Фильтрование 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 посредине, куда по трубопроводу подается осадок. Фильтрат собирается в поддоне, а осадок выносится лентой и через прозоры в решетке попадает внутрь 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 распрост-

ранение. 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) раздельное 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^3/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 обезвоживание. 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.) ив которых частицы материала перемещаются и перемешиваются потоком сушильного агента и (сушилки со взвешенным (псевдосжиженным) 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 газовзвеси. 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 обезвоживания сушильного агента используют камеры сгорания авиационных газотурбинных двигателей (РД–Зм–500), переведенные на газообразное топливо.

За рубежом широко применяются пневматические сушилки (трубы–сушилки) фирмы "Раймона". Обезвоженный осадок смешивают о термически высушенным и измельчают в сушильной мельнице. Осадок сушат в вертикальной трубе длиной до 20 м, где происходит движение снизу вверх топочных газов к взвешенных в их потоке частиц 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 подается 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°С и давлении ниже 0,2 МПа кислородом воздуха (сжигание); б) окисление органических веществ в присутствии катализаторов nри температуре 100–500°С и атмосферном давлении; в) окисление органических веществ в присутствии катализаторов при температуре 100–500°С и давлении до 35 МПа; г) окисление органических веществ при температуре 100–300°С 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°С в бескислородной или бедной кислородом среде – пиролиз.

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 осуществление.
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?

ЛЕКЦИЯ 23

Основные методы обезвоживания и утилизации

осадков промышленных сточных вод

План лекции:

Кондиционирование осадков сточных вод промышленных предприятий. Извлечение ценных составляющих осадков и шламов.

Использование осадков производственных сточных вод. Технологические схемы установок для обработки осадков. (0,056; 2*ч*).

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, выявление 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.

На рис. 114. представлены основные методы обезвоживания и утилизации осадков промышленных сточных вод.

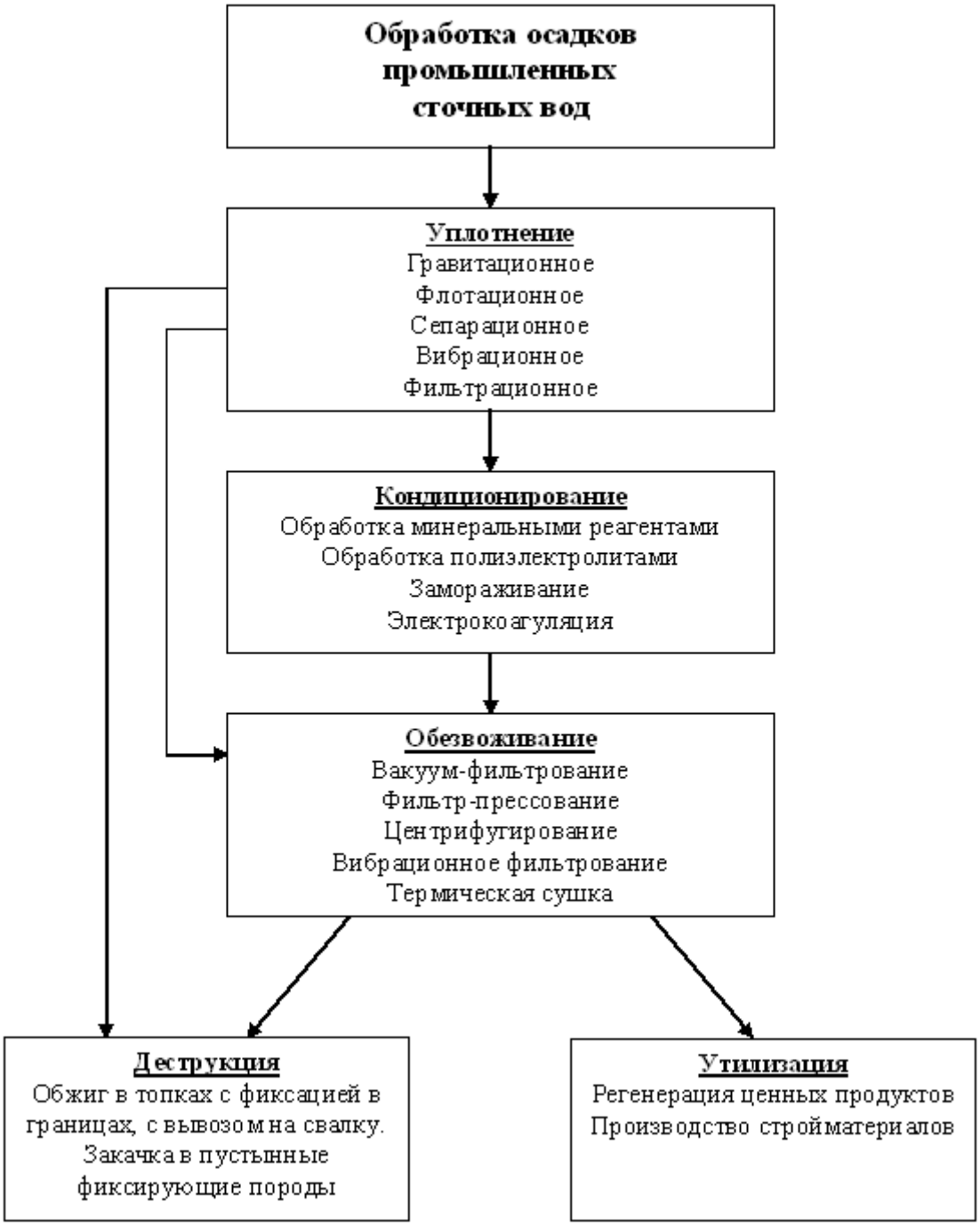


Рис. 114. Основные методы обезвоживания и утилизации осадков промышленных сточных вод

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 коагуляты – 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 коррозийны, 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 осаждения. Для ускорения процессов осаждения 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 осаждения 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 pH 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 сульфаалюминат кальция, весовое соотношение алюмината и гипса 1÷0,2÷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 – 70^0С. Усовершенствовать технологию реагентной обработки осадка можно также путем ультрафильтрации и обратного осмоса.

Процесс ультрафильтрации с использованием трубчатых элементов БТУ 0,5,2 является одним из наиболее эффективных способов очистки стойких сильнозагрязненных водомасляных эмульсий, как за рубежом, так и в отечественной практике.

Преимуществами ультрафильтрации по сравнению с традиционными методами обработки являются: универсальность процесса; практическое, отсутствие химических реагентов, компактность установок; малые энергозатраты.

Однако, ультрафильтрат после переработки не подлежит повторному использованию ввиду сложности корректировки состава. В то же время он не может быть направлен на сброс в канализацию из-за превышения содержания различных примесей, в первую очередь нефтепродуктов.

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.

Осадок может быть смешан с минеральной кислотой или ангидридом кислоты, которые удаляют часть воды из осадка. Далее осадок смешивают с основанием и при помощи тепла, выделяющегося при реакции, происходит сушка осадка до заданной влажности. Также в осадок перед обезвоживанием можно вводить вермикулит, который обладает большой сорбционной способностью. Затем смесь обезвоживают с применением $Ca(OH)_2$ и $FeCl_3$. Содержание воды в осадке после данной обработки составляет около 50%.

В области синтетических органических флокулянтов на основе полиакриламидов применяют полиэлектролиты со смежными или частично смежными молекулами, полимерные цепи которых имеют поперечные связи. Преимущество их использования 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 ($FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$) 0,5-10,0%. Авторами в работе предложено для улучшения качества предварительного обезвоживания осадка перед его сжиганием, обработку полиэлектролитами регулировать 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.

Одним из эффективных способов обезвоживания 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 обезвоживания 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 обезвоживания, 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 неутилизированных вторичных отходов. В то же время переработка и использование накопленных техногенных отходов, в том числе многотоннажных 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 глинистую 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 гидроокисных 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^{o}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 плавящимся 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 ВиВ Института градостроительства, управления и региональной экономики 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, обусловливающую 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 аппаратурного 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. 115 представлена схема виброакустического воздействия с последующей электрокоагуляцией.

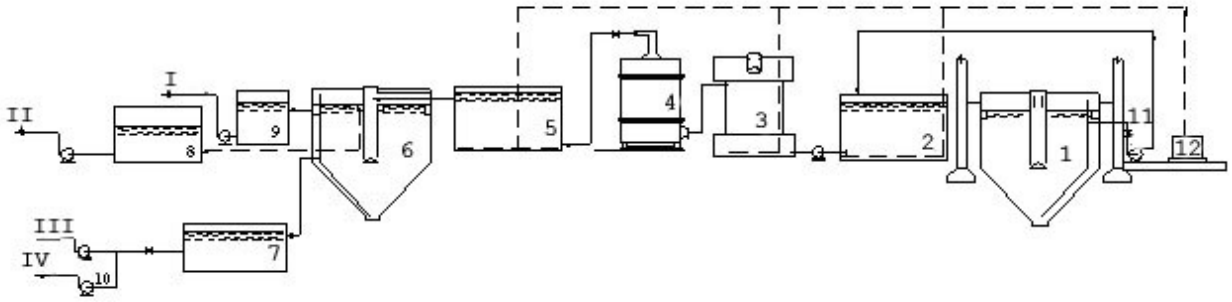


Рис. 115. Технологическая схема виброакустического воздействия с последующей электрокоагуляцией. 1 – шламонакопитель, 2 – резервуар-усреднитель, 3 – камера озвучивания, 4 – электролизер для обработки осадка, 5 – контактный резервуар, 6 – вертикальный отстойник, 7 – емкость для сбора осадка, 8 – емкость для сбора масла, 9 – емкость для сбора надиловой воды, 10 – насос рециркуляции осадка, 11 – насос подачи шлама, 12- воздуходувка, I - на фильтр; II – на утилизацию; III – на электролтзер 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 керамических 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 красителей 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 промытые 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 окси-карбонатным 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 отвердения. С точки зрения вымывания тяжелых металлов и отвердевших материалов наибольшую опасность для окружающей среды представляют цинк, кадмий и медь. Способ отвердения 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 битумоминеральную смесь обеспечивает его экологическую безопасность. Поэтому этот способ утилизации рекомендуется как отвечающий технологическим и экологическим требованиям. 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. 116. Она разработана на кафедре “Водоснабжение и водоотведение” Института градостроительства, управления и региональной экономики СФУ.

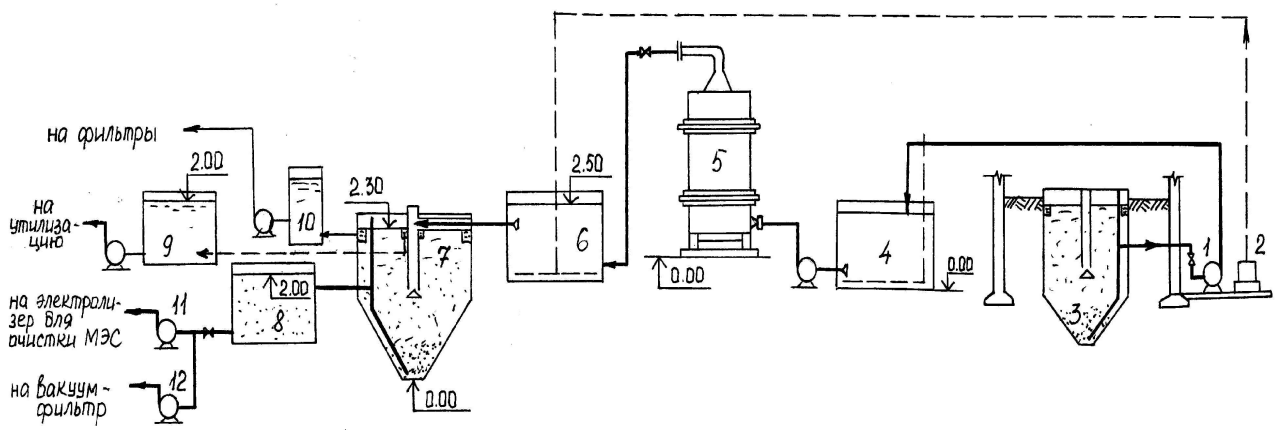


Рис. 116. Схема установки для электрообработки осадка: 1–насос подачи осадка; 2–воздуходувка; 3–шламонакопитель; 4–усреднитель; 5–электрокоагулятор; 6-контактный резервуар; 7–отстойник; 8–емкость для сбора осадка; 9–емкость для сбора масла; 10–емкость для сбора иловой воды; 11–насос рециркуляции осадка; 12–насос для подачи осадка на обезвоживание.

На рис.117 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. Надиловая 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.

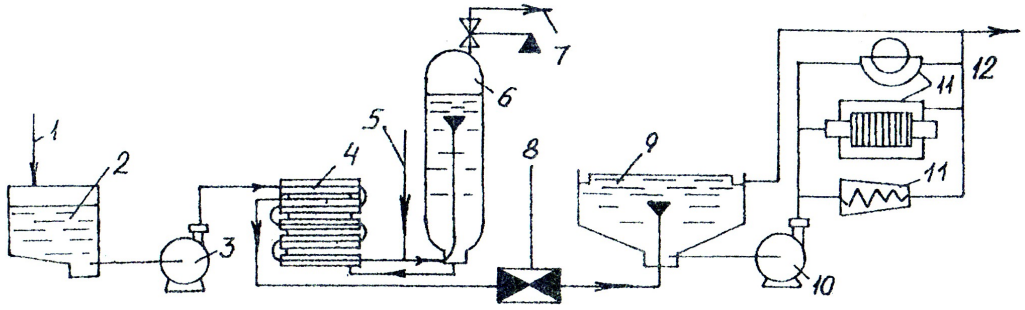


Рис.117. Технологическая схема тепловой обработки осадка методом жидкофазного окисления: 1 – трубопровод для подачи осадка; 2 – резервуар-накопитель; 3 – насос высокого давления; 4 – теплообменник; 5 – паропровод; 6 – реактор; 7 – труба для отвода парогазовой смеси; 8 – устройство для снижения давления; 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 псевдоснижженным слоем. Наиболее производительными являются циклонные печи и печи с псевдосжиженным слоем. За рубежом получили широкое распространение многоподовые печи. Обезвоженный осадок транспортером подается через загрузочный люк в печь – цилиндрический стальной жаростойкий корпус, внутри которого расположено от четырех до восьми топок. К центральной вращающейся оси печи прикреплены лопасти, служащие для перемешивания осадка. Центральная ось и лопасти полые и охлаждаются воздухом, подаваемым вентилятором. Осадок перемещается вращающимися лопастями из топки в топку навстречу дымовым газам. Для сжигания осадка используется газ. Зола через разгрузочный люк поступает в бак с водой и затем насосом по трубопроводу подается на фильтрование. Отфильтрованная зола вывозится на поля или выбрасывается в отвал. Вода с фильтров возвращается в бак по трубопроводу. Газы из печи поступают в скруббер через форсунки. Очищенные газы выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу. Часть воздуха, предназначенная для охлаждения центральной оси и лопастей, возвращается по рециркуляционной трубе в печь и используется для процесса горения; другая часть выбрасывается в атмосферу, отбор воздуха регулируется заслонкой. Печи с псевдосжиженным слоем (схема для сжигания осадков нефтеперерабатывающих заводов представлена на рис. 118). Осадок через форсунку подается в печь с псевдосжиженным слоем. Для поддержания горения и создания псевдосжиженного слоя воздух через воздухоподогреватель подается в воздушную камеру печи. Слой инертного носителя находится под решеткой. Для создания процесса горения при пуске печи служит запальная горелка № 1, а в процессе работы горючее подается через горелку № 2.

Для отделения золы служит циклон, в котором задерживаются мелкие частицы. Воздух охлаждается водой в скруббере и затем с помощью дымососа через трубу выбрасывается в атмосферу.

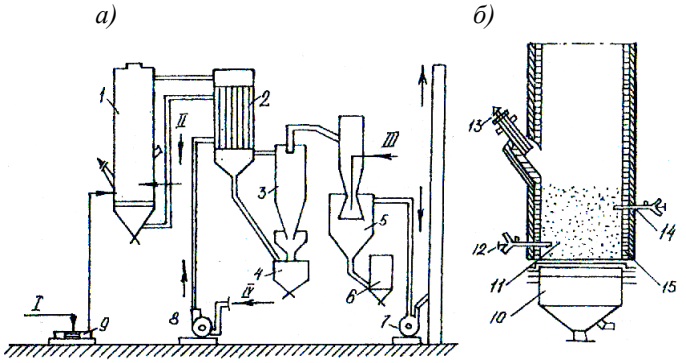


Рис. 118. Установка для сжигания осадков на нефтеперерабатывающем заводе: *а*) - схема установки; *б* - общий вид камеры сгорания; I -осадки; II - топливо; III - вода; IY - воздух; 1 - печь с псевдосжиженым слоем; 2 - воздухонагреватель; 3 - циклон; 4 - бункеры для золы; 5 - скруббер; 6 - отстойник для золы; 7 - дымосос; 8 - воздуходувка; 9 - насос; 10 - воздушная камера; 11 - слой инертного носителя; 12 - форсунка для осадков; 13 - зональная горелка; 14 - горелка; 15 – решетка

Схема установки для сжигания ила на целлюлозно–бумажном комбинате представлена на рис. 119

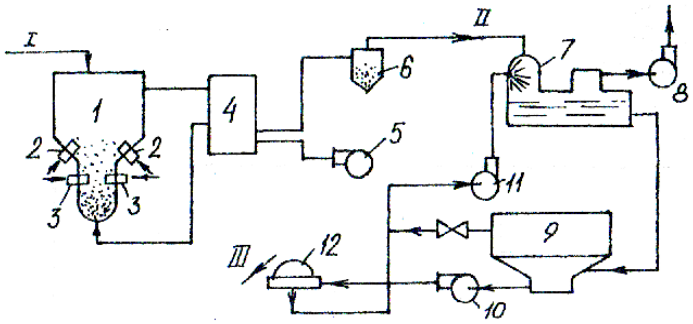


Рис. 119. Установка для сжигания ила на на целлюлозно–бумажном комбинате: I - осадок; II –вода; III – зола; 1 – печь с псевдосжиженным слоем; 2 – пусковые горелки; 3 – горелки; 4 – теплообменник; 5 – газодувка; 6 – циклон; 7 – адсорбер; 8 – дымосос; 9 – отстойник; 10 и 11 – насосы; 12 – фильтр

Контрольные вопросы

1. Цель кондиционирования осадков сточных вод?
2. Что происходит при реагентной обработке осадков сточных вод и какие реагенты для этого используются?
3. От чего зависит эффективность действия коагулянтов?
4. Основные недостатки реагентной обработки осадков?
5. Какие флокулянты применяются для обработки осадков сточных вод и чем объясняется механизм их действия?
6. В чем суть процесса сжигания осадков и какие устройства для этого применяются?
7. Какие методы физического воздействия на свойства осадков известны?
8. Какие известны пути утилизации осадков?
9. Какие недостатки характерны для способа ликвидации шламов?

10. Суть биотермической обработки осадков.

11. какие известны пути использования осадка в качестве добавки к строительным материалом?

МОДУЛЬ 4. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ В СХЕМАХ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД И ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ 0,13 (5 ч)

ЛЕКЦИЯ 24.

Особенности методов очистки сточных вод предприятий металлообработки

План лекции:

Особенности очистки сточных вод и обработки осадков предприятий металлообработки.

Внедрение новейших научно-исследовательских разработок технологических процессов очистки сточных вод.

Технологические схемы очистных сооружений.(0,056; 2 *ч*).

На предприятиях металлообработки в технологических процессах образуются сточные воды, содержащие ионы тяжелых металлов и нефтепродукты. Очистка производственных сточных вод от хрома(VI) имеет очень важное значение. Попадая вместе со сточными водами в водоем ионы тяжелых металлов, губительно действует на флору и фауну, ухудшают органолептические свойства воды, тормозят процессы самоочищения водоема. Отведение сточных вод в канализационные сети городов приводит к нарушению процессов биологической очистки и накоплению ионов металлов в органических осадках, создавая сложности при их утилизации и складировании. К настоящему времени разработаны и внедрены в практику различные способы очистки воды: химические (реагентные), биологические, электрохимические, мембранные, сорбционные и флотационные. Наиболее распространенным является способ, суть которого заключается во введении в сточную воду реагентов. При этом образуются труднорастворимые соединения, которые затем отделяются от жидкой фазы обычным путем, принятыми в водоподготовке (отстаивание, флотация, фильтрование и др.).

Хромсодержащие сточные воды обрабатываются в две стадии: 1) восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного; 2) осаждение трехвалентного хрома в виде гидроксида. В качестве реагентов-восстановителей наибольшее применение получили натриевые соли сернистой кислоты - сульфит Na_2SO_3), бисульфит $NaHSO_3$), пиросульфит ($Na_2S_2O_5$), а также дитионит натрия ($Na_2S_2O_4$). Восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} происходит по реакциям:

восстановление сульфитом натрия

$$Cr_2O_7^{2-} + 3S0_3^{2-} + 8H^+ \rightarrow 2Cr^{3+} + 3S0_4^{2-} + 4H_20$$

восстановление бисульфитом натрия

$Cr_2O_7^{2-} + 3HSO_3^- + 5H^+ \rightarrow 2Cr^{3+} + 3SO_4^{2-} + 4H_2O$

восстановление пиросульфитом натрия

$2Cr_2O_7^{2-} + 3S_2O_5^{2-} + 10H^+ \rightarrow 4Cr^{3+} + 6SO_4^{2-} + 5H_2O$

восстановление дитионитом натрия

$Cr_2O_7^{2-} + 3S_2O_4^{2-} + 6H^+ \rightarrow 2Cr^{3+} + 2SO_4^{2-} + 3H_2O$

Процесс восстановления происходит в течение 600 с, причем присутствие ионов железа, кадмия, цинка увеличивает продолжительность процесса в 2 раза. Образующиеся ионы Cr^{3+} осаждаются гидроксидом натрия при pH>6, осадок хрома(Ш) отфильтровывают.

Так же в качестве восстановителя можно использовать железо, которое входит в состав модифицированной пыли. Использование пыли ЭСПЦ для очистки хромсодержащих сточных вод способствует решению другой важной экологической задачи – рациональной утилизации крупнотоннажного отхода электрометаллургического производства. Предлагаемый способ очистки позволяет уменьшить количество сточных вод, загрязненных соединениями хрома; утилизировать значительную часть пыли ЭСПЦ; снизить эколого- экономический ущерб, наносимый окружающей среде.

Для очистки сточных вод содержащих ионы тяжелых металлов используют метод химического осаждения щелочными реагентами. Простота аппаратурного оформления и возможность рекуперации делают этот метод наиболее приемлемым. К числу основных недостатков данного метода относятся большое количество осадков (до 70%) и длительность процесса осаждения. Сточные воды обрабатывают сернокислым железом и гидроксидом натрия при перемешивании воздухом. Ионы металлов можно осаждать и карбонатом натрия.

Достоинства метода: 1) универсальность; 2) простота эксплуатации; 3)отсутствует необходимость в разделении промывных вод и концентратов.

Недостатки метода: 1) не обеспечивается ПДК для рыбохозяйственных водоемов; 2) громоздкость оборудования; 3) значительный расход реагентов; 4) дополнительное загрязнение сточных вод; 5) невозможность возврата в оборотный цикл очищенной воды из-за повышенного солесодержания; 6) затрудненность извлечения из шлама тяжелых металлов для утилизации; 7) потребность в значительных площадях для шламоотвалов.

Живые организмы в ходе длительной эволюции приспособились к присутствию небольшого количества тяжелых металлов в среде и вовлекли некоторые из них в важные метаболические процессы. Поэтому появилась возможность использовать эти организмы для очистки сточных вод от тя-

желых металлов. Биологический способ очистки хромсодержащих сточных вод характеризуется следующими преимуществами: непрерывность процесса, удаляется большое количество ионов металлов и переводится в осадок, обеспечивается снижение эксплуатационных затрат по сравнению с химическими и физико–химическими методами очистки. К бактериям, способным трансформировать высокотоксичные вещества относятся бактерии родов *Pseudomonas, Aeromonas* и *Escherichia.* Они могут спокойно переносить высокие концентрации ионов металлов выше 200 мг/л, при этом время очистки составляет от 1 до 3 сут. При увеличении концентрации до 350 и 500 мг/л продолжительность очистки возрастает соответственно до 20 и 60 сут.

Недостатком способа является то, что микроорганизмы не всегда или трудно приспосабливаются к изменению состава сточных вод и повышению концентрации токсичных компонентов. В связи с этим перспективным представляется использование биосорбционных процессов для очистки сточных вод гальванических производств. Сущность биосорбции заключается в объединении во времени и пространстве сорбции загрязнений из сточных вод сорбентом и биохимического потребления компонентов сточных вод микроорганизмами, развивающимися на поверхности сорбента. При этом не исключается возможность биорегенерации сорбента. Активированные угли значительно снижают нагрузку на активную биомассу. В качестве сорбентов можно использовать гранулированный активный уголь (ГАУ) марки СКТ. Учитывая высокую поглотительную способность ГАУ по отношению к шестивалентному хрому, можно сделать вывод о снижении токсичности влияния хроматов на активный ил при совместном использовании сорбционного и биологического процессов. Применение биосорбции значительно сокращает время очистки (в 4,0–1,9 раза) по сравнению с биологической очисткой при той же концентрации ионов тяжелых металлов.

Одним из перспективных для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов является электрокоагуляция, которая позволяет корректировать физико-химические свойства обрабатываемой воды, концентрировать и извлекать из нее ценные металлы. Электрокоагуляция применяется при любых значениях pH сточных вод. При электрокоагуляции происходит восстановление бихромат- и хромат-ионов ионами Fe^{2+}, образующими при электролитическом растворении стальных анодов, а также гидроксидом $Fe(OH)_2$, образующимся в оборотной воде при гидролизе Fe^{2+} при pH=5,5. После электрохимической обработки сточных вод гальванических производств происходит осаждение хрома(Ш) в виде гидроксида $Cr(OH)_3$. При электрокоагуляции обеспечивается 100%-ное восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+}, при этом одновременно осаждаются ионы тяжелых металлов.

Главным достоинством этого метода является возможность автоматизации процесса с использованием компактных установок. Основной недостаток – использование листовой стали и расход электроэнергии.

Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов и хрома(VI)гальванокоагуляцией, включает их обработку в поле гальванического элемента с по-

следующим отстаиванием и отделением осадка и отличается тем, что гальванохимическую обработку проводят в одну стадию с использованием смеси железной и медной стружки. При отстаивании проводят корректировку pH до 6,9 – 7,3. Это не требует предварительного разделения стоков, сокращается время обработки, многократно уменьшается объем осадков, предотвращается возможность попадания токсичных ионов тяжелых металлов в водоем, возрастает безопасность производства.

Методы мембранного разделения, используемые в технологии выделения ионов тяжелых металлов из сточных вод гальванопроизводства, условно делятся на микрофильтрацию, ультрафильтрацию, обратный осмос, диализ, электродиализ. Наибольшие успехи в отношении эффективности и технологичности выделения цветных металлов достигнуты при использовании обратного осмоса, ультрафильтрации и электродиализа. Обратным осмосом и ультрафильтрацией называют процессы фильтрования сточных вод через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающем осмотическое давление. Мембраны пропускают молекулы растворителя, задерживая растворенные вещества. При обратном осмосе выделяются частицы (молекулы, гидратированные ионы), размеры которых не превышают размеров молекул растворителя. При ультрафильтрации размер отдельных частиц на порядок больше

От обычной фильтрации такие процессы отличаются отделением частиц меньших размеров. Давление, необходимое для проведения процесса обратного осмоса (6−10 МПа) значительно больше, чем для проведения процесса ультрафильтрации (0,1−0,5 МПа).

Достоинства метода: 1) возможность очистки до требований ПДК; 2) возврат очищенной воды до 60 % в оборотный цикл; 3) возможность утилизации тяжелых металлов.

Недостатки метода: 1) необходимость предварительной очистки сточных вод от масел, ПАВ, растворителей, органики, взвешенных веществ; 2) дефицитность и дороговизна мембран; 3) сложность эксплуатации, высокие требования к герметичности установок; 4) большие площади, высокие капитальные затраты; 5) чувствительность мембран к изменению параметров очищаемых стоков.

Электродиализ – процесс переноса ионов через мембрану под действием приложенного электрического напряжения. Для очистки сточных вод этим методом используют электрохимически активные ионитовые мембраны.

Поскольку метод электродиализной очистки сточных вод, содержащей ионы тяжелых металлов, позволяет обрабатывать как малоконцентрированные стоки, так и отработанные электролиты и тем самым создавать замкнутые системы водооборота в гальваническом производстве, этот метод за рубежом приобретает все более широкое распространение, несмотря на его сравнительно высокую стоимость, затраты электроэнергии и материалов и, как недостаток, технологии-явление концентрационной поляризации, приводя-

щей к осаждению солей на поверхности мембраны и тем самым снижению эффекта очистки.

Более полное извлечение ионов тяжелых металлов, обеспечивается в том случае, когда эти стоки пропускают через электродиализатор. Компания General Electric (США) запатентовала систему ионообменного извлечения хромовой кислоты из сточных вод электролитического хромирования.

Ионы хроматов извлекаются при пропускании очищаемых стоков через анионообменные мембраны, а затем соединяются с ионами водорода, прошедшими через катионообменные мембраны. Полученная хромовая кислота возвращается в производство, причем степень извлечения кислоты составляет 99,8 %, а процесс идет непрерывно.

Для предотвращения образования осадка на поверхности ионообменных мембран при обработке сточных вод в электродиализаторе (по исследованиям, приведенным фирмой "Хитати пуранто кэнсэцу к.к.", Япония) предложено вводить фосфат в состав обрабатываемого раствора, а в камерах между мембранами проводить барботаж воздуха.

Другой модификацией электродиализной установки, запатентованной в Японии фирмой "К.к. Тамоэгава сэйсокусе", является конструкция разделительного элемента типа "фильтр-пресс". Основной особенностью элемента является конструкция пластины, под которой размещается полимерная мембрана. С целью снижения сопротивления потоку обрабатываемой сточной воды на плоской поверхности мембраны имеются продольные или поперечные неглубокие канавки для равномерного распределения жидкости и снижения концентрационной поляризации.

Исследования показали, что эта система может быть применена и для регенерации растворов, содержащих хром в виде Cr^{3+}.

В последние годы широкое распространение приобрели мембранные биореакторы. Мембрана в таких биореакторах может быть носителем для микроорганизмов, так и выполнять функцию разделения. Для использования биокаталитических мембран с иммобилизованными бактериями для очистки воды от хрома (VI) в диализном режиме необходимы одинаковые скорости диффузии хромата через мембрану и биохимической реакции, что в первую очередь зависит от концентрации хрома(VI). Установлено, что восстановление хроматов в мембранном биореакторе можно проводить в режиме периодического внесения небольших порций хроматов, при этом начальная концентрация хрома (VI) не должна превышать 20мг/дм^3.

Достоинства метода: 1) возможность очистки до требований ПДК; 2) возврат очищенной воды до 60% в оборотный цикл; 3) возможность утилизации ценных компонентов; 4) простота конструкций аппаратуры.

Недостатки метода: 1) необходимость предварительной очистки стоков от масел, ПАВ, органики, растворителей, солей жесткости, взвешенных веществ; 2) значительный расход электроэнергии; 3) дефицитность и дороговизна мембран; 4) сложность эксплуатации.

Один из эффективных и технологически простых способов удаления ионы тяжелых металлов из сточных вод – сорбция. Их можно условно поделить на три разновидности: 1) сорбция на активированном угле (адсорбционный обмен); 2) сорбция на ионитах (ионный обмен); 3) комбинированный метод.

Адсорбционный метод является одним из эффективных методов извлечения ионов цветных металлов из сточных вод гальванопроизводства. В качестве сорбентов используют ионно-обменные смолы, активные угли, семена бобовых культур, древесные опилки, а также резиновую крошку и шинный кокс.

Минеральные сорбенты – глины, силикагели, алюмогели и гидроксиды металлов для адсорбции хрома из сточных вод используются мало, так как энергия взаимодействия их с молекулами воды велика – иногда превышает энергию адсорбции.

Наиболее универсальными из адсорбентов являются активированные угли, однако они должны обладать определенными свойствами: а) слабо взаимодействовать с молекулами воды и хорошо с органическими веществами; б)быть относительно крупнопористыми; в)иметь высокую адсорбционную емкость; г)обладать малой удерживающей способностью при регенерации; – иметь высокую прочность; д)обладать высокой смачиваемостью; е)иметь малую каталитическую активность; ж)иметь низкую стоимость.

Процесс адсорбционного извлечения ионов тяжелых металлов из сточных вод ведут при интенсивном перемешивании адсорбента с раствором, при фильтровании раствора через слой адсорбента или в псевдоожиженном слое на установках периодического и непрерывного действия. При смешивании адсорбента с раствором используют активированный уголь в виде частиц диаметром 0,1 мм и меньше. Процесс проводят в одну или несколько ступеней. При использовании высокоактивных сорбентов можно получать воду практически с нулевыми остаточными концентрациями загрязняющих веществ.

Основные недостатки — дефицит ионно-обменных смол и реагентов, сложность процесса обезвреживания или утилизации элюатов. Без решения проблемы утилизации элюатов, образующихся в результате регенерации ионитов, этот способ, с экологической точки зрения, наносит вред окружающей среде, так как с элюатами сбрасывается солей в несколько раз больше, чем содержится в обрабатываемых стоках.

Основным фактором, определяющим эффективность сорбции, является величина pH. Сорбция максимальна при pH = 4, проходит образование продуктов гидролиза. Гранулированный активный уголь, насыщенный нитрогуминовой кислотой, обладает высокой поглотительной способностью по отношению к ионам тяжелых металлов. Фильтровать воду рекомендуется со скоростью 13 м/ч при высоте слоя сорбента более 1,3 м и размере гранул 0,4 мм, время контакта с загрузкой 5–6 мин.

При использовании древесных опилок для очистки вод от ионов Cr^{6+} их предварительно выдерживают в течение суток в растворах 0,1 н. H_2SO_4 (SO_4^{2-}-форма), NaOH (OH-форма) и в дистиллированной воде (H_2O-форма). При pH ≤ 2 развиваются окислительно-восстановительные процессы с переходом Cr^{6+}; в Cr^{3+}; в интервале 3 ≤ pH ≥ 7 протекает процесс сорбции Cr^{6+}. Лучшие показатели сорбции достигаются в интервале 3 ≤ pH ≥ 5, где сорбционная обменная емкость составляет 1,2-1,7 мг/г за 1 сутки 2,2 -3,4 мг/г- за 4 сут. При pH ≥ 7 ионы практически не сорбируются, что, по всей видимости, обусловлено нахождением в растворе мономера CrO_4^{2-}.

Достоинство способа – возможность применения в качестве восстановителя дешевого материала, использование которого не приводит к повышению солесодержания в очищенной среде. Основной недостаток – необходимость регенерации сорбента.

Достоинства метода: 1) очистка до ПДК; 2) возможность совместного удаления различных по природе примесей; 3) отсутствие вторичного загрязнения очищаемых вод; 4) возможность рекуперации сорбированных веществ; 5) возможность возврата очищенной воды после корректировки pH; 6) быстрое осветление раствора и возможность отделения его от осадка позволяет избежать трудоемкую и энергоемкую стадию фильтрации.

Недостатки метода: 1) дороговизна и дефицитность сорбентов: 2) природные сорбенты применимы для ограниченного круга примесей и их концентраций; 3) громоздкость оборудования; 4) большой расход реагентов для регенерации сорбентов; 5) образование вторичных отходов, требующих дополнительной очистки.

Ионообменное извлечение ионов металлов из сточных вод позволяет рекуперировать ценные вещества с высокой степенью извлечения. Ионный обмен – это процесс взаимодействия раствора с твердой фазой, обладающей свойствами обменивать ионы, содержащиеся в ней, на ионы, присутствующие в растворе. Вещества, составляющие эту твердую фазу, называются ионитами. Метод ионного обмена основан на применении катионитов и анионитов, сорбирующих из обрабатываемых сточных вод катионы и анионы растворенных солей. В процессе фильтрования обменные катионы и анионы заменяются катионами и анионами, извлекаемыми из сточных вод. Это приводит к истощению обменной способности материалов и необходимости их регенерации. Наибольшее практическое значение для очистки сточных вод приобрели синтетические ионообменные смолы – высокомолекулярные соединения, углеводородные радикалы которых образуют пространственную сетку с фиксированными на ней ионообменными функциональными группами.

Пространственная углеводородная сетка называется матрицей, а обменивающиеся ионы – противоионами. Каждый противоион соединен с противоположно заряженными ионами, называемыми анкерными. Реакция ионного обмена протекает следующим образом:

RSO3H + NaCL = RSO3Na + HCL

при контакте с катионитом, где R-матрица, H-противоион, SO_3-анкерный ион;

ROH + NaCL = RCL + NaOH
при контакте с анионитом.

Достоинства метода: 1) возможность очистки до требований ПДК; 2) возврат очищенной воды до 95 % в оборот; 3) возможность утилизации тяжелых металлов.

Недостатки метода: 1) необходимость предварительной очистки сточных вод от масел, ПАВ, растворителей, органики, взвешенных веществ; 2) большой расход реагентов для регенерации ионитов и обработки смол; 3) необходимость предварительного разделения промывных вод от концентратов; 4) громоздкость оборудования, высокая стоимость смол; 5) образование вторичных отходов−элюатов, требующих дополнительной переработки.

Этот метод доочистки сточных вод используется для повышения эффективности существующих способов удаления загрязнении. Предлагается комбинировать коагуляционный (электрокоагуляционный) метод с флотацией, используя соли железа, алюминия, магния с добавлением щелочных агентов или связывая шелочно-земельные металлы с соответствующими анионами (фосфаты, силикаты, карбонаты). После осаждения ионов тяжелых металлов (кобальт, ванадий, марганец, хром, цирконий, гафний) в виде гидроксидов технологическая схема включает следующие стадии: смешение, осаждение, образование нерастворимых соединений при добавлении, например, NaOH или Na_2CO_3, ввод ПАВ, флотацию с целью удаления макроколичеств соединений металлов. В оптимальных условиях обеспечивается 98-100%-ная очистка от ионов тяжелых металлов.

Эффективность флотации в значительной степени определяется правильностью выбора собирателей ионов металлов. Высокоэффективными собирателями являются четвертичные аммониевые основания – АБ и ХА, ДАДМАХ, ГСБ; из анионных ПАВ – карбоксильный реагент ЭМКО; из комплексообразующих соединений – техническая смесь паразитов карбоновых кислот (Гидразекс-79М) и ДАТ.

Широкое распространение как в нашей стране, так и за рубежом в настоящее время получил термический метод обработки сточных вод. Все органические вещества окисляются кислородом воздуха при высокой температуре до нетоксических соединений. В результате проведения процесса получают минеральные продукты в виде зол и гранул. В зависимости от условий окисления, технологического оформления процесса и состава обрабатываемых сточных вод различают несколько способов: окисление органических веществ при температуре выше 800°С и давление ниже 0,2МПа кислородом воздуха (сжигание); окисление органических веществ в присутствии катализаторов при температуре 100 – 500°С и давлении до 0,3МПа; окисление органических веществ при давлении выше 0,02МПа, температуре 100 – 300°С и неполным испарением воды. Сжигание проводят в камерных, циклонных, в многоподовых и в печах с псевдоожиженным слоем, в распылительных

печах. Следует отметить, что выбор способа обработки определяется следующими факторами: количеством стоков; их калорийностью; наличием энергоресурсов; требованиями, предъявляемыми к очищенным стокам и экономичностью процесса.

Для предприятий металлообработки сложную проблему представляет обезвреживание сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты, которые входят в состав смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Маслоэмульсионные СОЖ на основе воды подразделяются на три основные группы: не стабильные, стабильные и малостабильные. Нестабильные жидкости приготавливают на живом или растительном масле без эмульгатора или в малом его количестве. Эмульгаторы - вещества, способствующие образованию эмульсий и повышению их устойчивости, благодаря образованию защитной пленки на поверхности возникающих капель, препятствующих их слипанию. Содержание масел в нестабильных эмульсиях составляет 2 – 10% и они предназначены для работы при температуре 60 – 70 С. Малостабильные содержат масла 5 – 10%.

Основными загрязнениями маслоэмульсионных сточных вод является пыль, стружка, индустриальные масла, разнообразные ПАВ, адсорбирующиеся на межфазной границе масло-вода, ориентируясь гидрофобными концами к дисперсной фазе, а гидрофильными к воде.

Для разрушения эмульсии применяются химические реагенты: $AL_2(SO_4)_3$, $ALCL_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCL_2$, $CaCL_2$, $Ca(OH)_2$ 26% раствор NaCL и отработанные травильные растворы, являющиеся отходами травильных отделений прокатных цехов с содержанием 10% свободной серной кислоты.

Установлено, что $Ca(OH)_2$ применять не целесообразно, большой расход, необходимость корректировки pH, что повлечет значительный расход кислоты, обработка H_2S0_4 – значительные дозы, необходимость в кислотоупорных емкостях и дополнительный расход щелочи NaOH, так как $Ca(OH)_2$ исключается из-за образования гипса. Использование только NaCL – нежелательно, так как большой солевой состав приведет к необходимости разбавления стоков.

Основой метода реагентной обработки маслоэмульсионных сточных вод явится процесс коагуляции, механизм которого описан.

Значение коагулянтов заключается в том, что они способны образовывать гидрофобные коллоидные системы, которые при коагуляции дают хлопья, сорбирующие и захватывающие при осаждении частицы загрязнений воды. При введении в воду $AL_2(SO_4)_3$ происходит его диссоциация:

$$AL_2(SO_4)_3 = 2AL^{3+} + 3SO_4^{2-}$$

и гидролиз AL^{3+} с образованием промежуточных соединений ионов $AL(OH)_3$ заканчивающейся получением коллоида малорастворимой гидроокиси алюминия.

$$AL^{3+} + 3H_2O = AL(OH)_3 + 3H^+$$

Наряду с гидроокисью алюминия, в зависимости от условий гидролиза могут образовываться коллоиды основных солей алюминия, дающих также малорастворимые соединения

$AL^{3+} + SO_4^{2-} + H_2O = ALOHSO_4^- + H^+$

$2AL^{3+} + SO_4^{2-} + 4H_2O = [AL(OH)_2]_2 SO_4^- + 4H^+$

Снижение величины pH воды сдвигает коллоидную систему гидроокиси алюминия и основных ее солей от изоэлектрической точки и ухудшает условия коагуляции. Поэтому необходимо, чтобы образующиеся при гидролизе ионы водорода удалялись из сферы реакции. Это осуществляется за счет нейтрализации кислотности, либо бикарбонатными ионами, т.е. естественной щелочностью воды:

$$H^+ + HCO_3^- = CO_2 + H_2O$$

Если щелочность недостаточна, то к воде добавляют известь

$$H^+ + OH^+ = H_2O$$

В качестве коагулянта известно применение алюмината натрия $NaALO_2$ самостоятельно или совместно с сернокислым алюминием. Алюминат натрия в отличии от сернокислого алюминия является щелочным реагентом, поэтому для проведения коагуляции требуется нейтрализация его щелочности, что может быть осуществлено совместным применением алюмината натрия и сернокислого алюминия.

Выбор технологической схемы очистки нефтесодержащих сточных вод предприятий зависит от многих факторов: от состава, свойства и количества производственных сточных вод, возможности и целесообразности извлечений примесей из сточных вод, требований к качеству очищенной воды с целью использования ее в системах повторного и оборотного водоснабжения, условий выпуска в водоем или в городскую канализацию и т.д. Схема очистки сточных вод должна обеспечивать минимальный сброс их в водоемы, максимальное использование очищенных стоков в технологических процессах и системах оборотного водоснабжения. Широкое внедрение водооборота – один из основных путей резкого сокращения свежей воды и сброса сточных вод.

Основной метод очистки производственных сточных вод механический, который включает: отстаивание, центробежное осветление, фильтрацию. Отстаивание – наиболее распространенный метод механической очистки для выделения нефтепродуктов. Сооружениями для отстаивания является отстойники, нефтеловушки.

Очистные сооружения нефтесодержащих стоков (нефтеловушки) - это, как правило, горизонтальные отстойники, оснащенные тонкослойными блоками или без них, с механизмами удаления уловленных нефтепродуктов и осадка.

Эффект очистки нефтеловушек невелик – 70–60 %. Эксплуатация нефтеловушек также затруднительна из-за их больших размеров и малой ремонтопригодности, особенно в период межсезонья и отрицательных температур.

Современным оборудованием станций очистки нефтесодержащих стоков является дифференциатор. Дифференциатор – это малогабаритный аппарат, конструктивно объединяющий в себе восемь очистных устройств: гидроциклон-флокулятор, тонкослойный блок – мультигидроциклон; осветлитель со взвешенным слоем; тонкослойный блок–отстойник; напорный отстойник - отделитель нефти; флотационную камеру; трехпродуктовый гидроциклон - аэратор-флотатор; коалесцирующий фильтр.

До настоящего времени основным применяемым химическим реагентом был сернокислый алюминий. В настоящее время на многих заводах используют флокулянты различных фирм, а также реагент-оксихлорид алюминия.

В последнее время все более широкое распространение получили физико–химические методы очистки, такие как экстракция, сорбция, флотация и другие. Физико-химические методы очистки, в отличие от биологических, могут обеспечивать устойчивую работу сооружений при низкой температуре жидкости, изменении гидравлических и органических нагрузок, а так же pH. Такие методы требуют значительно меньшую продолжительность обработки сточной жидкости. Запуск этих сооружений возможен непосредственно после их монтажа или перерывов в работе, они быстро восстанавливают требуемые параметры процессов очистки сточных вод и обработки осадков.

Наиболее полно изучен флотационный способ очистки сточных вод, содержащих жир, масло, нефть, нефтепродукты. Метод флотации основан на извлечении взвешенных или коллоидных частиц из жидкости в результате их прилипания к пузырькам воздуха, диспергированного или образующегося в этой жидкости. Прикрепившиеся к пузырькам частицы всплывают на поверхность, образуя пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной воде. Сущность производственных флотационных процессов заключается в том, что искусственно созданный в жидкой среде восходящий поток газовых пузырьков захватывает и уносит с собой к поверхности жидкости частицы жира, взвеси, образуя слой пены. Пена удаляется различными устройствами с поверхности очищаемой жидкости на дальнейшую обработку. В зависимости от способа насыщения сточной жидкости различают следующие методы флотации: импеллерную, напорную, вакуумную, электрофлотацию.

Вакуумная флотация основана на понижении давления ниже атмосферного в камере флотатора. При этом происходит выделение воздуха, растворенного в воде. При таком процессе флотации образование пузырьков воздуха происходит в спокойной среде, в результате чего улучшается агрегирование комплексов частица–пузырек и не нарушается их целостность вплоть до достижения ими поверхности жидкости.

Способ импеллерной флотации осуществляют с помощью импеллерного типа машин, которые представляют собой квадратный резервуар, в нижней части которого расположена турбинка - импеллер, соединенная приводом с электродвигателем, находящимся над флотационной машиной. Несмотря на хорошую аэрацию, возможности импеллерной флотации ограничены, так как размер основной массы пузырьков газа, получаемых в машинах, относительно велик: 0,5–1,2 мм. Кроме того, они энергоемки – на 1 $м^3$ очищаемой сточной воды затрачивается до 2,6 кВт/ч электроэнергии. К числу недостатков установок с импеллерной флотацией следует отнести также невозможность использования реагентов. Весьма существенный недостаток – образование больших количеств флотоконцентрата за счет перелива воды.

Известен метод пневматической флотации, которую осуществляют, вводя под напором воздух в жидкость и диспергируя его с помощью пористых материалов. Разновидностью является пенная сепарация, отличающаяся от других видов флотации тем, что очищаемая вода подается во флотатор на сформированный в результате барботирования воздуха пенный слой, т.е. очищаемая жидкость движется навстречу потоку тонко диспергированного воздуха, который, создавая пенный слой, обеспечивает необходимую продолжительность пребывания частиц загрязнений в пене. Попадая в пенный слой, частицы загрязнений закрепляются не только на поверхности пузырьков воздуха, но и на поверхности гидрофобных частиц, которые ранее закрепились на воздушных пузырьках. В результате создается развитая поверхность пены, которая позволяет сократить продолжительность флотации. В машинах пенной сепарации в качестве аэраторов используют специальные перфорированные резиновые трубки, собранные в кассеты.

Проведенные исследования показали, что этот метод дает эффект очистки по нефти 90–95%, по взвешенным веществам 90–96%. К недостаткам метода можно отнести то, что воздух, поступающий во флотационные камеры плохо диспергирует, в результате чего образуются воздушные пузырьки повышенной крупности, что отрицательно сказывается на протекании процесса.

Метод напорной флотации заключается в насыщении сточной воды газом (воздухом) под избыточным давлением, с последующим снижением давления до атмосферного. При этом происходит интенсивная десорбция газа и выделение большого количества мельчайших пузырьков. Пузырьки с прилипшими к ним частичками нефти и взвеси всплывают, что позволяет значительно ускорить процесс выделения нефтесодержащих веществ из сточных вод. Однако, как показал опыт промышленной эксплуатации таких установок, эффект очистки нефтесодержащих сточных вод не превышает 50–60% .

К основным конструктивным недостаткам относятся использование напорного резервуара барботажного типа, не обеспечивающего достаточного насыщения сточных вод воздухом; распределение сточной воды во флотаторе с помощью перфорированных труб, которые быстро забиваются нефтью и взвешенными веществами.

В Курском институте экологической безопасности выпускается ряд высокоэффективных модульных установок напорной флотации с 2–х и 3–х ступенчатой очисткой с производительностью до 20 $м^3$/ч в сочетании с самотечными и напорными фильтрами и адсорберами для извлечения из сточных вод нефтепродуктов, масел, жиров, взвешенных веществ, ПАВ и т.д.

Процесс выделения из жидкости взвешенных частиц путем их флотации газовыми пузырьками, получаемыми при электролизе воды, называют электрофлотацией. В процессе электролиза выделяются электролизные газы: водород, кислород, азот, хлор. Основная часть газов – водород. Преимущество электрофлотации заключается в том, что обеспечивается генерация газовых пузырьков весьма тонкой дисперсности – от 10 до 200 мкм, причем на долю пузырьков от 25 до 40 мкм приходится более 50%. Поверхность пузырьков малого размера обладает большой свободной поверхностной энергией, создает более благоприятный режим в зоне флотации, что увеличивает эффект отчистки.

Положительным также является и то, что при электрофлотации можно в широком диапазоне изменять дисперсность и гранулометрический состав пузырьков путем изменения величины и плотности тока, что имеет большое значение в достижении оптимальных условий для извлечения нефтесодержащих частиц любых размеров. Наличие солей в сточной воде обеспечивает необходимую электропроводность воды и делает процесс экономически целесообразным.

Известен метод электрокоагуляции для отчистки промышленных сточных вод, основанных на электролизе с использованием металлических (стальных или алюминиевых) анодов, подвергающихся электролитическому растворению. Вследствие растворения анодов вода обогащается соответствующими ионами, образующими затем в нейтральной или слабощелочной среде гидроксид алюминия или гидроксид железа, которые под воздействием растворенного в воде кислорода переходят в гидроксид железа.

В результате осуществляется процесс коагуляции аналогичный обработке воды соответствующими солями алюминия или железа. Однако в отличие от применения солевых коагулянтов при электрокоагуляции вода не обогащается сульфатами или хлоридами, содержание которых в очищенной воде лимитируется как при сбросе ее в водоемы, так и при повторном использовании в системах промышленного водоснабжения.

При электрокоагуляции сточных вод, содержащих тонкодиспергированные примеси, протекают и другие электрохимические, физико-химические и химически процессы: электрофорез, катодное восстановление растворенных в воде органических и неорганических веществ или их химическое восстановление, флотация твердых и эмульгированных частиц пузырьками газообразного водорода, выделяющегося на катоде. Кроме того, происходит сорбция ионов и молекул растворенных примесей, а также частиц, эмульгированных в воде примесей, на поверхности гидроксида алюминия (железа), которые обла-

дают значительно сорбционной способностью, особенно в момент образования.

Хлопья гидроксида металла с сорбированными загрязнениями, сталкиваются с пузырьками газа, соединяются с ними и всплывают на поверхность жидкости. Некоторые частицы загрязнений, имеющие хлопьевидную структуру, могут самокоагулировать друг с другом, тем самым увеличивая эффект гетерокоагуляции всей системы.

Для отделения хлопьев коагулянта с сорбированными загрязнениями применяют последующее отставание или флотацию.

Комбинированный метод, включающий электрокоагуляцию и электрофлотацию (электрофлотокоагуляция) отличается высоким эффектом выделения из сточной воды жиров и других загрязнений, более экономичен по расходу электроэнергии и металлических электродов по сравнению с элктрокаогуляцией. При использовании электрофлотокоагуляционной установки отпадает необходимость введения реагентов в очищаемую жидкость. Пена, получаемая при электрокоагуляции, имеет высокую стойкость. При отстаивании она разрушается через 24 часа. Объем флотоконцентратов при установке дюраллюминевых электродов составил 6% от расхода сточных вод, при установки железных – 10%. Влажность полученного флотоконцентрата была соответственно равна 80 и 90%.

Недостатками этого метода являются относительно высокий расход материалов – листового алюминия или железа, а также исключение возможности утилизации отходов, выделенных на этапе реагентной обработки стоков. Несмотря на эти недостатки метод электрофлотокоагуляции более эффективен, чем флотационные методы отчистки или электрокоагуляция; эффект отчистки в электрофлотокоагуляционных аппаратах составляет по нефти 96–97%, по взвешенным веществам – 92–95%.

Исследования по электрокоагуляции успешно ведутся с США, Японии, Франции и других странах. В нашей стране работы в этом направлении были начаты еще в 1931 году В.Д. Абрамкиным. Как показано в работе, наиболее эффективным методом очистки эмульсионных стоков является коагуляция с алюминиевыми электродами.

В Харьковском отделении ВНИИ ВОДГЕО разработан метод электрохимической очистки эмульсионных сточных вод, загрязненных смазочно-охлаждающими жидкостями. В основу работы положено действие электрического тока, совмещенное с подкислением очищаемой жидкости минеральными кислотами до pH=7.

Электрохимический метод очистки сточных вод, однако, не лишен недостатков, которые заключаются в формировании поляризационных пленок на поверхности анодов и засорении электродов осаждающимися скоагулированными взвешенными частицами, гидроокисями и основными солями. Формирование пленок резко увеличивает энергетические затраты и снижает эффективность очистки. Депассивация электродов может быть

классифицирована на три группы: 1 группа – механическое воздействие на анод - катодные отложения; 2 группа – применение химических активаторов процесса электролиза и регенерации электродов; 3 группа – реверсирование тока (смена полярности электродов) и примнение ассиметричного тока.

К первой группе относится использование различных механических очищающих устройств и щеток, повышение скорости потока жидкости через межэлектродный промежуток, проведение в зоне электролиза интенсивного барботажа воздухом.

Ко второй группе можно отнести использование хлоридов для повышения электропроводности воды и снижения анодной депассивации, а также регенерацию отработанных анодно-катодных блоков растворами соляной кислоты.

Сведения по третьей группе методов депассивации свидетельствуют о возможности периодической (с интервалом в несколько секунд до 10–30 минут) смены полярности электродов и протекания на их поверхности противоположных по электрохимической природе процессов.

Использование ассиметричного тока позволяет в зависимости от концентрации нефтепродуктов в воде, регулировать амплитуду импульсов и их длительность.

Во многих районах России перспективно использование такого природного сорбента, как торф, так как это вещество нетоксично, дешево, технология его добычи высокомеханизирована, а сырье широкодоступно. Торфяные болота особенно широко распространены в Западной Сибири, где заторфованность территории нередко достигает 30–40% . Таким образом, существует практически неограниченная сырьевая база для обеспечения ОС дешевыми местными сорбентами.

Торф является природным ионообменником и сорбентом. В нашей стране исследования сорбционных свойств торфа проводятся с 50-х годов.

Исследования ряда российских и зарубежных ученых показывают, что сорбенты из торфа могут поглощать до 8 – 12 кг нефти на 1 кг своей массы. Торф имеет относительно невысокую стоимость, нетоксичен, доступен, широко распространен на территории Российской Федерации, легко поддается различным видам модификации, при утилизации возможно его дальнейшее использование в качестве топлива. Все это позволяет рассматривать торф как перспективное сырье для производства сорбентов, улавливающих НМП (нефтемаслопродукты).

В настоящее время особое значение имеет разработка эффективных и экономичных методов очистки сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов. Для сточных вод, особенно стойких водомасляных эмульсий, традиционные методы очистки (флотация, отстаивание, коагуляция, фильтрование, сорбция) часто являются неэффективными, а в некоторых случаях и невозможными.

Процесс ультрафильтрации с использованием трубчатых элементов БТУ 0,5/2 является одним из наиболее эффективных способов очистки стой-

ких сильнозагрязненных водомасляных эмульсий как за рубежом, так и в России. В зависимости от требований, предъявляемых заказчиком к качеству фильтрата, рассмотрены различные варианты организации технологических схем: одноступенчатая (только ультрафильтрационная очистка), двухступенчатые с дополнительной доочисткой обратным осмосом (нанофильтрацией) или на фильтрах с активированным углем в качестве сорбента.

Гиперфильтрация (обратный осмос) – процесс разделения растворов фильтрованием через мембраны (размер пор $\approx 10\,\text{Å}$), проницаемые для воды и непроницаемые для гидратированных ионов или молекул.

Ультрафильтрация предполагает использование мембран с размерами пор 50 – 2000 Å.

Гиперфильтрация применяется для глубокой очистки сточных вод от взвеси (размер частиц от 1 до 25 мкм и более), коллоидных частиц, бактерий, вирусов, а также опреснения солоноватых вод и извлечения ценных или ядовитых (ртуть) и радиоактивных веществ.

В качестве фильтрующих элементов используют специальные мембраны из ПАА волокон или из ацетатцеллюлозы.

Известен способ биологической очистки воды от трудно окисляемых органических веществ, измеряемых обобщенным показателем мгO_2/л (в диапазоне концентрация от 20 до 3000 мг мгO_2/л) или концентрациями конкретных веществ (хлорлигнин, сульфатный лигнин, хлорфенол, нефтепродуктов).

Для достижения способа исходную воду пропускают снизу вверх через слой активированного угля и подвергают сорбции на активированном угле, поверхность которого непрерывно регенерируется закрепленными на ней микроорганизмами. После прохождения воды через слой взвешенной загрузки вода аэрируется, а затем озонируется с дозой озона 1,2 – 0,5 мг/л. После этого вода снова подается под слой взвешенной загрузки, где ее подвергают сорбции на активированном угле, поверхность которого непрерывно регенерируется биологическим путем. Очищенная вода после многократной циркуляции и достижения эффективности снижения концентрации трудно окисляемых соединений на 20 – 60% удаляется из сооружения.

Биологическое разложение нефти и нефтяных отходов под действием микроорганизмов в естественных условиях происходит очень медленно, зачастую столетиями.

При интенсивном загрязнении биосферы не приходится рассчитывать на самоочищаемость последней. Поэтому интенсификация естественных процессов биологического разложения нефтепродуктов путем культивирования различных видов микроорганизмов, потребляющих нефть для своего питания, является в настоящее время наиболее перспективным методом очистки.

На сегодняшний день известно множество видов микроорганизмов, потребляющих органические вещества нефтепродуктов, причем каждый из них проявляет узкую специфичность.

Анализ литературных источников и патентной документации позволяет сделать следующий вывод:

В практике очистки сточных вод от примесей коллоидно-дисперсионного характера существуют следующие методы: центробежные, флотационные, реагентные, электрохимические, фильтрационные, сорбционные, биологические и их комбинации.

Применение методов и схем обусловлено составом и свойством компонентов, загрязняющих сточную воду, требуемой глубины очистки, экономическими соображениями и региональными условиями.

СХЕМА 120

CXEMA 121

CXEMA 122

Контрольные вопросы

1. Какие реагенты используются для обезвреживания хромсодержащих сточных вод и какие реакции при этом происходят?
2. Достоинства и недостатки реагентного обезвреживания сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов.
3. Когда возможна биологическая очистка сточных вод , содержащих ионы тяжелых металлов.
4. Использование электрокоагуляции и гальванокоагуляции для обезвреживания стоков, сущность данных процессов.
5. Когда применяются методы мембранного разделения и какова их классификация?
6. Суть процесса электродиализа и в чем заключаются достоинства и недостатки данного метода?
7. Ионообменное извлечение ионов тяжелых металлов, достоинства и недостатки метода.
8. Флотационная очистка нефтесодержащих сточных вод и виды ее обработки.
9. Электрокоагуляция нефтесодержащих стоков с использованием ассимитричного тока.
10. В чем суть способа биологической очистки стоков от трудноокисляемых органических веществ?

ЛЕКЦИЯ 25.

Совместная очистка производственных и бытовых сточных вод

План лекции:

Технологические схемы.

Компоновка очистных сооружений. Блокирование очистных сооружений.

Схемы компактных очистных установок. (0,08; 3 *ч*).

Строительство очистных сооружений можно решать локально, однако это приводит к возведению большого числа сооружений малой пропускной способности и соответственно к увеличению капитальных вложений. Затраты на строительство крупных очистных сооружений, принимающих сточные воды от нескольких объектов, даже при условии строительства магистральных коллекторов, значительно ниже затрат на возведение очистных сооружений для каждого объекта в отдельности. Повышение эффективности капитальных вложений связано с укрупнением сооружений по очистке сточных вод путем создания районных схем водоотведения и очистки производственных и бытовых сточных вод. Районная схема включает общие очистные сооружения, водоотводящую сеть с насосными станциями промышленных предприятий и населенными пунктами района. Для разработки районной схемы водоотведения и очистки сточных вод определяется стоимость земли, на которой расположены общие очистные сооружения и все тяготеющие к ним промышленные предприятия и населенные пункты. В этой схеме предусматривается полная очистка смеси производственных и бытовых сточных вод с последующим использованием их в системе оборотного водоснабжения промышленных предприятий или для орошения в сельском хозяйстве. Очистные сооружения проектируются при технико-экономическом обосновании. Внедрение районных схем водоотведения и очистки производственных и бытовых сточных вод в бассейнах рек позволяет снизить капитальные вложения и эксплуатационные затраты.

Принципиальная схема совместной очистки производственных и бытовых сточных вод приведена на рис.123

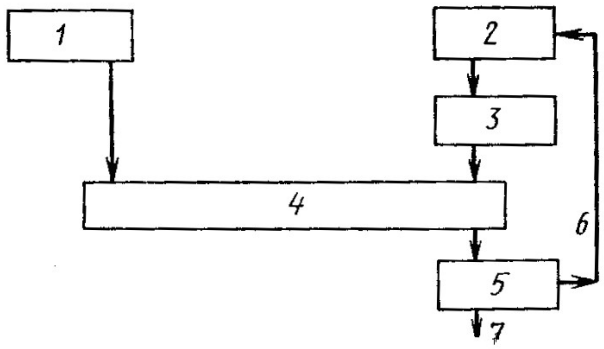


Рис. 123. Принципиальная схема совместной очистки производственных и бытовых сточных вод с повторным использованием очищенных сточных вод. 1 – населенный пункт; 2 – промышленное предприятие; 3 – локальные очистные сооружения; 4 – сооружения биологической очистки; 5 – сооружения доочистки; 6 – водоотводящая сеть; 7 – резервный выпуск в водоем.

Совместная очистка бытовых и производственных сточных вод производится на крупных станциях аэрации с высоким эффектом очистки. Качество сточных вод, прошедших станции аэрации, характеризуется по взвешенным веществам 5 мгO_2/л и БПК 10 мгO_2/л, а при доочистке до 3 и 6 мгO_2/л соответственно.

Глубокая очистка на песчаных фильтрах и обеззараживание на станциях аэрации позволяют довести качество очищенной сточной воды по взвешенным веществам и по БПК5 до 2 мгO_2/л.

Эффективность очистки на станциях аэрации во многом зависит от схемы предварительной очистки сточных вод на промышленных предприятиях перед сбросом их в городскую водоотводящую сеть. На промышленных предприятиях должна осуществляться локальная очистка производственных сточных вод перед спуском их в городскую водоотводящую сеть, а на городских очистных сооружениях – полная совместная биологическая очистка. Работа локальных очистных сооружений должна быть эффективной, так как поступление вредных веществ, нарушающих биохимические процессы, в городскую водоотводящую сеть недопустимо.

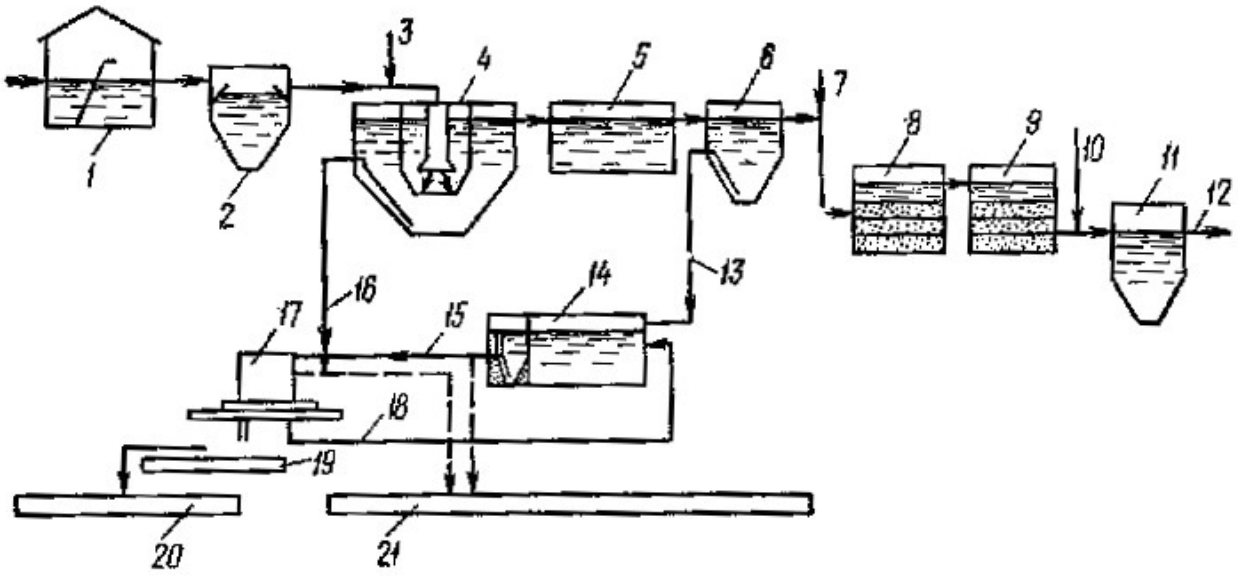


Рис. 124. Технологическая схема сооружений глубокой совместной очистки производственных и бытовых сточных вод. 1 – здание решеток; 2 – песколовка; 3 – трубопровод для подачи коагулянта; 4 – первичный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования; 5 – аэротенк; 6 – вторичный отстойник; 7 – воздухопровод; 8 – фильтр с зернистой загрузкой; 9 – фильтр с цеолитовой загрузкой; 10 – хлоропровод; 11 – контактный резервуар; 12 – трубопровод для очищенных стоков; 13 – трубопровод для подачи избыточного активного ила; 14 – аэробный минерализатор; 15 – трубопровод для подачи стабилизированного активного ила; 16 – трубопровод для подачи сырого осадка; 17 – центрифуги; 18 - трубопровод для возврата фугата; 19 – транспортер для подачи осадка на компостирование; 20 – площадки для компостирования осадка; 21 – аварийные иловые площадки.

Биологическую очистку (рис. 124), будет ли она производится на предприятиях или на городских очистных сооружениях, следует рассматривать как глубокую, обеспечивающую возможность повторного использования очищенных производственных сточных вод. При этом целесообразнее очистку сточных вод осуществлять на крупных (районных) очистных сооружениях, которые проектируются, строятся и эксплуатируются, как правило, на более высоком уровне, чем небольшие очистные сооружения отдельных предприя-

тий. В связи с этим большое значение имеет разработка требований к количеству и качеству производственных сточных вод, направляемых в городскую водоотводящую сеть. Предварительную реагентную обработку сточных вод целесообразно осуществлять на станциях аэрации в тех случаях, когда необходимо повысить степень совместной очистки производственных и бытовых сточных вод или увеличить пропускную способность станции. Такая необходимость возникает в связи с поступлением сточных вод с высокой концентрацией загрязнений, вызванной значительным их содержанием в производственных сточных водах. Сооружения физико-химической очистки, предназначенны для сточных вод с резко колеблющимся притоком по сезонам года, для объектов с большим процентом содержания в городских стоках производственных вод (более 50 %) и для объектов, где необходимо выделение из сточных вод биогенных элементов. Очистные сооружения разработаны для пропускных способностей 1,4; 2,7; 4,2; 7; 10; 17 и 25 тыс. м^3/сут. На рис. 125 показан план очистных сооружений пропускной способностью 17 тыс. м^3/сут.

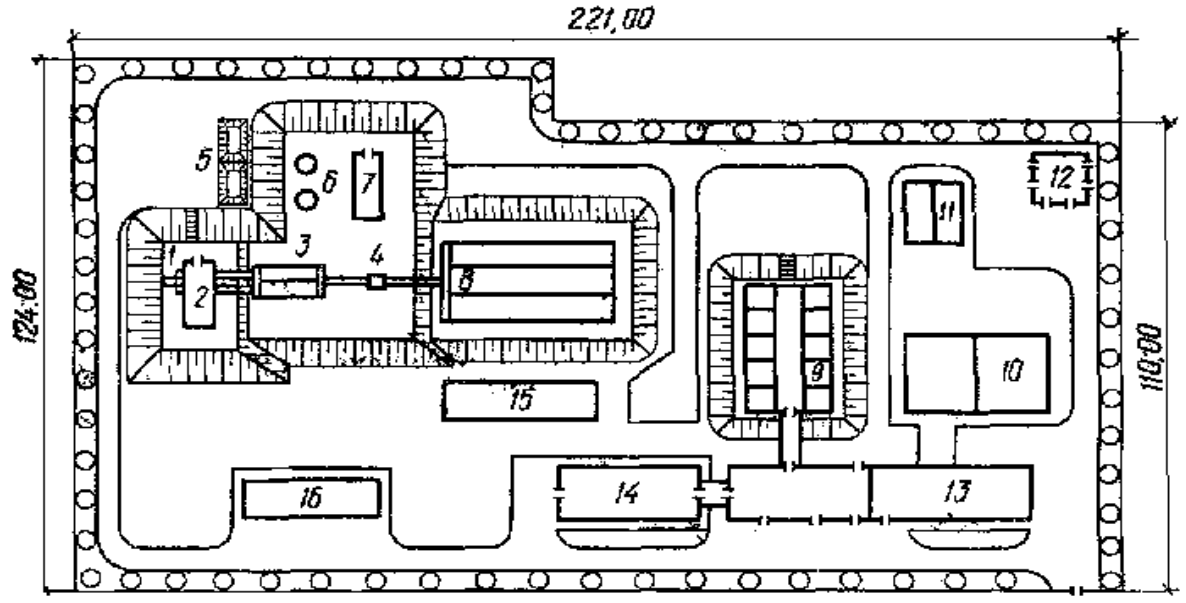


Рис. 125. Схема генплана сооружений физико-химической очистки производственных сточных вод. 1 – приемная камера; 2 – здание решеток; 3 – песколовки аэрируемые; 4 - водоизмерительный лоток; 5 – песковые площадки; 6 – осадкоуплотнитель; 7 – насосная станция песколовок и первичных горизонтальных отстойников; 8 – отстойники горизонтальные шириной 6 м со встроенной камерой хлопьеобразования; 9 – блок фильтров Оксипор; 10 – блок резервуаров; 11 – контактный резервуар; 12 – хлораторная; 13 - производственно-вспомогательное здание; 14 – административно-бытовое здание; 15 – реагентное хозяйство; 16 – сооружения по обработке осадка.

В проекте принята исходная концентрация загрязнений по взвешенным веществам и БПКполн 300 мг/л. Эффект коагуляционной очистки составляет

по содержанию взвешенных веществ до 80%, по БПКполн до 75%, по ХПК до 60 %, по содержанию растворимых фосфатов 70 – 80%.

Сточная вода поступает в приемную камеру, проходит последовательно решетки, песколовки, водоизмерительный лоток и поступает в камеру смешения, куда насосами-дозаторами подается 10%-ный раствор коагулянта. Смешение коагулянта со сточной водой осуществляется сжатым воздухом. Далее сточная вода проходит в камеру хлопьеобразования и попадает в отстойник, после чего дальнейшая очистка осуществляется на фильтрах Оксипор. Фильтрование происходит в нисходящем потоке жидкости при постоянном уровне жидкости над загрузкой который поддерживается с помощью сифона, установленного на трубопроводе фильтрованной воды. Фильтрат собирается распределительной системой и далее отводится на обеззараживание в контактные резервуары. Загрузка фильтра – керамзит крупностью 5 – 10 мм и гравий. В фильтрах предусмотрена непрерывная аэрация сточных вод. Восстановление фильтрующей способности осуществляется водовоздушной промывкой На фильтрах Оксипор происходит снижение $БПК_5$ до 80 %, а концентрации загрязнений по взвешенным веществам до 90 %.

Из фильтров очищенная сточная вода под гидростатическим давлением по трубопроводу поступает в контактный резервуар на обеззараживание жидким хлором. Предусматривается аварийный сброс из приемной камеры и после отстойников в обводной канал.

Для обработки осадка могут быть использованы осадительные центрифуги с последующей сушкой в вакуум-сушилках.

Очистные сооружения систем водоотведения с применением физико-химических методов разработаны ВНИИ ВОДГЕО совместно с Союзводоканалпроектом и предназначаются для глубокой очистки смеси производственных и бытовых сточных вод.

На кафедре ВиВ Института градостроительства, управления и региональной экономики Сибирского федерального университета разработана технология глубокой очистки объектов малой канализации в условиях Сибири и Севера

В процессе очистки бытовых сточных вод малой производительности, в результате неравномерного их отведения, возможны периоды их длительного нахождения в приемном резервуаре и загнивание.

При загнивании жидкости образуются сложные, плохокоагулируемые комплексы, которые должны быть предварительно разрушены или заряды, образующиеся на их поверхности нейтрализованы.

В последние годы в технологии очистки стоков все большее распространение получает электролиз водных растворов, применяемый с целью электрической деструкции как органических так и неорганических соединений.

Механизм электрохимического окисления (или восстановления) органических и неорганических веществ зависит от материала электродов, природы

загрязняющих компонентов, температуры, присутствия посторонних, ингибирующих процесс веществ.

Для разработки технологической схемы глубокой очистки бытовых стоков, были проведены экспериментальные исследования процесса электрокоагуляции с использованием растворимых Al-анодов на натуральных сточных водах.

Электролиз сточных вод на нерастворимых электродах позволяет стабилизировать свойства коллоидных и растворенных частиц для подготовки жидкости к электрокоагуляции.

На основании результатов эксперимента разработана технологическая схема очистки бытовых сточных вод, представленная на рис.126.

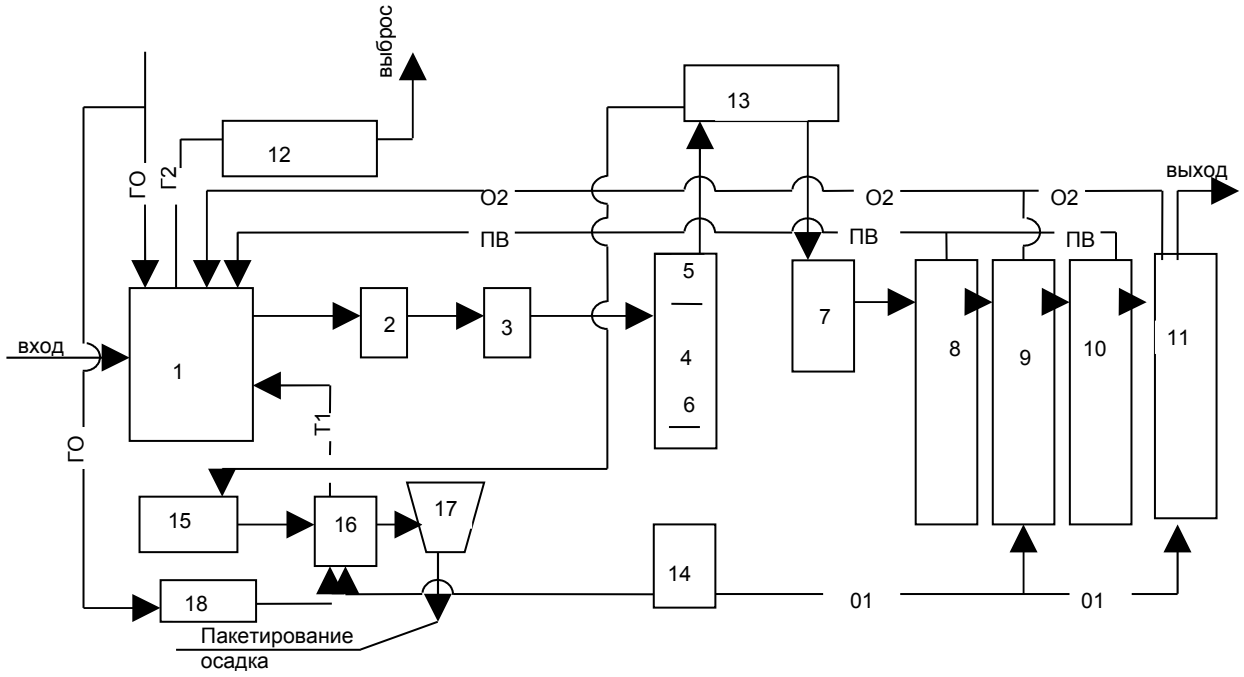


Рис.126. Технологическая схема очистки бытовых сточных вод 1- резервуар-усреднитель, 2 – решетка, 3 – насос, 4 – электрокоагулятор 1 ступени, 5 - электрокоагулятор первой ступени, содержащий алюминиевые электроды, 6 - электрокоагулятор первой ступени, содержащий графитовые электроды, 7 - электрокоагулятор второй ступени с растворимыми анодами, 8,9,10,11 - фильтры первой, второй, третьей и четвертой ступени, 12 – вентилятор,13 – виброфильтр, 14 - озонатор, 15 – виброуплотнитель, 16 - барабанная сушилка-дробилка, 17 – пакетирование, 18 – электрокалорифер

Процесс очистки бытовых сточных вод осуществляется следующим образом: сточная жидкость поступает в резервуар-усреднитель (1), пройдя грубую решетку (2), насосом (3) подается на очистку в электролизер-коагулятор (4) первой ступени, содержащий алюминиевые (5) и графитовые (6) электроды, из которого поступает на виброфильтр (13) для первичного отделения осадка, затем пройдя электрокоагулятор (7) второй ступени с растворимыми анодами, доочищается и обеззараживается в фильтрах (8,9,10,11) первой, второй, третьей и четвертой ступени, которые загружены на первой (8) и третьей (10)- дробленым керамзитом, второй (9) и четвертой (11) – активированным

углем; глубокая очистка и обеззараживание стоков осуществляется путем озонирования в теле фильтра второй (9) и четвертой (11) ступени, озон подается из озонатора (14). Задержанный виброфильтром (13) осадок уплотняется на виброуплотнителе (15) и подается в барабанную сушилку-дробилку (16),высушивается с помощью электрокалорифера (18) и отводится на пакетирование (17).

В предлагаемой технологии очистки сточных вод использованы ячеечные модели в электрокоагуляции и фильтрации, которые позволяют разделить процесс очистки по ступеням с меньшими диапазонами нагрузок по каждой из них и снизить вероятность продольного проскока загрязнений, при этом барботаж сточной воды озоновоздушной смесью осуществляется в теле сорбционно-контактной фильтрующей загрузки — активированного угля.

Надежность технологии обеспечивается:

– первичным электроокислением, которое дает изменение потенциала и образование гипохлоритного иона, являющегося окислителем и обеззараживающим агентом;

– двухступенчатым электрокоагулированием;

– четырехступенчатой фильтрацией;

– использованием контактно-сорбционной загрузки для аккумулирования и усреднения концентрации загрязнений;

– озонированием в теле фильтрующей загрузки для ее непрерывной регенерации;

– дополнительной механической фильтрацией после озонирования в теле фильтрующей загрузки для ее непрерывной регенерации;

– дополнительной механической фильтрацией после озонирования для задержания взвешенных частиц — вновь образованных мицел;

– использованием отработанной озоновоздушной смеси в резервуаре–усреднителе в качестве предозонирования для снижения опасности загнивания сточных вод.

Таким образом, принятая за основу многоступенчатая технология очистки сточных вод, включающая электрообработку, сорбцию, озонирование, соответствует современному уровню техники, высоким требованиям к качеству очищенных сточных вод и может быть использована для решения вопросов глубокой очистки объектов малой канализации в условиях Сибири и Севера, характеризующихся низкими температурами и удаленностью объектов канализования от централизованных систем.

Органы по регулированию использования и охране природных ресурсов и органы санитарно-эпидемиологической службы требуют от всех промышленных предприятий максимального сокращения сброса производственных сточных вод в городскую водоотводящую сеть за счет применения рациональных технологических процессов, частичного или полного водооборота, повторного использования сточных вод, извлечения и использования содержащихся в них ценных веществ, а также обезвреживания токсичных отходов.

Повышению технико-экономических показателей очистных канализационных станций способствует блокировка отдельных сооружений, входящих в состав технологической схемы очистки. Блокировка сооружений позволяет значительно сократить площадь застройки, уменьшить объем строительных работ и в ряде случаев улучшить эксплуатационные показатели сооружений.

В практике проектирования и строительства очистных станций применяются прямоугольные и круглые в плане сблокированные сооружения. Прямоугольные блоки позволяют более рационально использовать территорию застройки, однако круглые во многих случаях могут оказаться предпочтительнее по условиям работы строительных конструкций.

Для расширения очистных сооружений предлагается блок, включающий радиальный первичный отстойник, концентрически расположенные аэротенки с регенератором и вторичный отстойник, оборудованный перемещающимся эрлифтом для перекачивания возвратного активного ила. Новым в сооружении является оборудование зоны вторичного отстаивания тонкослойными блоками, что позволит улучшить его работу путем повышения дозы ила в аэротенке и повышения эффекта осветления иловой смеси.

Схема работы сооружений следующая. Сточная вода, прошедшая решетки и песколовки, поступает в первичный радиальный отстойник. Осветленная вода собирается сборным периферийным лотком и по трубам направляется в зону аэрации аэротенка, куда поступает также регенерированный активный ил из регенератора после смешения его с осветленной водой. Смесь осветленной воды и регенерированного активного ила подается в зону аэрации равномерно по всей окружности зоны через распределительный лоток. Аэрированная иловая смесь через струенаправляющие перегородки поступает во вторичный отстойник, затем, пройдя через тонкослойные блоки, собирается сборным лотком очищенной воды и отводится за пределы блока. Активный ил, осевший во вторичном отстойнике, перекачивается по трубе в регенератор с помощью двух перемещающихся эрлифтов, смонтированных на вращающейся вокруг центральной оси ферме. На этой же ферме смонтированы илоскреб первичного отстойника и насос пеногашения, орошающий при вращении фермы поверхность зоны аэрации иловой смесью. Избыточный активный ил отводится в стационарный лоток, из которого по трубе удаляется за пределы сооружения. Подача воздуха в аэротенк осуществляется через фильтросные керамические трубы.

Основные достоинства описанного сооружения:

– максимальная блокировка сооружений первичного отстаивания и биологической очистки, позволившая сократить площадь застройки, протяженность коммуникаций, уменьшить объем ограждающих конструкций и гидравлические потери; наличие встроенного регенератора, обеспечивающего режим работы аэротенка по принципу реактора полного

– смешения;

– использование для перекачивания активного ила только двух эрлифтов, смонтированных на вращающейся

– ферме;

– возможность обеспечить пеногашение одним насосом, установленным на вращающейся ферме и орошающим поверхность зон аэрации и регенерации;

– наличие в зоне вторичного отстаивания тонкослойных блоков, позволяющих обеспечить работу аэротенка с повышенными дозами ила, с незначительным выносом взвешенных веществ;

– конструктивная схема блока, состоящая из четырех цилиндрических резервуаров, позволяющая использовать стеновые панели заводского изготовления с навивкой предварительно напряженной арматуры.

При проектировании очистных канализационных сооружений, как правило, приходится изымать земли пригородной зоны, которые представляют большую ценность. Поэтому очень важны проектные работы, направленные на уменьшение требуемых под строительство площадей. Для этого вместо многочисленных отдельно стоящих сооружений на очистных станциях применяются сблокированные основные и вспомогательные сооружения.

Так, например, следует объединять: здание решеток, котельную, контору-лабораторию, бытовые помещения, мастерские, трансформаторную подстанцию; илоперегни-ватели, первичные отстойники, аэротенки, вторичные отстойники, контактные резервуары. Все насосные станции могут быть также сблокированы.

На Супруновской очистной канализационной станции Полтавы пропускной способностью 20 тыс. $м^3$/сут сблокированы первичные отстойники, аэротенки и вторичные отстойники, что позволило сократить длину несущих стен аэротенков на 150 м и перегородок на 77 м.

При блокировке сооружений не только уменьшаются площади, но и улучшаются другие показатели: стоимость строительства очистных сооружений пос. Красный Донец снизилась благодаря блокировке сооружений на 18% очистных сооружений Супруновской станции – на 11,7 %. Блокировка сооружений приводит к сокращению протяженности коммуникаций, к уменьшению расхода строительных материалов и эксплуатационных затрат.

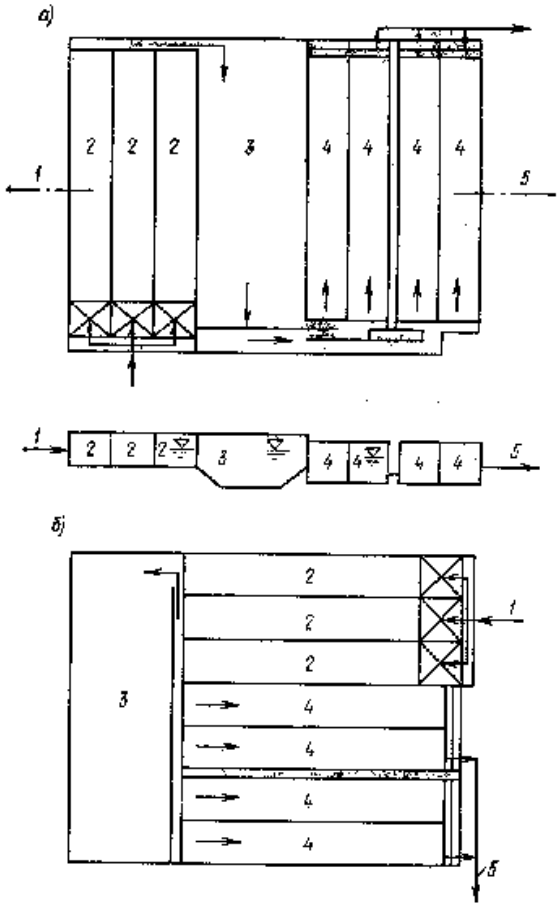
Очевидно, что развитие очистных канализационных сооружений пойдет за счет интенсификации процессов очистки сточных вод и блокировки сооружений.

Дефицит земельных площадей в сочетании с высокой арендной платой за отводимые участки для строительства делает особенно экономически целесообразным применение компактных очистных сооружений. Эффективность компактных решений заключается не только в сокращении строительных площадей, но и приносит такие дополнительные выгоды, как сокращение размеров строительных конструкций технологических коммуникаций и внутриплоща-дочных дорог, уменьшение объема земляных работ, а следовательно, капитальных затрат.

Компактный блок технологических емкостей, включающий первичные и вторичные отстойники, может иметь круглую в плане форму с концентри-

ческим расположением отдельных сооружений. Однако такая компоновка неудобна для дальнейшего развития очистной станции, поэтому специалисты ГДР отдают предпочтение блокам технологических емкостей прямоугольной формы в плане Разработаны три основных типа блоков технологических емкостей (рис. 127): тип I – для объектов пропускной способностью до 25 тыс. м^3/сут; тип II – для объектов 25–50 тыс. м^3/сут; тип III – для объектов 50 тыс. м^3/сут и более.

Компактные очистные сооружения обусловливают переход к прямоугольным в плане отстойникам горизонтального типа, обладающим рядом конструктивных особенностей. Так, если в первичных отстойниках применяются традиционные скребки, которые перемещаются из одного отстойника в другой с помощью тележки, во вторичных отстойниках используются илососы, передвигаемые в продольном направлении. Расстояние между опорами скребковых устройств отстойников, разработанных комбинатом Вассертехник (г. Галле), унифицировано и составляет 4,2; 6; 8,4; 10,4 м. Длина отстойников 30 – 60 м. Для крупных очистных сооружений применяются аэ-ротенки с пневматической системой аэрации, для средних и малых очистных сооружений аэротенки оборудуют вертикальными механическими аэраторами диаметром 0,9; 1,5; 2,4 м с двухскоростным электродвигателем.



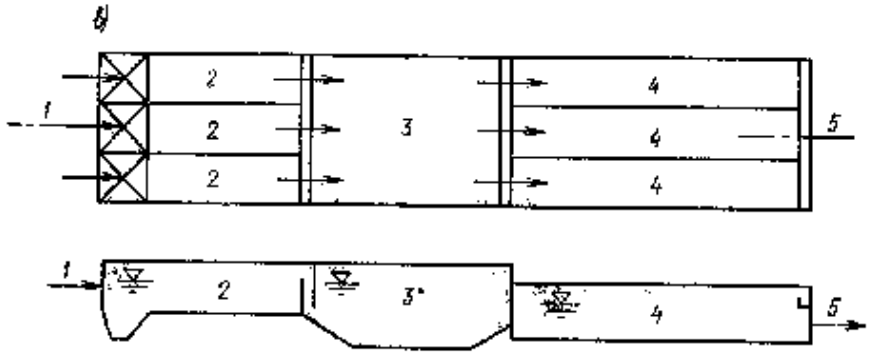


Рис. 127. Схемы компоновки технологических емкостей. *а)*.тип I; *б*). тип II; *в*) тип III; 1 – трубопровод исходной сточной воды; 2 – первичный отстойник; 3 – аэротенк; 4 – вторичный отстойник; 5 – трубопровод очищенной сточной воды.

Компактные очистные сооружения могут быть выполнены как в монолитном, так и в сборном железобетоне (с герметичной заделкой швов шириной 60–80 мм пластифицированным бетоном).

В последнее время для очистки поверхностного стока с отдельных площадей водосбора все более широкое применение находят компактные установки заводского изготовления, которые могут размещаться на поверхности или под землей без перекачки поступающей дождевой воды, что исключает в этом случае ее дополнительное диспергирование насосами и повышает эффективность работы блока механической очистки. Такие установки для локальной очистки поверхностного стока, как правило, проектируются по одной схеме (рис. 128) и включают три зоны: зону грубой очистки (О), тонкослойного отстаивания (ТО) и зону фильтрации с использованием инертной или сорбционной загрузки, а при необходимости и то и другое. Широкое распространение получили блочные комбинированные сооружения заводского изготовления (рис. 128 *а*)

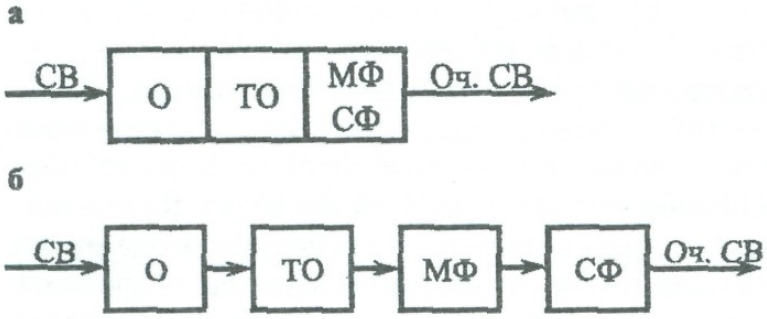


Рис. 128 Принципиальная схема комбинированных (а) и модульных (б) сооружений: О – зона грубой очистки; ТО – зона тонкослойного отстаивания; МФ – механический фильтр; СФ – сорбционный фильтр.

в.

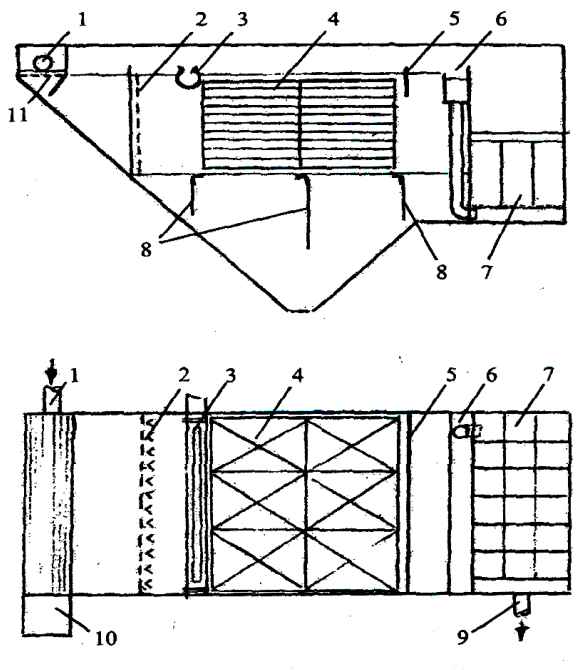


Рис. 129. Конструкция установок для локальной очистки поверхностного стока (*в*): 1 – подача загрязненной воды; 2 – впускные водораспределительные устройства; 3 - нефтесборная труба; 4 – блок тонкослойного отстаивания; 5 – полупогруженная перегородка; 6 – водосборный лоток; 7 – блок адсорбционной очистки; 8 – перегородки; 9 – выпуск очищенной воды; 10 – контейнер для мусора; 11 – съемная решетка.

Для компактных комбинированных сооружений чрезвычайно важное значение имеют конструктивные элементы (впуск, вьшуск, система распределения, конструкция тонкослойных элементов и блоков механической фильтрации и сорбции).

Зона грубой очистки отстаиванием (О) размещается в отдельной секции или предусмотренном специально для этого объеме, предназначенном для выделения грубодисперсных ВВ и нефтепродуктов плавающих и грубодисперсных (d >100–200 мкм).

Зона ТО – предназначена для высокоэффективной тонкослойной очистки и задержания частиц мелкой взвеси и нефтепродуктов диаметром до 30 мкм в безреагентном режиме. Эта зона чрезвычайно важна для эффективной и длительной работы фильтров МФ и особенно СФ.

Зона фильтрации – это зона окончательной очистки до требуемых нормативов на механических или сорбционных фильтрах.

Конструкция блочной комбинированной установки для локальной очистки поверхностного стока, разработанная ОНИЛ ПГУПС, со сменными сорбционными кассетами-контейнерами, заполненными активированным алюмосиликатным адсорбентом (ААА), представлена на рис. 129 *в*. Кассеты, исчерпавшие запас сор-бционной емкости заменяются новыми, а отработавшие – направляются на регенерацию.

Нефтепродукты собираются сорбирующими бонами или отводятся в нефтесборный колодец, и затем вывозятся. Удаление осадка может быть

предусмотрено транспортом или с помощью гидроэлеваторов, Песковых насосов на расположенные рядом площадки складирования.

Подобные сооружения могут использоваться и для очистки производственных сточных вод. Конструкции их весьма разнообразны.

В отечественной и зарубежной практике начинают широко внедрятся установки модульного типа (рис. 129 *б*), позволяющие легко набирать нужный состав сооружений для требуемого качества очистки из отдельных стандартных модулей: резервуара накопителя, оборудованного насосом, модуля грубой очистки, модуля с тонкослойными блоками, модуля с механическим или сорбционным фильтром и т.п., с изготовлением их из стойких материалов (рис. 130,131,132).

Обслуживание таких сооружений периодическое. Следует подчеркнуть, что комбинированные сооружения, в отличие от модульных, сконцентрированы в одном блоке, занимают меньше места и менее материалоемки, что отвечает принципам ресурсосбережения.

Фирмами, работающими в области водопроводно–канализационного хозяйства (ВКХ) рекомендуются многочисленные конструкции локальных сооружений заводского изготовления.

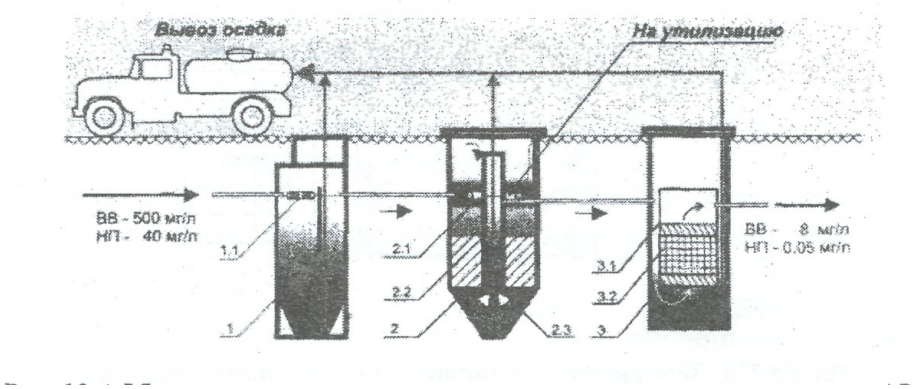


Рис. 130. Модульная установка для очистки ливневых стоков типа AL: 1 – песколовка; 1,1 – нефтесорбирующий бон; 2 – сепаратор – разделитель; 2.1 – нефтесорбирующий бон; 2.2. – тонкослойный модуль; 2.3. – главный трубопровод; 3 – фильтр; 3.1. – корпус; 3.2. – кассеты фильтра.

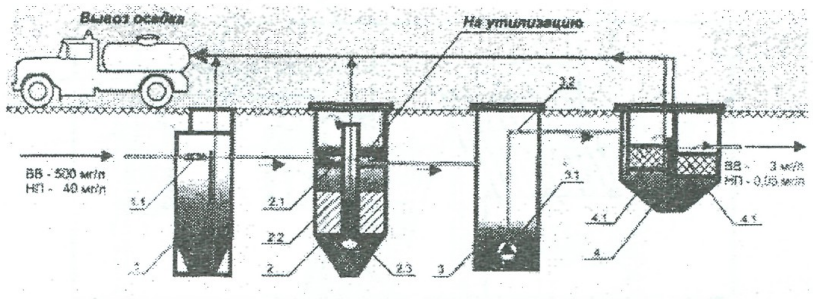


Рис. 131. Модульная установка для очистки ливневых стоков типа BL: 1 – песколовка; 1.1 – нефтесорбирующий бон; 2 – насосная станция; 2.1. – насос; 2.2. – комплект трубопрово-

дов; 3 – установка BL; 3.1. – тонкослойный модуль; 3.2. – кассеты фильтров; 3.3. – нефтесорбирующий бон.

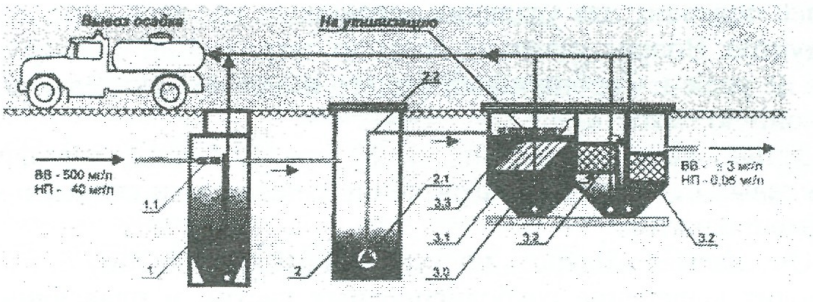


Рис. 132. Модульная установка для очистки ливневых стоков типа FL: 1 – песколовка; 1.1. – нефтесорбирующий бон; 2.2. – тонкослойный модуль; 2.3. – грязевый трубопровод; 3 – насосная станция; 3.1.- насос; 3.2. – комплект трубопроводов; 4 – установка FL; 4.1. - кассеты фильтров.

На рис. 133 показан сепаратор нефтепродуктов SOR.2, для очистки поверхностного стока, включающий отстойную зону, модуль тонкослойного отстаивания с восходящим движением жидкости, коалесцентный фильтр из вспененного полиуретана и сорбционный фильтр, загруженный полимерным волокном–фиброилом. Загрязненная жидкость поступает в отстойную зону 2, затем проходит через блок тонкослойного отстаивания 3, коалесцентный фильтр 4 и поступает в блок сорбции 5.

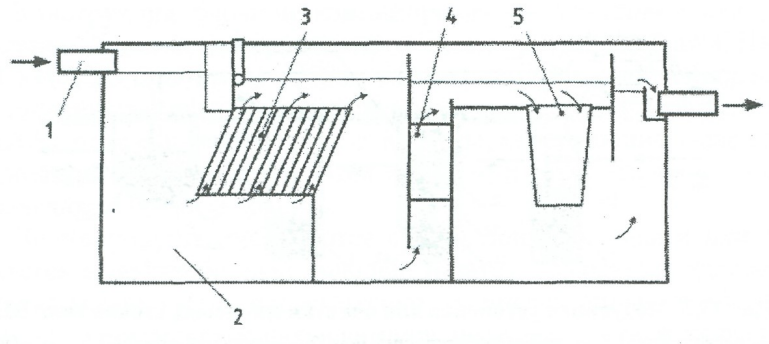


Рис. 133. Сепаратор нефтепродуктов SOR.2: 1 – подвод сточной жидкости; 2 - седиментационный отстойник сепаратора; 3 – блок тонкослойного отстаивания; 4 – коалесцентный сепаратор; 5 – сорбционный фильтр.

В данной конструкции перед блоком тонкослойного отстаивания отсутствуют какие-либо устройства для равномерного распределения воды. Конструкция блока тонкослойного отстаивания более подходит для удаления оседающих веществ, а не нефтепродуктов. Вопрос удаления осевших загрязнений с поверхности дна не решен. Сорбционный фильтр имеет незначительную сорбционную емкость.

Установка «Свирь» (рис. 134) предназначена для очистки дождевых сточных вод загрязненных частицами глины, песка и нефтепродуктов.

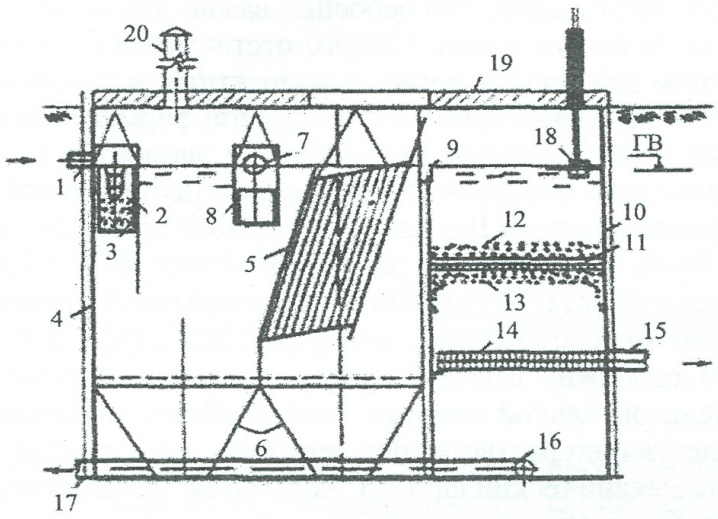


Рис. 134. Установка для очистки дождевых сточных вод «Свирь»: 1 – подвод сточных вод; 2 – пескоулавливающий бункер4 3 – полупогружная перегородка; 4 – отстойная зона; 5 - тонкослойный блок; 6 – приямки для осадка; 7 – труба поворотная; 8 – емкость для нефтепродуктов; 9 – водослив; 10 – фильтр с плавающей загрузкой; 11 – решетка; 12 – щебень; 13 – плавающая загрузка; 14 – дренаж большого сопротивления; 15 – отвод очищенных сточных вод; 16 – дренаж малого сопротивления; 17 – отвод промывной воды и осадка; 18 – указатель уровня; 19 – перекрытие; 20 – вентиляционная труба.

Очищаемая жидкость поступает в отстойную зону 4, где происходит выделение грубодисперсных частиц и плавающих нефтепродуктов, которые собираются поворотной трубой 7. Далее жидкость попадает в блок тонкослойного отстаивания 5, проходя который через перелив 9 подается на фильтр 12, 13.

Отсутствие распределительных устройств перед блоком тонкослойного отстаивания, при значительном объеме зоны грубой очистки установки, не обеспечивает эффективного потокораспределе-ния. Наличие бункера для уплотнения осадка упрощает процесс его удаления. В то же время, модуль тонкослойного отстаивания не способен эффективно удалять мелкие примеси, что, несомненно, будет сказываться на продолжительности работы фильтров.

Установка для физико–химической очистки ливневых стоков типа УФХ (рис. 135), включает усреднитель стока 1, камеру хло-пьеобразования с плавающей загрузкой 11, полочный (тонкослойный) отстойник 12 и фильтр с плавающей загрузкой 13. Данная установка не имеет эффективных устройств для равномерного потокораспределения, что снижает коэффициент объемного использования. Применение камеры хлопьеобразования 11 с грубозернистой загрузкой обеспечивает хорошие условия для агломерации загрязнений, что особенно важно для тонкослойного отстаивания. В блоках тонкослойного отстаивания с восходящим и нисходящим движением потока в компактных установках часто применяются трубчатые элементы различной формы, а также гофрированные полки. Применение трубчатых элементов во многих случаях приводит к перерасходу материала и нестабильной работе из-за засоре-

ния осадком. Для интенсификации процесса удаления осадка из блока тонкослойных элементов может быть предусмотрена вибрация блока и гидрофобизация поверхности элементов.

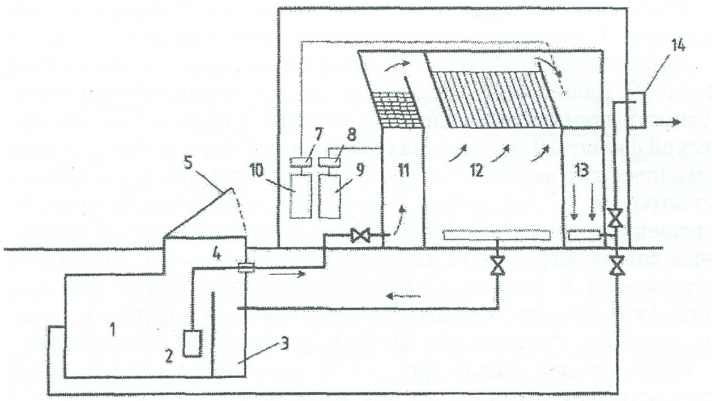


Рис. 135. Установка для очистки ливневых стоков типа УФХ: 1 – подача стока; 2 – насос; 3 – осадкоуплотнитель; 4 – переходный модуль; 5 – люк; 8,8 – насосы дозаторы; 9 - раствор хлорамина; 10 – фильтр с плавающей загрузкой; 14 – пьезометр.

Как было отмечено ранее, поверхностный сток в большом количестве содержит высокодисперсные взвеси. При недостаточной предварительной очистке, слой сорбента задерживает не только молекулярно растворенное вещество, но и данные взвеси, работая как механический фильтр. Кольматаж межзерновых пустот слоя сорбента обуславливает быстрое возрастание потерь напора. При этом возникает опасность преждевременного нарушения нормальной работы установки, что подтверждается опытом эксплуатации локальных сооружений. Кроме того, при фильтровании поверхностного стока через слой сорбента сверху вниз пузырьки воздуха или газов, выделившиеся из сточной воды, блокируют отдельные участки слоя зерен, что нарушает равномерность распределения потока по всему сечению слоя.

В установке «Свирь» очищаемая жидкость поступает в отстойную зону 4, где происходит выделение грубодисперсных частиц и плавающих нефтепродуктов, которые собираются поворотной трубой 7. Далее жидкость попадает в блок тонкослойного отстаивания 5, проходя который через перелив 9 подается на механический фильтр 10, затем — на сорбционный фильтр. Конструкция механического фильтра в целом реализует принцип двухслойного фильтрования. Слой щебня 12 позволяет выровнять нагрузку по взвешенным веществам, обеспечивая более однородный дисперсный состав загрязнений, поступающих на фильтр с плавающей загрузкой 13. В фильтре с плавающей загрузкой реализован принцип фильтрования в направлении убывающей крупности зерен, что повышает грязеемкость фильтра, увеличивает фильтроцикл.

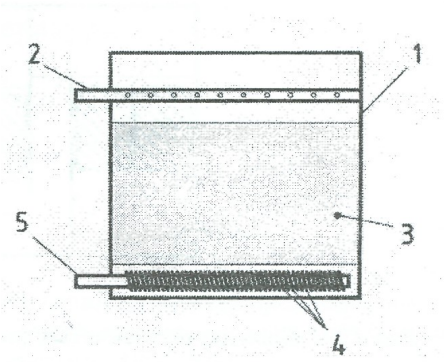


Рис. 136. Сорбционный фильтр «Свирь» 1 – корпус; 2 – подводящий трубопровод; 3 – сорбент; 4 – дренаж; 5 – отводящий трубопровод очищенных сточных вод.

Сорбционный фильтр (рис. 136) выполнен в виде стальной прямоугольной емкости, по дну которой проложен дренажньш трубопровод, а в верхней части имеется труба для подвода сточных вод. Нижняя часть фильтра заполняется сорбентом (активированным углем или подобным материалом). Известно, что эффективная работа аппаратов со стационарным слоем адсорбента во многом зависит от равномерности распределения и сбора очищенной воды по площади адсорбера. Использование в конструкции сорбционного фильтра дренажа в виде дырчатой трубы с намоткой из оцинкованной проволоки с шагом 0,5 мм позволяет достигать равномерного сбора жидкости по площади адсорбера.

Преимущество той или иной конструкции компактного модуля сорбционной очистки определяется совокупностью многих факторов: видом используемого сорбента, типом сорбционного слоя, равномерностью распределения очищаемой жидкости по площади модуля, геометрическими характеристиками модуля, направлением течения жидкости, режимом работы установки.

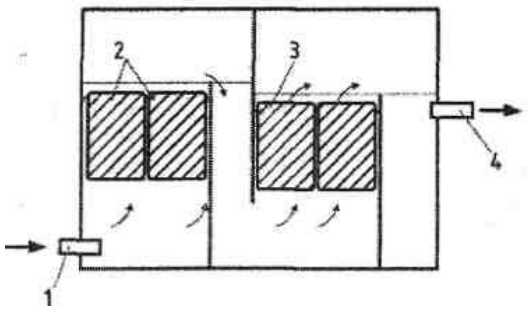


Рис. 137. Блок двухступенчатых фильтров ОАО «Севзапналадка»: 1 – подача загрязненной жидкости; 2 – кассетные фильтры первой ступени; 3 – кассетные фильтры второй ступени; 4 – отвод очищенной жидкости.

Достаточная степень предварительной очистки поверхностного стока перед подачей его на сорбционную очистку во многом обуславливает надежность и продолжительность работы загрузки. Эффективность и экономичность процесса в значительной степени определяется видом используемого

сорбента. Использование недорогих, эффективных сорбентов, позволяет снизить стоимость очистки поверхностного стока. Представляется перспективным использование модифицированных адсорбентов на керамической основе, к ним относится активированный алюмо-силикатный адсорбент (ААА), обеспечивающий:

— возможность направленного изменения его поверхностных свойств в процессе синтеза и регенерацию загрузки непосредственно в фильтре;

— малую агрессивность по отношению к материалу емкостей, трубопроводов и другого используемого оборудования;

— высокую эффективность сорбции неполярных и малополярных гидрофобных примесей (нефтепродуктов), а также тяжелых металлов;

— экологичность;

— пожаробезопасность.

В целом технологическая схема и состав сооружений для очистки поверхностного стока промышленных предприятий, а также очищаемый объем стока, должны назначаться в соответствии с местными условиями и экологическими нормативами на основании технико-экономического сравнения вариантов.

Контрольные вопросы

1. Схема совместной очистки производственных и бытовых сточных вод.
2. Что необходимо предусматривать для глубокой совместной очистки производственных и бытовых сточных вод?
3. Схема локальной установки физико-химической очистки бытовых и производственных сточных вод.
4. Как осуществляется процесс очистки бытовых сточных вод при многоступенчатой технологии обработки?
5. Когда можно использовать многоступенчатую технологию физико – химическую обработки бытовых сточных вод?
6. В чем преимущество сблокированных сооружений для очистки сточных вод?
7. Схемы компоновки технологических емкостей.
8. Какие основные и вспомогательные сооружения можно объединять?
9. Какие новые технические решения можно использовать для расширения очистных сооружений?
10. Как можно уменьшить требуемые под строительство площади?

ОГЛАВЛЕНИЕ

МОДУЛЬ 1.	ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И ВОДООТВЕДЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	3
Лекция 1	*Общие сведения о водоотводящих системах промышленныхпредприятий.……*	3
Лекция 2	*Особенности устройства и расчета систем водоотведения на промышленных предприятиях.……*	15
Лекция 3	*Виды приемников и условия приема производственных сточных вод.……*	21
МОДУЛЬ 2	МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД…….	30
Лекция 4.	*Общие сведения по очистке производственных сточных вод. Механическая очистка (процеживание сточных вод)*.	30
Лекция 5.	*Усреднение сточных вод по расходу и концентрации загрязнений. ……*	35
Лекция 6.	*Гравитационное разделение. Конструкции и основные расчеты сооружений.……*	41
Лекция	*Удаление механических примесей в поле центробежных сил.*	

7. …… 59
Лекция 8. *Фильтрование сточных вод, конструкции фильтров……* 66
Лекция 9. *Химические методы очистки производственных сточных вод. Нейтрализация сточных вод реагентным и фильтрационным способом.……* 91
Лекция 10. *Окислительный метод очистки.……* 98
Лекция 11. *Физико-химическая очистка производственных сточных вод. Коагуляция……* 110
Лекция 12. *Флокуляция. Интенсификация процесса коагуляции.* 118
Лекция 13. *Электрохимическое коагулирование……* 125
Лекция 14. *Флотационная очистка. ……* 132
Лекция 15. *Сорбционные методы очистки производственных сточных вод в статических условиях……* 139
Лекция 16. *Адсорбционная очистка производственных сточных вод в динамических условиях……* 143
Лекция 17. *Экстракционные методы очистки производственных сточных вод. ……* 148
Лекция 18. *Очистка производственных сточных вод методом ионного обмена……* 156
Лекция 19. *Применение электродиализа и гиперфильтрации для обессоливания производственных сточных вод……* 162
Лекция 20. *Биологическая очистка производственных сточных вод. Конструкции сооружений……* 169
Лекция 21. *Биологическая очистка высококонцентрированных сточных вод. Доочистка биологически очищенных сточных вод……* 183
МОДУЛЬ 3. МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД…… 191
Лекция 22. *Особенности методов и конструкций сооружений по обработке осадков производственных сточных вод……* 191
Лекция 23. *Основные методы обезвоживания и утилизации осадков производственных сточных вод……* 202
МОДУЛЬ 4. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ В СХЕМАХ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД И ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ 0,056 216
Лекция *Особенности очистки сточных вод и обработки осадков пред-*

24. *приятий металлообработки. …….* 216
Лекция 25. *Совместная очистка производственных и бытовых сточных вод. Блокирование очистных сооружений. Схемы компактных очистных установок……..* 235

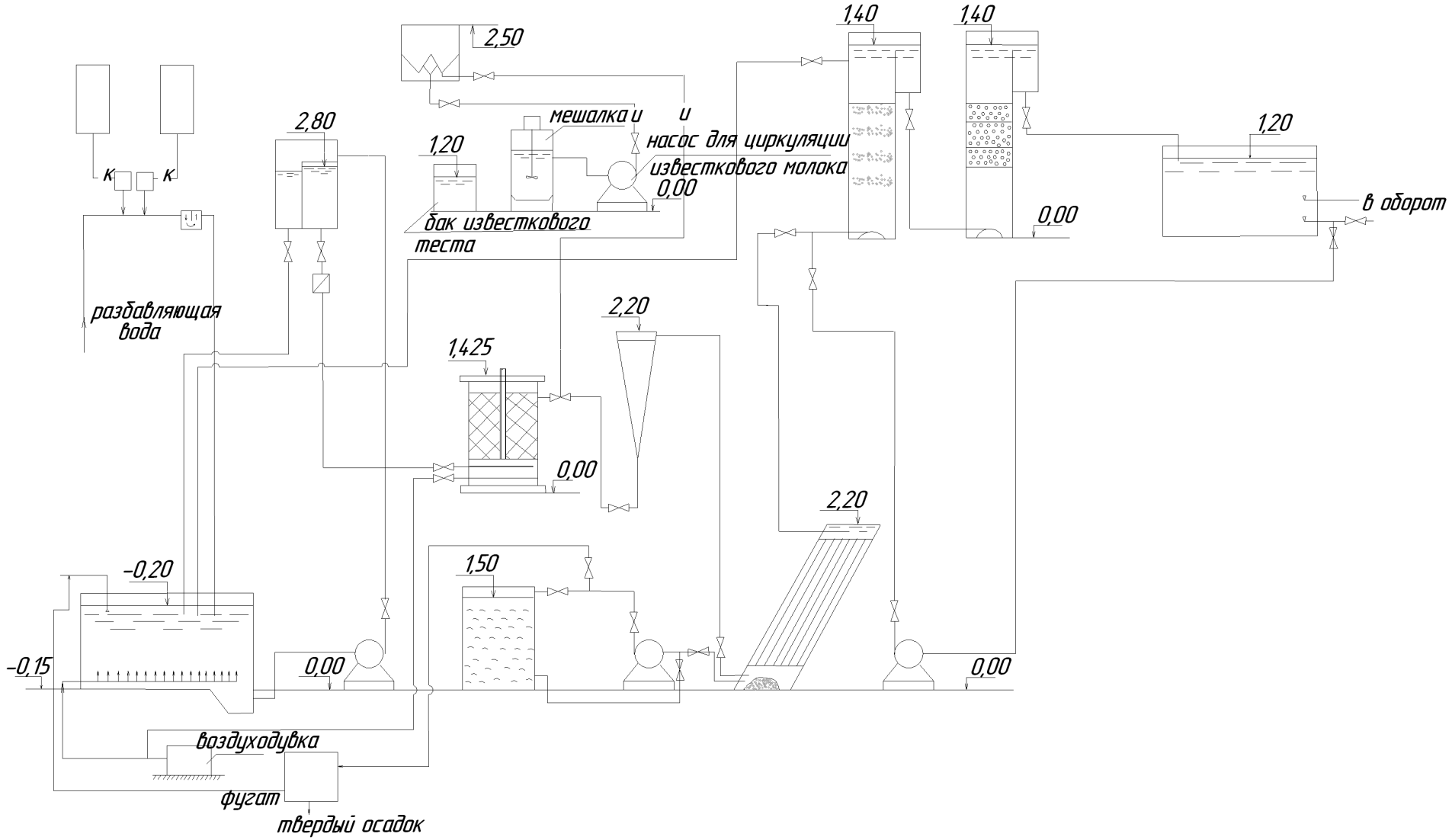


Рис. 120. Технологическая схема локальной установки гальванокоагуляционной обработки хромсодержащих сточных вод

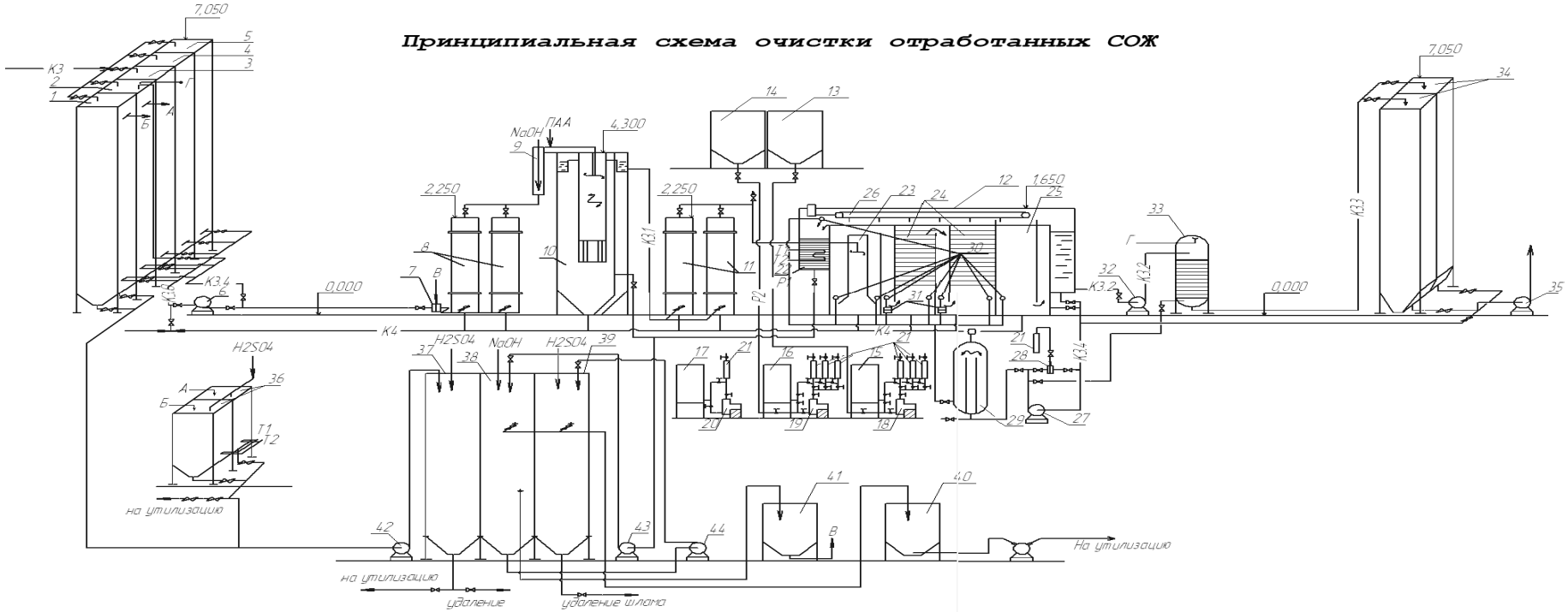


Рис. 121 – Резервуар приема эмульсии; 2,3,4,5 – резервуары приема вод 1 – ой, 2 – ой,3 – ой, 4 – ой промывки; 6 - насосы подачи стоков на очистку; 7 - эжектор для ввода регенирированного раствора коагулянта; 8,11 – электролизеры 1 – ой и 2 – ой ступени; 9 – трубчатый смеситель; 10 – вертикальный отстойник; 12 – флотатор напорный; 13 – бак хранения кислоты, 14 – бак хранения щелочи; 15 – расходный бак кислоты; 16 - расходный бак щелочи; 17 – расходный бак флокулянта; 18 – насос дозатор кислоты; 19 – насос дозатор щелочи; 20 – насос дозатор флокулянта; 21 – расходомеры-ротаметры; 22 – сборный карман для флотирования отходов; 23 – смесительная камера; 24 – флотационные камеры; 25 – отстойная камера; 26 – скребковый механизм; 27 – рециркуляционный насос; 28 – водовоздушный эжектор; 29 – напорный бак; 30 – распредилительный трубы; 31 – диафрагмы; 32 – насос подкачки; 33 – напорный фильтр доочистки; 34 – РЧВ; 35 – насосы технической воды; 36 – резервуары для сбора пенного продукта; 37 – резервуар для обработки осадков из резервуаров 1 и 2; 38, 39 – резервуар для обработки маслосодержащих жидких отходов 1 и 2 ступени; 40 – резервуар для сбора масла; 41 – резервуар для сбора раствора регенерированного коагулянта; 42 – насос для перекачки осадков из резервуаров 1 и 2; 43,44 – насосы для жидких маслосодержащих отходов 1 – ой и 2 – ой ступени;К3 – трубопровод подачи отработанных эмульсий и растворов; К3.0 – трубопровод подачи стоков на очистку; К3.1, К3.2 – трубопровод стоков после 1-ой и 2-ой ступени очистки; К3.3 – трубопровод очищенной воды; К3.4 – трубопровод рециркуляции; К4 – трубопровод опорожнения; Р1,Р2 – трубопроводы кислоты и щелочи; Т1,Т2 – теплопровод подающий и обратный

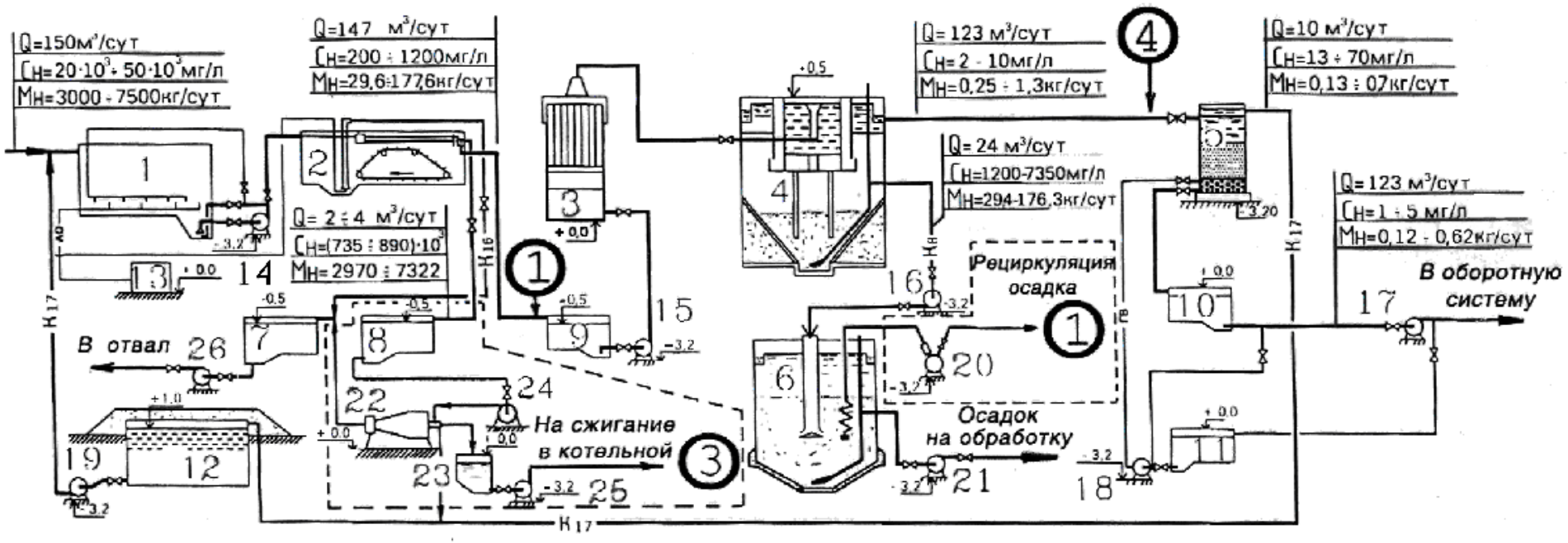


Рис. 122. Технологическая схема очистки маслоэмульсионных сточных вод металлургического завода.

Состав сооружений: 1 – резервуар – усреднитель; 2 – нефтеловушка; 3 – напорный электролизер; 4 – вертикальный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования; 5 – скорые фильтры с зернистой загрузкой; 6 – шламонакопитель; 7 – бак замасленных отходов удаляемых из приямка нефтеловушки; 8 – бак для сбора из нефтеловушки пленочных нефтепродуктов; 9 – промежуточный резервуар; 10 – резервуар чистой воды(РЧВ); 11 – резервуар горячей воды(РГВ); 12 – резервуар загрязненной воды после промывки фильтров(РПрВ); 13 – воздуходувки; 14 – насосная станция первого подъема; 15 – насосная станция второго подъема; 16 – насос перекачки осадка; 17 – насосы технической воды; 18 – насос промывной воды; 19 – насос перекачки промывной воды; 20 – насос рециркуляции осадка; 21 – насос подачи осадка на обработку; 22 – центрифуга; 23 – емкость для сбора масла; 24 – насос подачи пленочных отходов на центрифугу; 25 – насос подачи масла на сжигание; 26 – песковой насос. Примечание: пунктиром на технологической схеме показаны предлагаемые технологии.