

6.5 Химическая очистка сточных вод

Химическую и физико-химическую очистку обычно применяют для производственных сточных вод на локальных канализационных очистных сооружениях предприятий. Кроме того, химические методы применяются для предварительной очистки сточных вод перед биологической или физико-химической очисткой. Химическая обработка также применяется в качестве метода глубокой очистки сточных вод с целью их дезинфекции, обесцвечивания или извлечения из них различных компонентов. При локальной очистке производственных сточных вод в большинстве случаев предпочтение отдается химическим методам.

К основным химическим способам очистки относятся нейтрализация, окисление, восстановление, реагентные методы выделения загрязняющих веществ в виде малорастворимых и нерастворимых соединений. К окислительным методам относится также электрохимическая обработка.

Нейтрализация применяется для обработки производственных сточных вод, содержащих кислоты и щелочи. В большинстве кислых сточных вод содержатся соли тяжелых металлов, которые необходимо выделять из этих вод.

Наиболее простым и распространенным методом физико-химической очистки является нейтрализация, которая заключается в подкислении щелочных вод ($\text{pH} > 8,5$) и подщелачивании вод с $\text{pH} < 6,5$. При наличии на производстве кислых и щелочных вод нейтрализация достигается их смешением. При отсутствии одной из категорий вод нейтрализация осуществляется путем добавки реагента. Для нейтрализации кислых вод лучше всего использовать отходы щелочей – гидроксид натрия или калия, не дающие осадка. При использовании гидроксид кальция в виде известкового молока образуется шлам, который необходимо удалять, обезвреживать и утилизировать. Нейтрализация кислых вод достигается также фильтрованием их через слой известняка, доломита, магнезита, шлака или золы.

Существует три способа нейтрализации

1) Взаимная нейтрализация кислых и щелочных сточных вод. Режимы сброса сточных вод, содержащих кислоту и отработанную щелочь, как правило, различны. Кислые воды обычно сбрасываются в канализацию равномерно в течение суток и имеют постоянную концентрацию. Щелочные воды сбрасываются периодически по мере того, как сбрасывается щелочной раствор. В связи с этим для щелочных вод часто необходимо устраивать регулирующий резервуар. Из резервуара эти воды равномерно выпускают в камеру реакции, где в результате смешения их с кислыми сточными водами происходит взаимная нейтрализация. Данный метод широко используют на предприятиях химической промышленности.

2) Нейтрализация реагентами (используется гашеная $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и негашеная CaO известь, кальцинированная Na_2CO_3 и каустическая NaOH сода). Известь для нейтрализации применяют в виде известкового молока 5%-й концентрации или в виде порошка. Если на промышленных предприятиях имеются только кислые или только щелочные сточные воды, либо если невозможно обеспечить взаимную нейтрализацию, применяют реагентный метод. Этот метод наиболее широко используют для нейтрализации кислых вод. Поскольку в кислых и щелочных производственных сточных водах практически всегда присутствуют ионы металлов, то дозу реагента определяют с учетом выделения в осадок солей тяжелых металлов. Процессы реагентной нейтрализации производственных сточных вод

осуществляются на нейтрализационных установках или станциях. Время контакта сточных вод и реагента должно быть не менее 5 мин. Для кислых сточных вод, содержащих растворенные ионы тяжелых металлов, это время должно быть не менее 30 мин.

3) Нейтрализация кислых сточных вод путем фильтрования через нейтрализующие материалы (известь, известняк, мел, магнезит, доломит). Нейтрализацию соляно-, азотно-, а также сернокислых сточных вод при концентрации серной кислоты не более 1,5 г/л осуществляют на непрерывно действующих фильтрах с вертикальным движением нейтрализуемых вод. При концентрации кислоты более 1,5 г/л количество образующегося сульфата кальция превышает его растворимость (2 г/л), и он начинает выпадать в осадок, в результате чего нейтрализация прекращается. Крупность фракций материала загрузки составляет 3-8 см; расчетная скорость фильтрования зависит от вида загрузочного материала, но не более 5 м/ч; продолжительность контакта не менее 10 мин. Применение таких фильтров возможно при условии отсутствия в кислых сточных водах растворенных солей тяжелых металлов, поскольку при $pH > 7$ они будут выпадать в осадок в виде труднорастворимых соединений, которые полностью забивают поры фильтра.

4) Нейтрализация дымовыми газами. Применение для нейтрализации щелочных сточных вод отходящих газов, содержащих диоксида углерода, серы и азота и другие кислые газы, позволяет не только нейтрализовать сточные воды, но и одновременно осуществлять высокоэффективную очистку самих газов от вредных компонентов. Нейтрализация производится в колонной абсорбционной аппаратуре, расчет которой основан на закономерностях хемосорбции. Процесс нейтрализации может быть проведен в реакторах с мешалкой, в распылительных, пленочных и тарельчатых колоннах.

Выбор способа нейтрализации зависит от многих факторов:

- вида и концентрации кислот, загрязняющих производственные сточные воды;
- расхода и режима поступления отработанных вод на нейтрализацию;
- наличия реагентов, местных условий и т.п.

Окислительный метод применяется при водоподготовке и для обезвреживания производственных сточных вод, содержащих токсические примеси (цианиды, фенолы), а также для извлечения из сточных вод веществ, которые нельзя или нецелесообразно извлекать другими методами.

Метод применяется в следующих отраслях промышленности: машиностроительной (в цехах гальванических покрытий); горнодобывающей (на обогатительных фабриках); нефтехимической (на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах); целлюлозно-бумажной и других.

Реагентами (окислителями) являются хлор и его производные (хлорная известь, гипохлорит кальция и натрия, хлорная известь, диоксид хлора), озон, технический кислород и кислород воздуха. Хлорирование является наиболее распространенным методом обеззараживания. Хлорирование применяют для удаления из сточных вод фенолов, цианидов, сероводорода и других соединений, а также для борьбы с биологическими обрастаниями сооружений.

Озонирование применяется для очистки сточных вод от фенолов, нефтепродуктов, сероводорода, соединений мышьяка, ПАВ, цианидов, красителей, канцерогенных ароматических углеводов, пестицидов и др. Для окисления этих

веществ озонородную смесь вводят в воду, в которой озон диссоциирует. Растворимость озона в воде зависит от ее pH. В слабощелочной среде озон диссоциирует очень быстро, а в кислотной проявляет большую стойкость. Озон получают в генераторах из кислорода воздуха под воздействием электрического разряда. Генераторы озона подразделяются на цилиндрические с трубчатыми горизонтальными или вертикальными электродами; плоские с пластинчатыми электродами и центральным коллектором или продольной циркуляцией. Озонирование является дорогим методом.

Восстановительный метод применяют для очистки сточных вод от соединений металлов (ртути, хрома, мышьяка, меди), нитритов, нитратов, сульфатов и др. Для каждого вещества используется свой метод восстановления и соответствующие реагенты - восстановители. В настоящее время имеется большое разнообразие методов восстановления.

Физико-химические методы играют существенную роль при обработке производственных сточных вод. Физико-химическая очистка сточных вод включает множество различных способов, которые могут использоваться как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, биологическими и химическими методами очистки. Она обеспечивает удаление как твердых взвешенных частиц, так и растворенных примесей. Рассмотрим основные методы физико-химической очистки.

Коагуляция (реагентный метод) – дестабилизация коллоидных систем загрязнений (процесс укрупнения дисперсных частиц за счет их взаимодействия и объединения в агрегаты). Коагуляция сопровождается прогрессирующим укрупнением частиц и уменьшением их общего числа в объеме жидкости. Производственные сточные воды в большинстве случаев представляют собой слабоконцентрированные эмульсии или суспензии, содержащие коллоидные частицы размером 0,001–0,1 мкм, мелкодисперсные частицы размером 0,1–10 мкм, а также частицы размером 10 мкм и более. В процессе механической очистки из сточных вод достаточно легко удаляются частицы размером 10 мкм и более. Мелкодисперсные и коллоидные частицы практически не удаляются.

Для осаждения мельчайших взвешенных и коллоидных частиц к воде добавляют реагенты – раствор коагулянта (чаще всего применяют соли алюминия и железа – сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$ и хлорное железо $FeCl_3$, а также соли магния, шламовые отходы и отработанные растворы отдельных производств). В результате реакции коагулянта с солями, содержащимися в воде, образуются хлопья, которые при осаждении увлекают за собой взвеси и коллоидные вещества. Хлопья затем удаляются отстаиванием из нижней части аппарата.

Приготовление и дозирование коагулянтов производят в виде растворов или суспензий. Растворение коагулянтов осуществляют в баках. Затем концентрированные расходы коагулянтов перемешивают с водой в специальных смесителях различного типа. В камерах хлопьеобразования происходит образование хлопьев коагулянта.

Для интенсификации образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа и снижения расхода коагулянтов используют флокулянты. Флокуляция – разновидность коагуляции, процесс агрегации дисперсных частиц под действием высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. В процессе флокуляции мелкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии, под влиянием

флокулянтов образуют интенсивно оседающие рыхлые хлопьевидные скопления. В качестве флокулянтов используют природные и синтетические органические полимеры, чаще всего полиакриламид, а также крахмал, поливиниловый спирт, диоксид кремния.

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

Сорбция - это процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом или жидкостью. Различают три вида сорбции:

- абсорбция - поглощение вещества всей массой жидкого сорбента;
- адсорбция - поглощение вещества поверхностным слоем твердого или жидкого сорбента;
- хемосорбция - сорбция, сопровождающаяся химическим взаимодействием сорбента с поглощаемым веществом.

Сорбция представляет собой один из наиболее эффективных методов глубокой очистки от растворенных органических веществ сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной, химической, нефтехимической, текстильной и других отраслей промышленности. Сорбционная очистка может применяться самостоятельно и совместно с биологической очисткой. Преимуществами метода являются возможность адсорбции веществ многокомпонентных смесей, а также высокая эффективность очистки, особенно слабokonцентрированных сточных вод. Метод сорбции применяется для извлечения из сточных вод ценных растворенных веществ (фенол, мышьяк, сероводород) с их последующей утилизацией и использованием очищенных сточных вод в системах оборотного водоснабжения.

Сорбционная очистка рекомендуется для сточных вод, загрязненных ароматическими соединениями, слабыми электролитами или неэлектролитами, красителями, непредельными соединениями, гидрофобными алифатическими соединениями. Метод сорбционной очистки сточных вод не рекомендуется применять для выделения из сточных вод только неорганических соединений, а также низших одноатомных спиртов.

Адсорбцию осуществляют следующими способами:

- к сточной воде добавляют сорбент в размельченном виде, полученную смесь перемешивают, затем отстаивают и фильтруют;
- сточные воды непрерывно пропускают через фильтр, загруженный сорбентом.

В качестве сорбентов применяют различные искусственные и природные пористые материалы: активированные угли, цеолиты (алюмосиликаты), золу, шлак, коксовую мелочь, торф, опилки. Эффективными сорбентами являются активированные угли различных марок. Пористость углей составляет 60-75%, а удельная площадь поверхности - 400-900 м²/г. Адсорбционные свойства активированных углей в значительной мере зависят от структуры пор, их величины, распределения по размерам. Макропоры и переходные поры играют, как правило, роль транспортирующих каналов, а сорбционная способность активированных углей определяется в основном микропористой структурой (микропоры имеют размер менее 0,004 мкм). Активность сорбента характеризуется количеством поглощаемого вещества на единицу объема или массы сорбента (кг/м, кг/кг).

Адсорбция используется для глубокой очистки вод замкнутого водопотребления и доочистки сточных вод от органических веществ, в том числе и

от биологически жестких. Аппараты для сорбционной очистки сточных вод классифицируются по разным признакам:

- по организации процесса - периодического и непрерывного действия;
- по гидродинамическому режиму - аппараты вытеснения, смешения и промежуточного типа;
- по состоянию слоя сорбента - с неподвижным, движущимся, пульсирующим, перемешиваемыми циркулирующим слоем;
- по организации контакта взаимодействующих фаз - с непрерывным и ступенчатым контактом;
- по организации направления движения фаз - с прямоточным, противоточным и ступенчатым контактом;
- по конструкции - колонные и емкостные;
- по способу подвода энергии - без подвода энергии извне (гравитационное движение фаз) и с подводом энергии извне (принудительное движение твердой и жидкой фаз).

На рисунке 6.5.1 представлены установки сорбционной очистки сточных вод.

Обычно сорбционная установка состоит из нескольких параллельно работающих секций, состоящих из трех-пяти последовательно расположенных фильтров.

Флотация - процесс молекулярного прилипания частиц флотируемого материала к поверхности раздела двух фаз, обычно воздуха и жидкости. Флотация основана на всплывании дисперсных частиц вместе с пузырьками воздуха. Метод применяется для очистки сточных вод, содержащих ПАВ, нефть и нефтепродукты, жиры, масла, волокнистые частицы. Процесс очистки состоит в образовании комплексов «частицы - пузырьки воздуха», всплывании этих комплексов на поверхность жидкости с образованием пенного слоя, содержащего загрязнение, и последующего удаления этого слоя с поверхности.



Рисунок 6.5.1. Цилиндрический одноярусный адсорбер

Существуют различные способы флотационной обработки производственных сточных вод.

1) Флотация с выделением воздуха из раствора (вакуумные, напорные и эрлифтные флотационные установки). Сущность метода состоит в создании пересыщенного раствора воздуха в сточной воде, при выделении которого образуются макропузырьки, позволяющие удалять сильнодиспергированные загрязнения. Количество воздуха, выделяющегося из раствора и необходимого для

обеспечения эффективной флотации, составляет 1-5% от объема обрабатываемой воды.

Вакуумная флотация используется для очистки сточных вод, если концентрация загрязнений в них не превышает 250 мг/л. Способ характеризуется достаточно низкими энергозатратами на проведение процесса флотации, а также высокой стабильностью всплывающих агрегатов «частица - пузырек воздуха» (вероятность их разрушения минимальна). Недостатками способа кроме указанного выше ограничения по концентрации загрязнений в сточных водах является достаточно высокая сложность создания и эксплуатации вакуумных систем.

2) Напорная флотация позволяет очищать сточные воды с начальной концентрацией загрязнений 4,5-5 г/л и более. Очищенная вода насыщается в сатураторе воздухом под избыточным давлением 0,3-0,5 МПа. Продолжительность насыщения – 1-3 мин. Количество растворяющегося в сатураторе воздуха составляет 3 - 5% от объема обрабатываемой воды. Насыщенная воздухом вода направляется во флотационную камеру, где из нее выделяются пузырьки воздуха, которые взаимодействуют с загрязнителями и переводят их в слой пены на поверхности воды. Образующаяся пена удаляется в пеносборник. Продолжительность флотации составляет около 20 мин.

Напорная флотация позволяет регулировать степень пересыщения в соответствии с требуемой эффективностью очистки сточных вод. Флотаторы могут представлять собой отстойники радиального типа со встроенной флотационной камерой, имеющей механизм для сгребания пены.

3) Флотация с механическим диспергированием воздуха создается в импеллерных установках. В них интенсивное перемешивание сточной воды производится импеллером, расположенным на дне камеры, который диспергирует засасываемую струю воздуха на отдельные пузырьки определенного размера. Перемешанные в импеллере вода и воздух выбрасываются через статор. Решетки, расположенные вокруг статора, способствуют более мелкому диспергированию воздуха в воде. Пена, содержащая флотируемые частицы, удаляется лопастным пеноснимателем.

4) Флотация с подачей воздуха через пористые материалы отличается простотой аппаратного оформления и относительно малыми расходами энергии. Воздух во флотационную камеру подается через мелкопористые фильтросные пластины, трубы, насадки и другие барботажные устройства, уложенные на дне камеры. Величина отверстий находится в пределах 4-20 мкм, давление воздуха 0,1-0,2 МПа, продолжительность флотации 20-30 мин. Недостатком этого метода является возможность зарастания и засорения пор, а также трудность подбора мелкопористых материалов.

Экстракция - метод избирательного растворения. Это процесс разделения примесей в смеси двух нерастворимых жидкостей (экстрагента и сточной воды). Метод применяется при высоком (не менее 3 г/л) содержании в сточных водах растворенных органических веществ, представляющих техническую ценность (фенолы, масла, жирные кислоты), а также для выделения тяжелых цветных металлов.

В качестве экстрагентов используют углеводороды, спирты, водные растворы неорганических кислот и щелочей и др. Например, для выделения фенола сточную воду смешивают с бензолом (растворителем).

Процесс протекает в такой последовательности:

- в сточную воду вводят экстрагент;
- после достижения равновесия концентрация вещества в экстрагенте значительно превышает остаточную концентрацию в сточной воде;
- производят отделение и утилизацию загрязняющего вещества.

Экстрагент после этого вновь используется в технологическом процессе очистки. Для успешного протекания процесса экстракции экстрагент должен иметь следующие свойства:

- хорошую экстрагирующую способность (высокий коэффициент распределения);
- селективность (способность экстрагировать из воды одно вещество или определенную их группу);
- малую растворимость в воде; - плотность, значительно отличающуюся от плотности воды;
- низкую степень токсичности, взрыво- и пожароопасности;
- низкую стоимость и др.

Для очистки сточных вод наиболее часто применяют противоточные многоступенчатые установки. В этих установках практически полностью используется емкость экстрагента.

Различают горизонтальные, вертикальные и центробежные смесительно-отстойные экстракторы. Каждая ступень имеет смесительную и отстойную камеры. Смеситель представляет собой вертикальный цилиндр, имеющий сферическое днище и гладкую внутреннюю поверхность или отражательные перегородки на стенках.

Ионный обмен является одним из основных способов умягчения, опреснения и обессоливания вод, а также способом рекуперации растворенных ионных компонентов. Ионный обмен (ионообменная сорбция) - процесс обмена между ионами, находящимися в растворе, и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы (ионита). Это извлечение из сточных вод загрязнений с помощью ионитовых фильтров. Иониты подразделяются на природные и искусственные (синтетические). Они заполняются синтетической ионообменной смолой, цеолитами. Метод позволяет извлекать из сточных вод ценные примеси, такие как соединения мышьяка, фосфора, хром, ПАВ, радиоактивные вещества, тяжелые цветные металлы. Метод применяется для очистки сточных вод предприятий металлургической, химической, машиностроительной и других отраслей промышленности.

Сточные воды, содержащие катионы металлов, проходят через фильтры, при этом происходит обмен ионами, находящимися в растворе и на поверхности твердой фазы. Металлы задерживаются в фильтре.

Важнейшим свойством ионитов является их поглощательная способность. Характерной особенностью ионитов является их обратимость, т. е. возможность проведения реакции в обратном направлении, что и лежит в основе их регенерации.

Различают ионообменные установки периодического и непрерывного действия. Установки периодического действия - это различные ионитные фильтры и колонны, а также устройства для перемещения жидкостей (насосы), емкости для хранения и контрольно-измерительная аппаратура.

По обмениваемому иону фильтры делят на катионитные, анионитные и фильтры смешанного действия, по технологическому применению - на фильтры различных ступеней. По способу проведения регенерации различают параллельно-

точную, противоточную и ступенчатую регенерацию. Цикл работы периодических установок включает: ионный обмен, взрыхление слоя ионита, регенерацию ионита и его отмывку от регенерирующего раствора.

Установки для непрерывного ионообмена обладают более высокой производительностью, они более компактны и экономичны как по расходам реагентов, так и по энергозатратам.

На рисунке 6.5.2 представлена схема ионитового фильтра (или адсорбера) с неподвижным слоем поглотителя. Основные узлы этих емкостных аппаратов – распределительные и дренажные устройства для воды и регенерирующего раствора.

Метод эффективен, экологичен, но не нашел широкого применения из-за дефицита ионообменных смол и необходимости регенерации ионитов.

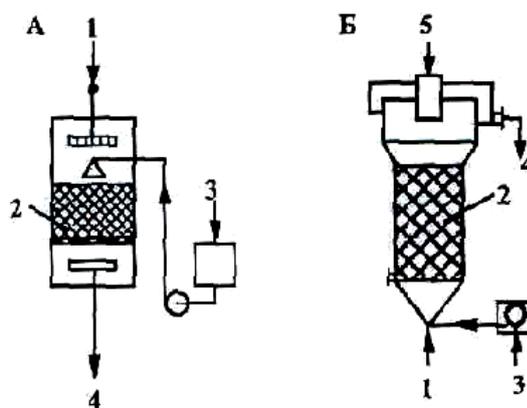


Рисунок 6.5.2 – Установки ионообменной очистки:

А-периодического действия; Б-непрерывного действия

1-загрязненная вода; 2-гранулы ионита; 3-раствор для регенерации ионита; 4-очищенная вода; 5-добавка ионита

6.6 Установки для электрохимической очистки сточных вод

Для очистки производственных сточных вод широко применяются также электрохимические методы: анодное окисление и катодное восстановление, электрокоагуляция, электрофлотация, электродиализ и другие. Методы электрохимической очистки сточных вод используют для выделения из них различных растворимых и диспергированных органических и неорганических примесей. Методы характеризуются достаточной простотой технологической схемы, при очистке не используются химические реагенты. К недостаткам этих методов относятся большие затраты электроэнергии.

Электролизеры. Устройства, в которых происходят те или иные процессы электрохимического воздействия на водные растворы, называют электролизерами. Общая принципиальная схема таких устройств представлена на рисунке 6.6.1.

Вода поступает в емкость, в которую погружены два электрода, соединенные источником тока.

Под действием электрического поля положительно заряженные ионы мигрируют к отрицательному электроду - катоду, а отрицательно заряженные ионы - к положительно заряженному электроду - аноду. На электродах происходит переход электронов. Катод отдает электроны в раствор, и на нем происходят процессы восстановления, а на аноде - процессы окисления.

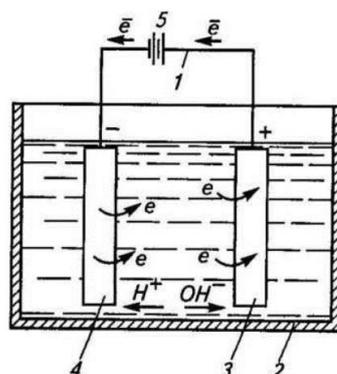


Рисунок 6.6.1 - Схема электролизера

1 - внешняя цепь; 2 - емкость; 3 - анод; 4 - катод; 5 - источник питания

В качестве анодов используют графит, магнетит, свинец и его соединения, кремниевые сплавы и др. Катоды изготавливают из графита, молибдена, сплава вольфрама с железом или никелем, нержавеющей стали и ряда других веществ.

Иногда представленную схему усложняют, разделяя пористой полунепроницаемой перегородкой (диафрагмой или ионообменной мембраной) катодное и анодное пространства. Назначение перегородки - не допускать смешения растворов, препятствовать диффузии, переносу нерастворимых частиц, не затрудняя при этом переноса ионов. Тогда поступающая на обработку вода либо последовательно проходит каждую из двух образовавшихся камер, либо циркулирует в одной из них.

В зависимости от природы процессов, протекающих в таких аппаратах и обеспечивающих извлечение или обезвреживание загрязняющих компонентов, электролизеры разделяют на следующие типы: электрофлотаторы, электрокоагуляторы, электролизеры для проведения реакций окисления и восстановления и электродиализаторы.

Такими методами сточные воды очищаются от цианидов, роданидов, нитросоединений, формальдегида, сульфидов, меркаптанов и ряда других веществ.

Электрокоагуляционный метод очистки сточных вод получил наибольшее распространение из всех известных электрохимических методов. Процесс аналогичен обработке воды соответствующими реагентами, однако при электрокоагуляции вода не обогащается сульфатами или хлоридами, содержание которых лимитируется при сбросе очищенных сточных вод в водоемы или использовании в оборотных системах.

Электрокоагулятор обычно представляет собой корпус прямоугольной формы, в который помещают электродную систему - ряд (блок) электродов. Расстояние между электродами не более 20 мм. Обрабатываемая вода протекает между электродами. По форме и расположению электродов бывают аппараты с плоскими и цилиндрическими электродами, расположенными обычно вертикально. Аноды и катоды часто изготавливают из одного и того же материала, что позволяет повысить ресурс работы аппарата, периодически изменяя полярность электродов. Электроды чаще всего изготавливают из железа или алюминия. Под действием постоянного электрического тока аноды растворяются с образованием гидроксидов или солей металлов, способных к коагуляции.

Как правило, электрокоагулятор служит только для образования гидроксидов металлов и агрегации частиц. Процесс разделения фаз производят в других

аппаратах - отстойниках, гидроциклонах и др. Есть конструкции, в которых эти процессы совмещены и протекают в одной камере.

Метод используется в системах локальной очистки сточных вод, загрязненных тонкодисперсными и коллоидными примесями. Очистка производится от различных эмульсий, масел, жиров, нефтепродуктов, некоторых полимеров, соединений хрома и других тяжелых металлов. Метод используется преимущественно в гальваническом производстве. Эффективность очистки составляет: от нефтепродуктов и масел 54-68%, от жиров - 92-99%. Электрокоагуляционные установки имеют производительность 50 м³/ч. Метод также находит применение в системах водоподготовки в процессах осветления, обесцвечивания, обеззараживания и умягчения воды.

Электрокоагуляция применима главным образом для очистки нейтральных и слабощелочных сточных вод. Применение электрохимических методов целесообразно при относительно высокой электропроводности сточных вод, обусловленной наличием в них неорганических кислот, щелочей или солей (при минимальной концентрации солей, равной 0,5 г/л). При низких концентрациях солей к сточным водам добавляют электролиты (обычно NaCl), повышающие электропроводность сточных вод, в результате чего снижаются удельные затраты электроэнергии на их обработку.

К достоинствам метода относятся универсальность, компактность установки, простота управления. Недостатки метода: существенный расход электроэнергии и металлов, пожаро- и взрывоопасность установки за счет выделения водорода (на катоде).

В качестве примера рассмотрим электрокоагуляционную установку непрерывного действия для очистки сточных вод, содержащих нефтепродукты и другие загрязнения в мелкодисперсном состоянии (рисунок 6.6.2). Обрабатываемая вода проходит сначала предварительную грубую очистку в механическом фильтре и гидроциклоне. Электрокоагуляционный аппарат является флотатором-отстойником. Часть скоагулированных примесей флотируется, другая осаждается в нижней части аппарата.

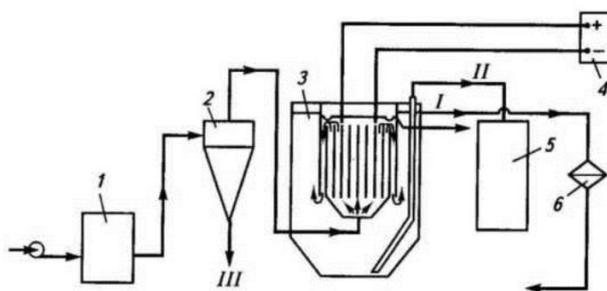


Рисунок 6.6.2 - Схема электрокоагуляционной установки для очистки воды от нефтепродуктов

- I - поток воды, прошедшей очистку; II - линия удаления осадка из электрокоагулятора;
III - удаление осадка из гидроциклона;
1 - механический фильтр для грубой очистки; 2 - гидроциклон; 3 - электрокоагулятор; 4 - источник тока; 5 - сборник; 6 - фильтр

Сущность электрофлотационной очистки сточных вод заключается в переносе загрязняющих частиц из жидкости на ее поверхность с помощью пузырьков газа, образующихся при электролизе сточной воды. Устройства, в которых производится процесс, называют электрофлотаторами. В процессе электролиза сточной воды на

катоде выделяется водород, а на аноде - кислород. Основную роль в процессе флотации играют пузырьки, выделяющиеся на катоде (основные флотационные процессы протекают с участием водорода). Методами электрофлотации очищают сточные воды нефтеперерабатывающих заводов, целлюлозно-бумажных комбинатов и других предприятий.

Одновременное воздействие на загрязнения коагулянтов (гидроксидов железа или алюминия) и пузырьков газа обеспечивает высокую эффективность очистки сточных вод. Такие установки называют электрокоагуляционно-флотационными. При эксплуатации электрофлотационных установок следует учитывать существенное количество водорода и кислорода, выделяющихся при протекании процесса, и принимать соответствующие меры безопасности.

Существуют однокамерные и двухкамерные электрофлотационные установки, горизонтального или вертикального типа. Схема горизонтального электрофлотатора приведена на рисунок 6.6.3.

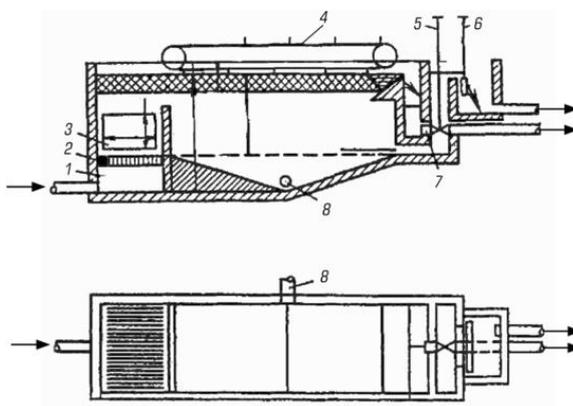


Рисунок 6.6.3 - Схема горизонтального электрофлотатора

1 - впускная камера; 2 - решетка-успокоитель; 3 - электродная система; 4 - скребки для сгребания пены; 5 –регулятор отвода шлама; 6 –регулятор уровня на выпуске воды; 7 - шламоприемник; 8 –выпуск осадка

Таким образом, суть электродных процессов при электрокоагуляции сводится к следующему:

- генерация в процессе анодного растворения металла коагулянта - гидроксида соответствующего металла;
- подщелачивание воды в процессе электролиза;
- получение на катоде газообразного водорода, который может быть использован для обеспечения флотации скоагулированных примесей.

6.7 Биологическая очистка сточных вод

После механической обработки в воде остаются часть взвешенных веществ, растворенные органические вещества и большое количество микроорганизмов. Биологический метод основан на использовании жизнедеятельности аэробных микроорганизмов, для которых органические вещества сточных вод (в растворенном и коллоидном состоянии) являются источником питания. При наличии свободного кислорода в сточных водах микроорганизмы окисляют (минерализуют) органические вещества.

Основной целью биологической очистки городских сточных вод являются разложение и минерализация органических веществ, находящихся в коллоидном и растворенном состоянии. Эти вещества нельзя удалить из стоков механическим путем. Распад и минерализация органических веществ при биологической очистке сточных вод происходит так же, как и в естественных условиях. Освобождение сточных вод от органических веществ происходит в две фазы. Первая - фаза сорбции. В основе ее лежат физико-химические процессы адсорбции органических веществ и коллоидов поверхностью микробной клетки. Вторая фаза - последовательное окисление растворенных и адсорбированных органических веществ, в основе которого лежит усвоение микроорганизмами органических веществ.

Условиями жизнедеятельности микроорганизмов являются:

- температура в пределах 20 - 30°;
- pH в пределах 6,5-7,5;
- БПК_{полн} : N : P = 100 : 5 : 1;
- концентрация кислорода не менее 2 мг/л;
- БПК_{нач} < 5000 мг/л; БПК_{кон} < 10 мг/л;
- невысокое содержание токсичных веществ (в пределах ПДК), в противном случае гибнет микрофлора.

Очистка сточных вод биологическим методом производится в естественных условиях и в искусственно созданных сооружениях.

Очистка сточных вод в естественных условиях. Способ очистки сточных вод в естественных условиях известен с древних времен. Он используется в основном для очистки бытовых и городских сточных вод, а не чисто производственных. Для очистки сточных вод применяют поля орошения, поля фильтрации и биологические пруды (биопруды).

А) Поля орошения - это специально подготовленные (спланированные) участки земли для приема предварительно очищенных (прошедших механическую очистку) сточных вод с целью их доочистки.

При фильтрации сточных вод через почву в ее верхнем слое задерживаются взвешенные и коллоидные вещества, образующие на поверхности густонаселенную микроорганизмами пленку. Пленка адсорбирует на своей поверхности растворенные вещества, находящиеся в сточных водах. Микроорганизмы минерализуют органические вещества с использованием растворенного кислорода. Затем эти участки используют для сельскохозяйственных целей, на них выращивают сельскохозяйственные культуры, то есть сточные воды используются как удобрение. При использовании метода достигается высокий (до 99%) эффект бактериальной очистки. Однако для полей орошения основной задачей является очистка сточных вод.

Б) Поля фильтрации - это земельные участки, предназначенные только для очистки сточных вод. Их устраивают на песках, супесях, суглинках. На них производится распределение и фильтрация через почву сточных вод.

В) Биопруды - это искусственно созданные неглубокие водоемы глубиной 0,5 - 1 м. Их применяют в случаях, когда при наличии достаточных площадей отсутствуют хорошо фильтрующие почвы. Иногда устраивают биопруды с искусственной аэрацией глубиной до 3 м.

К недостаткам метода очистки сточных вод в естественных условиях относятся:

- низкая окислительная способность;
- сезонность работы;
- потребность в больших территориях.

Сооружения с очисткой сточных вод в искусственно созданных условиях.

Разработка искусственных методов очистки началась в начале прошлого века. Для очистки сточных вод применяют биофильтры и аэротенки.

А) Биофильтр (рисунок 6.7.1) представляет собой слой фильтрующего материала высотой 1,5 - 2 м (щебень, гравий, шлак, керамзит, пластмасса), через который пропускается сточная вода. Через 2 - 3 недели (период адаптации микроорганизмов) на загрузочном материале образуется биопленка толщиной 1 - 3 мм и более, способная сорбировать на своей поверхности органические вещества. По мере увеличения толщины пленки ее нижние минерализованные слои отмирают и уносятся вместе с водой. Отличительной особенностью биофильтров является то, что фильтрующая загрузка (следовательно, и активная биомасса) закреплена на неподвижном материале.

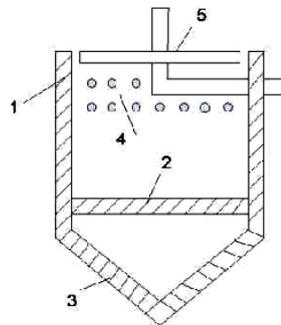


Рисунок 6.7.1 Схема устройства биофильтра

1 - ограждающая стенка; 2 - горизонтальное дырчатое дно фильтра; 3 - сплошное непроницаемое днище; 4 - загрузка (слой фильтрующего материала); 5 - распределительное устройство для равномерного распределения сточной воды по поверхности

Сточная вода проходит через толщу фильтрующего материала, дырчатое дно фильтра, а затем поступает через междудонное пространство на непроницаемое днище, откуда отводится по лоткам, расположенным за пределами биофильтра.

Биофильтры классифицируются по различным признакам:

- по типу вентиляции они бывают с естественной и искусственной вентиляцией. Естественная вентиляция осуществляется при помощи окон в междудонном пространстве в ограждающей стене, при искусственной вентиляции воздух в междудонное пространство подается при помощи вентиляторов;
- по производительности биофильтры делятся на капельные производительностью до 1000 м³/сут (с естественной вентиляцией) и высоконагружаемые производительностью до 50000 м³/сут (с искусственной вентиляцией, с продувкой воздухом, с большей крупностью зерен загрузки);
- по типу загрузки биофильтры бывают с объемной загрузкой (гравий, керамзит, шлак с крупностью отдельных фракций 15-80 мм) и с плоскостной загрузкой (пластмасса, керамика, металл, ткани).

В биофильтрах насадкой могут служить блоки из листовой пластмассы с развитой удельной поверхностью (90-110 м²/м³) и высокой долей свободного объема (93-96%). Блоки могут быть выполнены из поливинилхлорида, полистирола, полиэтилена, полипропилена, полиамида и других материалов, компоненты которой

не отравляют активную биопленку. Для насадки часто используют также щебень, гальку, керамзит, асбестоцемент. Эффект очистки сточных вод на биофильтрах по БПК₂₀ свыше 90%.

Б) Аэротенк – это проточное сооружение со свободно плавающим активным илом. Аэротенки выполняют в виде длинных железобетонных прямоугольных резервуаров глубиной 3-6 м, шириной 6-10 м, длиной до 100 м. Аэротенки состоят из нескольких секций (коридоров), разделенных перегородками.

В аэротенках происходит образование активного ила - совокупности микроорганизмов и твердых частиц. Активный ил включает в себя бактерии, простейшие, грибы, водоросли, способные сорбировать на своей поверхности органические загрязнения и окислять их в присутствии кислорода.

Для обеспечения микроорганизмов кислородом, а также для поддержания ила во взвешенном состоянии применяют непрерывную искусственную аэрацию смеси сточных вод и активного ила. Таким образом, активная биомасса находится в аэротенке во взвешенном состоянии.

Система аэрации является важнейшим конструктивным элементом аэротенка. Различают три системы аэрации:

- пневматическая (воздух нагнетается в аэротенк под давлением);
- механическая (воздух поступает в аэротенк при вращении в нем жидкости мешалкой-аэратором);
- комбинированная (смешанная).

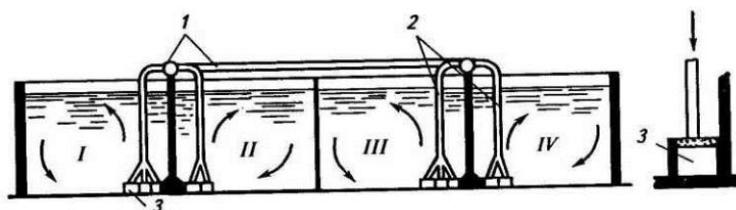
Наибольшее распространение получили пневматические системы аэрации.

В зависимости от типа применяемых аэраторов и размеров образующихся пузырьков различают три вида аэрации:

- мелкопузырчатая (с размером пузырьков 1-4 мм);
- среднепузырчатая (5-10 мм);
- крупнопузырчатая (более 10 мм).

К крупнопузырчатым аэраторам относятся открытые снизу вертикальные трубы, сопла. К мелкопузырчатым относят аэраторы из пористых материалов (керамических, тканевых и пластиковых).

В России наиболее распространенным типом мелкопузырчатого аэратора является фильтросная пластина. Ее изготавливают из шамота (огнеупорная глина, каолин), который связан смесью жидкого стекла с мелкой шамотной пылью. Также ее изготавливают из кварцевого песка и кокса, которые связаны бакелитовой смолой (феноло-формальдегидной). Размер пластин составляет 300x300 мм, толщина пластин - 35 - 40 мм. Резервуар оборудован воздуховодами, из которых по стоякам воздух подается в фильтросные каналы, закрытые фильтросами - пористыми шамотными или пластиковыми пластинами. Их заделывают цементным раствором в железобетонные каналы, устраиваемые в днище аэротенка вдоль длинной его стороны (рисунок 6.7.2). Через такие пластины происходит мелкопузырчатая аэрация смеси в аэротенке.



Типовой четырехкоридорный аэротенк:
1 - воздуховоды; 2 - стояки; 3 - фильтросный канал

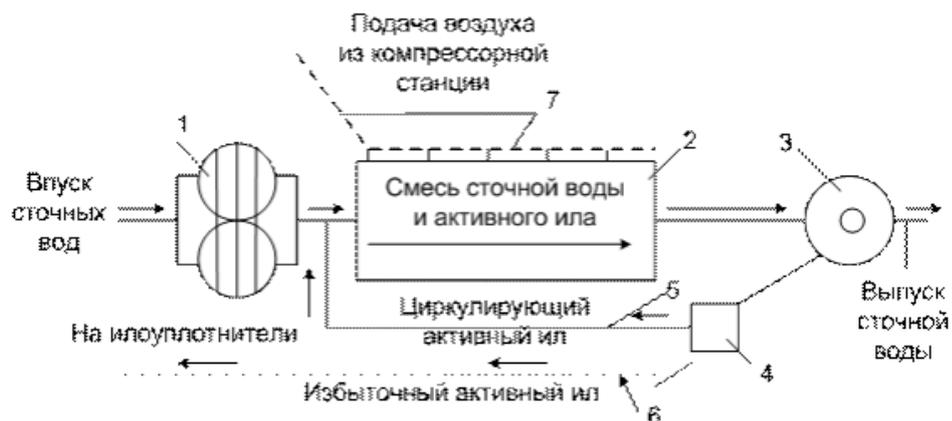


Рисунок 6.7.2. Принципиальная схема работы аэротенка

1 – первичный отстойник; 2 – аэротенк; 3 – вторичный отстойник; 4 – насосная станция; 5 – циркулирующий активный ил; 6 – избыточный активный ил; 7 – подача воздуха в аэротенк

Пластины подвержены засорению и зарастанию бактериальной пленкой. Поэтому их периодически очищают, и в среднем через каждые 7 лет заменяют новыми. В зарубежной практике вместо фильтросных пластин применяют диффузоры различной формы, устанавливаемые на подводящем трубопроводе.

Сточная жидкость после осветления в первичных отстойниках поступает в аэротенк и смешивается с циркулирующим активным илом. Смесь сточных вод и активного ила по всей длине аэротенка продувается воздухом, поступающим из компрессорной станции. Аэробные микроорганизмы сорбируют органические вещества из сточных вод и в присутствии кислорода окисляют их.

Из аэротенка смесь сточных вод с активным илом направляется во вторичный отстойник, где активный ил оседает. В результате роста микроорганизмов масса ила в аэротенке непрерывно возрастает. Поэтому насосная станция перекачивает избыточный активный ил из вторичного отстойника в илоуплотнители, а циркулирующий активный ил - обратно в аэротенк. Вторичные отстойники служат для отделения очищенной воды от активного ила. Их конструкция практически не отличается от конструкции первичных отстойников (они бывают горизонтальные, вертикальные и радиальные).

Для обеспечения устойчивой работы аэротенков устраивают регенераторы - сооружения, в которых восстанавливается сорбирующая способность активного ила. Ил в регенераторах постоянно аэрируется. Под регенераторы обычно выделяют часть коридоров аэротенка.

Существуют различные классификации (схемы работы) аэротенков: аэротенки вытеснители, аэротенки-смесители и аэротенки с рассредоточенным выпуском сточной жидкости (промежуточного типа).

В аэротенках-вытеснителях воду и ил подают в начало сооружения, а смесь отводят в конце его, то есть поступающие стоки вместе с активным илом двигаются в аэротенке в поршневом вытеснительном режиме. В аэротенках-смесителях сточная вода и ил подводятся и отводятся равномерно вдоль длинных сторон сооружения и перемешиваются почти со всем объемом воды сооружения. В аэротенках промежуточного типа можно рассредоточенно подать либо воду (обычно применяется на практике), либо ил с отводом смеси сосредоточенно в конце аэротенка. Аэротенк-смеситель применяют обычно для очистки производственных

сточных вод с высокой концентрацией органических загрязнений, а также при резких колебаниях концентрации загрязняющих веществ в сточной воде.

Время пребывания сточных вод в аэротенках составляет 8-10 ч.

Заключительным этапом обработки городских сточных вод является их обеззараживание. В качестве обеззараживающего агента чаще всего используют хлор, как газообразный, так и в виде хлорной извести. Однако у метода хлорирования сточных вод есть серьезные гигиенические и экологические ограничения. При хлорировании в сточной воде образуются стойкие хлорорганические соединения в токсичных для биоты водного объекта и человека концентрациях, поэтому необходимо большое разбавление при спуске в водный объект. Немаловажна и высокая взрывоопасность складов жидкого хлора. В последние годы в практику обеззараживания сточных вод успешно внедряется метод ультрафиолетового облучения.

В регионах с высокой плотностью населения и при малой мощности водных объектов - приемников сточных вод традиционные схемы очистки городских сточных вод не могут обеспечить должного гигиенического эффекта главным образом из-за того, что даже биологически очищенные воды содержат большое количество биогенных элементов - фосфора, калия и азота. Традиционные методы очистки городских сточных вод не освобождают их от синтетических органических веществ, порой вредных и опасных с токсикологической точки зрения. Совокупность дополнительных методов обработки сточных вод получила название доочистки. Это комплекс методов и приемов, выходящих за пределы этапов механической и биологической очистки, направленный на достижение нормативного качества восстановленной воды.

Вопросы для самоконтроля:

1. Состав и свойства производственных сточных вод.
2. Виды и принцип действия песколовков.
3. Виды и принцип действия отстойников
4. Основные показатели качества сточных вод.
5. Устройства для выделения из сточных вод нерастворимых примесей под действием центробежных сил.
6. Центрифугирование для очистки сточных вод.
7. Фильтрационные установки для очистки сточных вод.
8. Химическая очистка сточных вод.
9. Нейтрализация для обработки производственных сточных вод.
10. Окислительный и восстановительный методы очистки сточных вод.
11. Физико-химическая очистка сточных вод.
12. Биологическая очистка сточных вод.