

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Физико-химические методы играют значительную роль при очистке производственных сточных вод. Они применяются как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, химическими и биологическими методами. В последние годы область применения физико-химических методов очистки расширяется, и доля их среди других методов очистки возрастает.

К физико-химическим методам очистки относятся коагуляция, флокуляция, сорбция, флотация, экстракция, ионный обмен, гиперфльтрация, диализ, эвапорация, кристаллизация, магнитная обработка и, др., а также методы, связанные с наложением электрического поля -электрокоагуляция, электрофлотация.

КОАГУЛЯЦИЯ

Коагуляция - это слипание частиц коллоидной системы при их столкновениях в процессе теплового движения, перемешивания или направленного перемещения во внешнем силовом поле. В результате коагуляции образуются агрегаты - более крупные (вторичные) частицы, состоящие из скопления мелких (первичных). Первичные частицы в таких агрегатах соединены силами межмолекулярного взаимодействия непосредственно или через прослойку окружающей (дисперсионной) среды. Коагуляция сопровождается прогрессирующим укрупнением частиц и уменьшением их общего числа в объеме дисперсионной среды (в нашем случае - жидкости). Слипание однородных частиц называется гомокоагуляцией, а разнородных - гетерокоагуляцией.

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. Таким образом, сточные воды многих производств после сооружений механической очистки представляют собой агрегативно-устойчивую систему.

Для их очистки применяют методы коагуляции; агрегативная устойчивость при этом нарушается, образуются более крупные агрегаты частиц, которые удаляют из сточных вод механическими методами.

Одним из видов коагуляции является флокуляция, при которой мелкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии, под влиянием добавляемых веществ (флокулянтов) образуют интенсивно оседающие рыхлые хлопьевидные скопления.

Методы коагуляции и флокуляции широко распространены для очистки сточных вод предприятий химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, легкой, текстильной и других отраслей промышленности. Эффективность коагуляционной очистки зависит от многих факторов: вида коллоидных частиц; их концентрации и степени дисперсности; наличия в сточных водах электролитов и других примесей; величины электрокинетического потенциала. В сточных водах могут содержаться твердые (каолин, глина, волокна, цемент, кристаллы солей и др.) и жидкие (нефть, нефтепродукты, смолы и др.) частицы.

Коллоидные частицы, представляющие собой совокупность большого числа молекул вещества, содержащегося в сточной воде в диспергированном состоянии, при перемещении прочно удерживают покрывающий их слой воды. Обладая большой удельной площадью поверхности, коллоидные частицы адсорбируют находящиеся в воде ионы преимущественно одного знака, значительно 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 число противоположно заряженных ионов, суммарный заряд которых, однако, не компенсирует заряда поверхностно-ядерных ионов. В связи с тем что на границе адсорбционного слоя создается электрический заряд, вокруг гранулы (ядра с адсорбционным слоем) образуется диффузионный слой, в котором находятся остальные противоположно заряженные ионы, компенсирующие заряд гранул. Гранула вместе с диффузионным слоем называется мицеллой.

На частицы коллоидов действуют диффузионные силы, и частицы стремятся равномерно распределиться во всем объеме жидкой фазы. Наличие у частиц электрических зарядов одного знака вызывает их взаимное отталкивание. Одновременно между коллоидными частицами имеются молекулярные силы взаимного притяжения, которые проявляются лишь при небольших расстояниях между частицами. При снижении электрического заряда частиц, т. е. при уменьшении ζ -потенциала, силы отталкивания уменьшаются и становится возможным слипание частиц - процесс коагуляции коллоида. Силы взаимного притяжения между коллоидными частицами начинают преобладать над электрическими силами отталкивания при ζ -потенциале системы менее 0,03 В. При ζ -потенциале, равном нулю, коагуляция

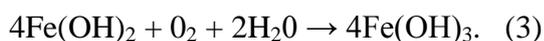
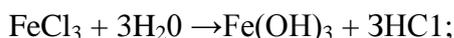
происходит с максимальной интенсивностью, состояние коллоидной системы в этом случае носит название изоэлектрического состояния, а величина рН называется изоэлектрической точкой системы.

Одним из методов снижения ζ -потенциала коллоидной системы является увеличение концентрации в воде электролитов. Способность электролита вызывать коагуляцию коллоидной системы возрастает с увеличением валентности коагулирующего иона, обладающего зарядом, который противоположен заряду коллоидных частиц. Соотношение коагулирующей способности одно-, двух- и трехвалентных ионов приблизительно 1:30:1000.

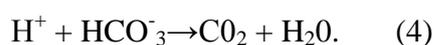
При коагуляции хлопья образуются сначала за счет коагуляции или только коагулянта. Образовавшиеся хлопья последнего сорбируют вещества, загрязняющие сточные воды и, осаждаясь вместе с ними, очищают воду.

Основным процессом коагуляционной очистки производственных сточных вод является гетерокоагуляция - взаимодействие коллоидных и мелкодисперсных частиц сточных вод с агрегатами, образующимися при введении в сточную воду коагулянтов.

При использовании в качестве коагулянтов солей алюминия и железа в результате реакции гидролиза образуются малорастворимые в воде гидроксиды железа и алюминия, которые сорбируют на развитой хлопьевидной поверхности взвешенные, мелкодисперсные и коллоидные вещества и при благоприятных гидродинамических условиях оседают на дно отстойника, образуя осадок:



Образующиеся в процессе гидролиза серную и соляную кислоты следует нейтрализовать известью или другими щелочами. Нейтрализация образующихся при гидролизе коагулянтов кислот может также протекать за счет щелочного резерва сточной жидкости:



В целях уменьшения расходов коагулянтов процесс коагуляции следует осуществлять в диапазоне оптимальных величин рН. Так, значения рН при оптимальных условиях коагуляции: для $Al(OH)_3$ - от 4,5 до 7; для $Fe(OH)_2$ -от 8,5 до 10,5, а для $Fe(OH)_3$ -от 4 до 6 и от 8 до 10.

Для очистки производственных сточных вод применяют различные минеральные коагулянты

- **Соли алюминия.** Сульфат алюминия (глинозем) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (плотность 1,62 т/м³, насыпная плотность 1,05—1,1 т/м³, растворимость в воде при температуре 20 °С - 362 г/л). В результате применения сульфата алюминия степень минерализации воды увеличивается. Алюминат натрия $NaAlO_2$, оксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl$, полихлорид алюминия $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m(SO_4)_x$ (где $1 \leq n \leq 5$, $m \leq 10$), алюмокалиевые $AlK(SO_4)_2 \cdot 18H_2O$ и алюмоаммонийные $Al(NH_4)(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ квасцы имеют меньшую стоимость и дефицитность, чем сульфат алюминия.

- **Соли железа.** Сульфат двухвалентного железа, или железный купорос $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (плотность 3 т/м³, насыпная плотность 1,9 т/м³, растворимость в воде при температуре 20°С - 265г/л). Гидроксид железа — плотные, тяжелые, быстро осаждающиеся хлопья, что является несомненным преимуществом его применения. Хлорид железа $FeCl_3 \cdot 6H_2O$; сульфат железа $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$.

- **Соли магния.** Хлорид магния $MgCl_2 \cdot 6H_2O$; сульфат магния $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

- **Известь.**

-**Шламовые отходы** и отработанные растворы отдельных производств. Хлорид алюминия (производств. этилбензола), сульфат двухвалентного железа (травление металлов), известковый шлам и др.

Количество коагулянта, необходимое для осуществления процесса коагуляции, зависит от вида коагулянта расхода, состава, требуемой степени очистки сточных вод и определяется по табл. 55 СНиП 2.04.03-85 или экспериментально.

Образующиеся в результате коагуляции осадки представляют собой хлопья размером от нескольких микрометров до нескольких миллиметров. Рыхлая пространственная структура хлопьев осадка обуславливает их высокую влажность - до 96-99,9 %.. Плотность хлопьев осадка составляет обычно 1,01—1,03 т/м³. Для обесцвечивания высококонцентрированных и интенсивно окрашенных вод расходы коагулянтов достигают 1—4 кг/м³ объем осадка, получающегося в результате коагуляции достигает 10—20 % объема обрабатываемой сточной воды. Значительный расход коагулянтов, большой объем получающегося осадка, сложность его обработки и после,

дующего складирования, увеличение степени минерализации обрабатываемых сточных вод не позволяют в большинстве случаев рекомендовать коагуляцию как метод самостоятельной очистки. Коагуляционный метод очистки применяется в основном при небольших расходах сточных вод и при наличии дешевых коагулянтов.

Расширению оптимальных областей коагуляции (по pH и температуре) способствуют флокулянты, повышающие плотность и прочность образующихся хлопьев, снижающие расход коагулянтов, повышающие надежность работы и пропускную способность очистных сооружений.

Скорость и эффективность процесса флокуляции зависят от состава сточных вод, их температуры, интенсивности перемешивания и последовательности введения коагулянтов и флокулянтов. Дозы флокулянтов принимаются обычно $0,1—10 \text{ г/м}^3$, а в среднем $0,5—1 \text{ г/м}^3$. Так, применение добавок полиакриламида в концентрации 1 г/м^3 при коагуляции сточных вод металлургического завода позволило увеличить удельную нагрузку на радиальные отстойники в 2 раза.

Процесс очистки сточных вод методом коагуляции или флокуляции включает приготовление водных растворов коагулянтов или флокулянтов, их дозирование, смешение со всем объемом сточной воды, хлопьеобразование, выделение хлопьев из нее.

В реагентное хозяйство на очистных сооружениях входят склады для хранения коагулянтов. В настоящее время широко применяется так называемое мокрое хранение коагулянтов (в виде раствора или кускового продукта в концентрированном растворе) в баках и резервуарах, располагаемых внутри или вне здания. Емкости, размещаемые вне здания, следует утеплять. Растворение коагулянтов в воде осуществляется в растворных баках с устройствами для барботажа сжатым воздухом интенсивностью $4—5 \text{ л/с}$ на 1 м^2 площади колосниковой решетки.

Применяются также баки с лопастными и пропеллерными мешалками для растворения соответственно зернистых и кусковых материалов (размером не более 20 мм).

Из растворных баков растворы коагулянтов перекачивают в расходные баки, а оттуда дозируют в обрабатываемую воду с помощью дозаторов различных конструкций. Коагулянты вводят в обрабатываемую сточную воду обычно в виде $1-10 \%$ -ных растворов, а флокулянты - в виде $0,1—1 \%$ -ных растворов.

Коагулянты смешивают с обрабатываемой сточной водой в смесителях, продолжительность пребывания воды в которых составляет $1—2 \text{ мин}$. Применяют перегородчатые, дырчатые, шайбовые и вертикальные смесители, а также механические с пропеллерными или лопастными мешалками. Трубопроводы или лотки, отводящие воду

из смесителей в камеры хлопьеобразования и осветлители со взвешенным осадком, рассчитывают на скорость движения сточной воды 0,8—1 м/с и продолжительность ее пребывания в них не более 2 мин. После смешения сточных вод с коагулянтами начинается процесс образования хлопьев, который происходит в камерах хлопьеобразования. Эти камеры могут быть водоворотные, перегородчатые, вихревые, а также с механическим перемешиванием.

Водоворотные камеры хлопьеобразования представляют собой цилиндр, в верхнюю часть которого из смесителя вводится сточная вода с вращательной скоростью на выходе из сопла 2—3 м/с. В нижней части камеры перед выходом в отстойник находятся гасители вращательного движения воды. Продолжительность пребывания воды в камере 15—20 мин.

Перегородчатые камеры могут быть горизонтальными и вертикальными.

Вихревая камера хлопьеобразования представляет собой конический или цилиндрический расширяющийся кверху резервуар с нижним впуском сточной воды со скоростью 0,7-1,2 м/с. Угол наклона стенок камеры к горизонту около 70°. Скорость восходящего потока сточной воды на уровне выпуска 4—5 мм/с, продолжительность пребывания воды в камере 6—10 мин.

В камерах хлопьеобразования с лопастными мешалками продолжительность пребывания воды 20—30 мин, а скорость движения воды 0,15—0,2 м/с.

Последующее осветление сточной воды производится в горизонтальных, радиальных и вертикальных отстойниках. Наиболее целесообразной является двухступенчатая схема отстаивания сточных вод. На I ступени осуществляется простое отстаивание в отстойнике без коагулянта, на II ступени - обработка сточных вод коагулянтами и флокулянтами с последующим отстаиванием в отстойнике.

Если в производственных сточных водах концентрация взвешенных веществ, способных к агрегации, не превышает 4 г/л, то применяют осветлители со взвешенным слоем осадка. В осветлителях происходят три основных процесса: смешение, коагуляция и осветление сточных вод. Обработываемая в осветлителях сточная вода проходит снизу вверх через слой ранее выделившегося шлама с такой скоростью, при которой взвешенные частицы не уносятся из зоны взвешенного осадка. При движении сточной воды через взвешенный слой увеличивается эффект задержания мелких суспензированных частиц. Осветлители проектируются круглыми (диаметр до 15 м) или прямоугольными в плане; площадь осветлителя не должна превышать 150 м².

Для обеспечения нормальной работы осветлителя сточную воду после смешения с коагулянтами направляют в воздухоотделитель, где она освобождается от пузырьков

воздуха, выделяющихся в результате реакций. В течение 1 ч допускается колебание температуры не более чем на 1°, а расхода — не более чем на 10 %. Резкие колебания скорости движения воды не допускаются.

Величина восходящей скорости потока в зоне осветления зависит от концентрации взвешенных веществ и составляет 0,8-1,2 мм/с. Высота слоя взвешенного осадка принимается равной 2—2,5 м; высота защитной зоны от верха осадкоотводящих окон или труб до лотков для сбора осветленной воды -1-1,5 м; низ осадкоприемных окон или кромка осадкоотводящих труб располагается на 1-1,5 м выше перехода наклонных стенок осветлителя в вертикальные; угол наклона к горизонту нижних частей осветлителей и осадкоуплотнителей принимается не менее 45°.

Избыток шлама, накапливающегося в осветлителе, перетекает под действием разности плотностей осветленной воды и взвешенного слоя в осадкоуплотнитель (осветлители с естественным отсосом шлама) либо отсасывается вследствие разности уровней отбора воды из рабочей камеры и уплотнителя (осветлитель с принудительным отсосом избытка шлама).

Коагуляция вод, содержащих мелкодисперсные и коллоидные частицы, может происходить при пропуске сточных вод через электролизер с анодом, изготовленным из алюминия или железа (электрокоагуляция). Металл анода под действием постоянного тока ионизируется и переходит в сточную воду, частицы загрязнений которой коагулируются образовавшимися труднорастворимыми гидроксидами алюминия или железа.

Растворение в воде 1 г алюминия эквивалентно введению 6,3 г $Al_2(SO_4)_3$, 1 г железа — введению 2,9 г $FeCl_3$ и 3,6 г $Fe_2(SO_4)_3$. Теоретический расход электроэнергии для растворения 1 г алюминия 12 Вт·ч, а 1 г железа - 2,9 Вт·ч. Плотность тока рекомендуется не более 10 А/м², расстояние между электродами - не более 20 мм, а скорость движения воды между электродами - не менее 0,5 м/с.

Метод электрохимического коагулирования может быть применен для обработки сточных вод, содержащих эмульгированные частицы масел, жиров и нефтепродуктов, хроматы, фосфаты. Компактность установок, отсутствие реагентного и складского хозяйства, простота обслуживания являются несомненным достоинством метода электрохимической коагуляции. Однако значительные расходы электроэнергии и металла, являющиеся следствием образования окисной пленки на поверхности электродов, их механического загрязнения примесями сточных вод, а также нагревания обрабатываемой сточной воды, ограничивают область применения этого метода.

СОРБЦИЯ

Сорбция — это процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом или жидкостью. Поглощающее тело называется сорбентом, а поглощаемое - сорбатом. Различают поглощение вещества всей массой жидкого сорбента (абсорбция) и поверхностным слоем твердого или жидкого сорбента (адсорбция). Сорбция, сопровождающаяся химическим взаимодействием сорбента с поглощаемым веществом, называется хемосорбцией.

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 как метод предварительной и глубокой очистки. Преимуществами этого метода являются возможность адсорбции веществ многокомпонентных смесей и, кроме того, высокая эффективность очистки, особенно слабokonцентрированных сточных вод. Сорбционные методы весьма эффективны для извлечения из сточных вод ценных растворенных веществ с их последующей утилизацией и использования очищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения промышленных предприятий. Адсорбция растворенных веществ - результат перехода молекулы растворенного вещества из раствора на поверхность твердого сорбента под действием силового поля поверхности. При этом наблюдаются два вида межмолекулярного взаимодействия: молекул растворенного вещества с молекулами (или атомами) поверхности сорбента и 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 сточных вод наиболее рациональна, если в них содержатся преимущественно ароматические соединения, неэлектролиты или слабые электролиты, красители, непредельные соединения или гидрофобные (например, содержащие хлор или нитрогруппы) алифатические соединения. При содержании в сточных водах только неорганических соединений, а также низших одноатомных спиртов этот метод не применим.

В качестве сорбентов применяют различные искусственные и природные пористые материалы: золу, коксовую мелочь, торф, силикагели, алюмогели, активные глины и др. Эффективными сорбентами являются активированные угли различных марок. Пористость этих 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. В зависимости от преобладающего размера пор активированные угли делятся на крупно- и мелкопористые и смешанного типа. Поры по размеру подразделяют на три вида: макропоры размером 0,1—2 мкм, переходные размером 0,004-0,1 мкм, микропоры размером менее 0,004 мкм. Макропоры и переходные поры играют, как правило, роль транспортирующих каналов, а сорбционная способность активированных углей определяется в основном микропористой структурой. Растворенные органические вещества, имеющие размеры частиц менее 0,001 мкм, заполняют объем микропор сорбента, полная емкость которых соответствует поглощающей способности сорбента.

Активность сорбента характеризуется количеством поглощаемого вещества на единицу объема или массы сорбента (кг/м³, кг/кг).

Процесс сорбции может осуществляться в статических условиях, при которых частица жидкости не перемещается относительно частицы сорбента, т. е. движется вместе с последней (аппараты с перемешивающими устройствами), а также в динамических условиях, при которых частица жидкости перемещается относительно сорбента (фильтры, аппараты с псевдооживленным слоем). В соответствии с этим различают статическую и динамическую активность сорбента. Статическая активность сорбента характеризуется максимальным количеством вещества, поглощенного единицей объема или массы сорбента к моменту достижения равновесия при постоянных температуре жидкости и начальной концентрации вещества; динамическая активность сорбента - максимальным количеством вещества, поглощенного единицей объема или массы сорбента до момента появления сорбируемого вещества в фильтрате при пропуске сточной воды через слой сорбента. Динамическая активность в промышленных адсорберах составляет 45—90 % статической.

Между количествами вещества, адсорбированного сорбентом и оставшегося в растворе, в разбавленных растворах наступает равновесие, подчиняющееся закону распределения.

Сорбция - процесс обратимый, т.е. адсорбированное вещество (сорбат) может переходить с сорбента обратно в раствор. При прочих равных условиях скорости протекания прямого (сорбция) и обратного (десорбция) процессов пропорциональны

концентрации вещества в растворе и на поверхности сорбента. Поэтому в первые моменты сорбции, т. е. при максимальной концентрации вещества в растворе, скорость сорбции также максимальна. По мере повышения концентрации растворенного вещества на поверхности сорбента увеличивается число сорбированных молекул, переходящих обратно в раствор. С момента, когда количество сорбируемых из раствора (в единицу времени) молекул становится равным количеству молекул, переходящих с поверхности сорбента в раствор, концентрация раствора становится постоянной; эта концентрация называется равновесной. Если после достижения адсорбционного равновесия несколько повысить концентрацию обрабатываемого раствора, то сорбент сможет извлечь из него еще некоторое количество растворенного вещества. Однако нарушаемое таким образом равновесие будет восстанавливаться лишь до полного использования сорбционной емкости (способности) данного сорбента, после чего повышение концентрации вещества в растворе не изменяет величины адсорбции.

В зависимости от области применения метода сорбционной очистки, места расположения адсорберов в общем комплексе очистных сооружений, состава сточных вод, вида и крупности сорбента и др. назначают ту или иную схему сорбционной очистки и тип адсорбера. Так, перед сооружениями биологической очистки применяют насыпные фильтры с диаметром зерен сорбента 3-5 мм или адсорбер с псевдоожиженным слоем сорбента с диаметром зерен 0,5-1 мм. При глубокой очистке производственных сточных вод и возврате их в систему оборотного водоснабжения применяют аппараты с мешалкой и намывные фильтры с крупностью зерен сорбента 0,1 мм и менее.

Наиболее простым является насыпной фильтр, представляющий собой колонну с неподвижным слоем сорбента, через который фильтруется сточная вода. Скорость фильтрования зависит от концентрации растворенных в сточных водах веществ и составляет 1-12 м/ч; крупность зерен сорбента - 0,8-5 мм. Наиболее рациональное направление фильтрования жидкости — снизу вверх, так как в этом случае происходит равномерное заполнение всего сечения колонны и относительно легко вытесняются пузырьки воздуха или газов, попадающих в слой сорбента вместе со сточной водой.

В колонне слой зерен сорбента укладывают на беспровальную решетку. Обычно используют решетки с отверстиями диаметром 5-10 мм и шагом 10-20 мм, на которые укладывают поддерживающий слой мелкого щебня и крупного гравия высотой 400—500 мм, предохраняющий зерна сорбента от проваливания в подрешеточное пространство и обеспечивающий равномерное распределение потока жидкости по всему сечению. Сверху слой сорбента для предотвращения выноса закрывают сначала слоем гравия, затем слоем щебня и покрывают решеткой (т. е. в обратном порядке).

Фильтры с неподвижным слоем сорбента применяют при регенеративной очистке цеховых сточных вод с целью утилизации выделенных относительно чистых продуктов. Процесс десорбции осуществляется с помощью химических растворителей или пара.

Обычно сорбционная установка представляет собой несколько параллельно работающих секций, состоящих из трех-пяти последовательно расположенных фильтров. При достижении предельного насыщения головной фильтр отключается на регенерацию, а обрабатываемая вода подается на следующий фильтр. После регенерации головной фильтр включается в схему очистки уже в качестве последней ступени.

Потери напора в слое сорбента при крупности частиц 0,8-5 мм принимают не более 0,5 м на 1 м слоя загрузки.

Отработавший сорбент выгружают из адсорбера насосом, гидроэлеватором, эрлифтом и шнеком при относительном расширении загрузки на 20-25 %, создаваемом потоком воды со скоростью 40—45 м/ч. В напорных адсорберах допускается предусматривать выгрузку сорбента под давлением не менее 0,3 МПа. Металлические конструкции, трубопроводы, арматура и емкости, соприкасающиеся с влажным сорбентом, должны быть защищены от коррозии.

Процесс сорбции в статических условиях осуществляется путем интенсивного перемешивания обрабатываемой сточной воды с сорбентом в течение определенного времени t и последующего отделения сорбента от воды отстаиванием, фильтрованием и т. п. При последовательном введении новых порций сорбента в очищаемую воду можно очистить ее от загрязняющих веществ до любой концентрации.

Противоточные сорбционные установки применяются значительно шире благодаря более экономичному расходованию сорбента.

При относительно высоком содержании в сточной воде мелкодиспергированных взвешенных частиц, заиливающих сорбенты (не более 1 г/л при гидравлической крупности не более 0,3 мм/с), а также в случае, если равновесие устанавливается медленно, рационально применять процесс с псевдооживленным слоем сорбента. Псевдооживление слоя наступает при повышении скорости потока сточной воды, проходящей снизу вверх, до такой величины, при которой зерна расширившегося слоя начинают интенсивно и беспорядочно перемещаться в объеме слоя, сохраняющего постоянную для данной скорости высоту.

Сорбционная очистка может быть регенеративной, когда извлеченные вещества утилизируются, или деструктивной, когда извлеченные вещества уничтожаются. В зависимости от назначения сорбционной очистки применяются различные методы регенерации сорбента или его уничтожения.

Для извлечения сорбированных веществ могут быть применены экстрагирование органическим растворителем, изменение степени диссоциации слабого электролита в равновесном растворе, отгонка адсорбированного вещества с водяным паром, испарение адсорбированного вещества током инертного газообразного теплоносителя. В отдельных случаях осуществляют химические превращения сорбированных веществ с последующей десорбцией.

Легколетучие органические вещества (бензол, нитробензол, толуол, этиловый спирт) десорбируют воздухом, инертными газами, перегретым паром. При этом температура воздуха должна быть 120-140 °С, перегретого пара – 200-300 °С, а дымовых или инертных газов - 300-500 °С. Расход пара на отгонку легколетучих веществ из активированного угля составляет 3—12 кг на 1 кг сорбированного вещества. В качестве десорбентов могут использоваться низкокипящие, легко перегоняющиеся с водяным паром органические растворители: бензол, бутилацетат, дихлорэтан, толуол и др. Процесс десорбции осуществляется при нагревании или на холоде, затем растворитель отгоняется из сорбента острым водяным паром или другим теплоносителем.

При деструктивной очистке обычно применяют термические или окислительные методы. При применении термического метода следует учитывать потери сорбента (так, потери активированного угля составляют 5-10%).

ФЛОТАЦИЯ

Флотация—процесс молекулярного прилипания частиц флотируемого материала к поверхности раздела двух фаз, обычно газа (чаще воздуха) и жидкости, обусловленный избытком свободной энергии поверхностных пограничных слоев, а также поверхностными явлениями смачивания.

Процесс очистки производственных сточных вод, содержащих ПАВ, нефть, нефтепродукты, масла, волокнистые материалы, методом флотации заключается в образовании комплексов «частицы-пузырьки», всплывании этих комплексов и удалении образовавшегося пенного слоя с поверхности обрабатываемой жидкости. Прилипание частицы, находящейся в жидкости, к поверхности газового пузырька возможно только тогда, когда наблюдается несмачивание или плохое смачивание частицы жидкостью.

Смачивающая способность жидкости зависит от ее полярности, с возрастанием которой способность жидкости смачивать твердые тела уменьшается. Внешним проявлением способности жидкости к смачиванию является величина поверхностного натяжения ее на границе с газовой фазой, а также разность полярностей на границе жидкой и твердой фаз. Процесс флотации идет эффективно при поверхностном натяжении воды не более 60-65 мН/м. Степень смачиваемости водой твердых или газовых частиц,

взвешенных в воде, характеризуется величиной краевого угла смачивания Θ . Чем больше угол Θ тем более гидрофобна поверхность частицы, т. е. увеличивается вероятность прилипания к ней и прочность удержания на ее поверхности воздушных пузырьков. Такие частицы обладают малой смачиваемостью и легко флотируются. Большое значение при флотации имеют размер, количество и равномерность распределения воздушных пузырьков в сточной воде. Оптимальные размеры воздушных пузырьков 15-30 мкм, а максимальные 100-200 мкм. В практике очистки производственных сточных вод выработаны различные конструктивные схемы, приемы и методы флотации. Метод пенной флотации применяют для извлечения нерастворенных и частичного снижения концентрации некоторых растворенных веществ, метод пенной сепарации - для удаления растворенных веществ. Флотаторы применяют также для удаления загрязняющих веществ из сточных вод перед биологической очисткой; для разделения иловой смеси; в технологических схемах глубокой очистки биологически очищенных сточных вод; при повторном использовании очищенных сточных вод.

Наиболее существенные принципиальные отличия способов флотации связаны с насыщением жидкости пузырьками воздуха определенной крупности. По этому принципу можно выделить следующие способы флотационной обработки производственных сточных вод:

- 1) флотация с выделением воздуха из раствора (вакуумные, напорные и эрлифтные флотационные установки);
- 2) флотация с механическим диспергированием воздуха (импеллерные, безнапорные и пневматические флотационные установки);
- 3) флотация с подачей воздуха через пористые материалы;
- 4) электрофлотация.

Флотационные установки могут состоять из одного или двух отделений (камер). В однокамерных установках в одном и том же отделении происходит одновременно насыщение жидкости пузырьками воздуха и всплывание флотирующихся загрязнений. В двухкамерных установках, состоящих из приемного и отстойного отделений, в первом отделении происходит образование пузырьков воздуха и агрегатов «пузырек-частица», а во втором - всплывание шлама (пены) и осветление жидкости.

Флотация с выделением воздуха из раствора. Этот способ применяется при очистке производственных сточных вод, содержащих очень мелкие частицы загрязнений, поскольку позволяет получать самые мелкие пузырьки воздуха. Сущность его заключается в создании перенасыщенного раствора воздуха в сточной жидкости. Выделяющийся из такого раствора воздух образует микропузырьки, которые и флотируют

содержащиеся в сточной воде загрязнения. Количество воздуха, которое должно выделиться из пересыщенного раствора и обеспечить необходимую эффективность флотации, обычно составляет 1-5 % объема обрабатываемой сточной воды.

Преимуществом вакуумной флотации является то, что образование пузырьков газа, их слипание с частицами загрязнений и всплытие образовавшихся агрегатов «пузырек-частица» происходит в спокойной среде и вероятность их разрушения сводится к минимуму; минимальны также энергозатраты и на насыщение жидким воздухом, образование и измельчение воздушных пузырьков. В то же время необходимость сооружения герметически закрытых резервуаров, сложность эксплуатации вакуумных флотационных установок, а также ограниченный диапазон их применения (концентрация загрязнений в сточной воде не должна превышать 250 мг/л) являются недостатками метода вакуумной флотации.

Сточная жидкость, поступающая на флотацию, предварительно насыщается воздухом в течение 1—2 мин в аэрационной камере, откуда она поступает в деаэратор для удаления нерастворившегося воздуха. Далее под действием разрежения (0,02-0,03 МПа) сточные воды поступают во флотационную камеру, в которой растворившийся при атмосферном давлении воздух выделяется в виде микропузырьков и выносит частицы загрязнений в пенный слой. Продолжительность пребывания сточной воды во флотационной камере 20 мин, а нагрузка на 1 м² площади поверхности около 200 м³/сут. Скапливающаяся пена вращающимися скребками удаляется в пеносборник. Для отвода обработанной сточной воды обеспечивается необходимая разность отметок уровней во флотационной камере и приемном резервуаре или устанавливаются насосы.

Напорная флотация имеет более широкий диапазон применения, поскольку позволяет регулировать степень пересыщения в соответствии с требуемой эффективностью очистки сточных вод при начальной концентрации загрязнений до 4-5 г/л и более. При напорной флотации сточные воды компрессором подаются в напорный бак (сатуратор). Объем сатуратора рассчитывают на необходимую продолжительность насыщения воздухом (обычно 1-3 мин) при избыточном давлении 0,3-0,5 МПа. Количество растворяющегося в сатураторе воздуха должно

составлять 3-5 % объема обрабатываемой сточной воды. Насыщенная воздухом вода из сатуратора подается во флотационную камеру, где выделившиеся из сточной воды пузырьки воздуха всплывают вместе с частицами взвешенных веществ. Всплывающая масса непрерывно удаляется механизмами для сгребания пены в пеносборник. При небольшой высоте всасывания (до 2 м) и незначительных колебаниях уровня воды в приемном резервуаре (0,5-1 м) воздух подают через эжектор во всасывающий патрубок

насоса. Количество подаваемого воздуха зависит от начальной концентрации загрязняющих веществ и составляет 15; 20; 28; 40 л на 1 кг извлекаемых веществ при их начальной концентрации соответственно 3-4; 1; 0,5 и менее 0,2 г/л. Площадь флотационной камеры следует принимать исходя из гидравлической нагрузки 3—6 м³/ч на 1 м² площади поверхности камеры. Продолжительность флотации составляет 20-30 мин.

При проектировании флотаторов для обработки сточных вод с расходом до 100 м³/ч принимаются прямоугольные в плане камеры глубиной 1-1,5 м, с расходом более 100 м³/ч радиальные флотаторы глубиной не менее 3 м. Глубина зон флотации и отстаивания назначается не менее 1,5 м, а продолжительность пребывания воды в них соответственно не менее 5 и 15 мин.

Сточные воды, насыщенные воздухом, поступают во флотатор снизу через вращающийся водораспределитель. Выделяющиеся из воды пузырьки воздуха всплывают вместе с частицами загрязнений. Вращающимся механизмом пена сгребается в лоток и удаляется. Обработанная вода отводится с днища и по вертикальным каналам переливается в отводящий кольцевой лоток. Пропускная способность одного флотатора не должна превышать 1000 м³/ч.

Флотаторы с горизонтальным движением воды применяются при расходах до 100 м³/ч, с вертикальным – до 200, с радиальным — до 1000 м³/ч. Горизонтальная скорость движения воды в прямоугольных и радиальных флотокамерах составляет не более 5 мм/с.

Напорная флотация применяется для очистки сточных вод от нефти, нефтепродуктов, жиров, масел, ПАВ и волокнистых веществ.

При *эрлифтной флотации* затраты энергии в 2-4 раза меньше, чем при напорной, но конструкция установки требует значительного перепада отметок по высоте между питательным резервуаром со сточной водой и аэратором, а также между аэратором и флотационной камерой (разность отметок составляет 20-35 м), что значительно сужает область применения этого метода.

Флотация с механическим диспергированием воздуха.

При перемещении струи воздуха в воде в последней создается интенсивное вихревое движение, под воздействием которого воздушная струя распадается на отдельные пузырьки. Энергичное перемешивание сточной воды во флотационных импеллерных установках создает в ней большое число мелких вихревых потоков, что позволяет получить пузырьки определенной величины.

Сточная вода из приемного кармана поступает к импеллеру, в который по трубке засасывается воздух. Над импеллером расположен статор в виде диска с отверстиями для внутренней циркуляции воды. Перемешанные в импеллере вода и воздух выбрасываются через статор. Решетки, расположенные вокруг статора, способствуют более мелкому диспергированию воздуха в воде. Отстаивание пузырьков воздуха происходит над решеткой. Пена, содержащая флотируемые частицы, удаляется лопастным пеноснимателем. Из первой камеры вода поступает во вторую такой же конструкции, где происходит дополнительная очистка сточной воды.

Степень диспергирования воздуха зависит от окружной скорости вращения импеллера, которую принимают равной 10-15 м/с. Диаметр импеллера должен быть 200-750 мм. Зона, обслуживаемая импеллером, не должна превышать размеров квадрата со стороной $6d_n$, (где d_n -диаметр импеллера). Высота флотационной камеры H_f принимается равной 1,5-3 м, продолжительность флотации $t_f=20-30$ мин.

Применение импеллерных установок целесообразно при очистке сточных вод с высокой концентрацией нерастворенных загрязнений (более 2-3 г/л) и содержащих нефть, нефтепродукты, жиры.

Недостатком импеллерных флотаторов является относительно высокая обводненность пены. Особенно существенным становится этот недостаток в тех случаях, когда основной целью флотации является извлечение растворенных ПАВ, так как большой объем воды в пене заставляет создавать дополнительные установки для ее обработки, что удорожает очистку в целом.

Диспергирование воздуха в безнапорных установках происходит за счет вихревых потоков, создаваемых рабочим колесом центробежного насоса. Схема флотации аналогична напорной, но в ней отсутствует сатуратор, что и является преимуществом безнапорной флотации. Образующиеся в камере безнапорной установки пузырьки имеют большую крупность, а следовательно, эффект флотации мелких частиц снижается. Безнапорные флотационные установки применяют для очистки сточных вод от жира и шерсти.

Пневматические флотационные установки применяют при очистке сточных вод, содержащих растворенные примеси, которые агрессивны к механизмам (насосам, импеллерам и др.), имеющим движущиеся части. Измельчение пузырьков воздуха достигается путем впуска воздуха во флотационную камеру через сопла, которые располагаются на воздухораспределительных трубках, укладываемых на дно флотационной камеры на расстоянии 0,25-0,3 м друг от друга. Диаметр отверстий сопел 1

-1,2 мм; рабочее давление перед ними 0,3-0,5 МПа; скорость выхода струи из сопел 100—200 м/с. Глубина флотатора принимается 1,5-4 м.

Флотация с подачей воздуха через пористые материалы. Этот метод отличается простотой аппаратного оформления процесса и относительно малыми расходами энергии. Воздух во флотационную камеру подается через мелкопористые фильтросные пластины, трубы, насадки, уложенные на дне камеры. Величина отверстий должна быть 4-20 мкм, давление воздуха 0,1-0,2 МПа, продолжительность флотации 20—30 мин, расход воздуха определяется экспериментально. Рабочий уровень обрабатываемой сточной воды до флотации 1,2-2 м. Недостатком этого метода является возможность зарастания и засорения пор, а также трудность подбора мелкопористых материалов, обеспечивающих выход мелких, близких по размерам пузырьков воздуха.

Электрофлотация. Сущность электрофлотационного способа очистки сточных вод заключается в переносе загрязняющих частиц из жидкости на ее поверхность с помощью пузырьков газа, образующихся при электролизе сточной воды. В процессе электролиза сточной воды на катоде выделяется водород, а на аноде кислород. Основную роль в процессе флотации частиц играют пузырьки, выделяющиеся на катоде. Размер пузырьков, отрывающихся от поверхности электрода, зависит от величины краевого угла смачивания, кривизны поверхности электрода, а также его конструкции. Замена пластинчатого катода на проволочный приводит к уменьшению крупности пузырьков и, следовательно, к повышению эффективности работы электрофлотатора.

При применении растворимых электродов (обычно железных или алюминиевых) на аноде происходит анодное растворение металла, в результате чего в воду переходят катионы железа или алюминия, приводящие к образованию хлопьев гидроокисей. Одновременное образование хлопьев коагулянта и пузырьков газа в стесненных условиях межэлектродного пространства создает предпосылки для надежного закрепления газовых пузырьков на хлопьях и интенсивной коагуляции загрязнений, что обеспечивает эффективность флотационного процесса. Такие установки называются электрокоагуляционно-флотационными. При пропускной способности до 10—15 м³/ч установки могут быть однокамерными, а при большей пропускной способности - двухкамерными горизонтального или вертикального типа.

Расчет установок для электрофлотации или электрофлотокоагуляции сводится к определению общего объема установки, объемов электродного отделения и камеры флотации в м³.

Объем электродного отделения определяется из возможности размещения в нем необходимой электродной системы.

При осуществлении процесса электрофлотокоагуляции необходимо определить количество металла электродов, переходящее в раствор, а также срок службы электродной системы.

ЭКСТРАКЦИЯ

При относительно высоком содержании в производственных сточных водах растворенных органических веществ, представляющих собой техническую ценность (например, фенолы и жирные кислоты), эффективным методом очистки является экстракция органическими растворителями - экстрагентами. Экстракционный метод очистки производственных сточных вод основан на распределении загрязняющего вещества в смеси двух взаимонерастворимых жидкостей соответственно его растворимости в них. Отношение взаимно уравнивающихся концентраций в двух несмешивающихся (или слабосмешивающихся) растворителях при достижении равновесия является постоянным и называется коэффициентом распределения. Коэффициент распределения зависит от температуры, при которой проводится экстракция, а также от наличия различных примесей в сточных водах и экстрагенте.

При достижении равновесия концентрация экстрагируемого вещества в экстрагенте значительно выше, чем в сточной воде. Сконцентрированное в экстрагенте вещество отделяется от растворителя и может быть утилизировано. Экстрагент после этого используется в технологическом процессе очистки.

Метод экстракционной очистки экономически целесообразен при значительной концентрации органических примесей или при высокой стоимости извлекаемого вещества. Для большинства продуктов применение экстракции рационально при концентрации их 2 г/л и более.

Для успешного протекания процесса экстракции экстрагент должен иметь следующие свойства: хорошую экстрагирующую способность по отношению к экстрагируемому веществу, т. е. высокий коэффициент распределения; селективность, т. е. способность экстрагировать из воды одно вещество или определенную их группу; малую растворимость в воде; плотность, отличающуюся от плотности воды; температуру кипения, значительно отличающуюся от температуры кипения экстрагируемого вещества; небольшую удельную теплоту испарения и малую теплоемкость, что позволяет снизить расходы пара и охлаждающей воды; возможно меньшие огне- и взрывоопасность, токсичность; низкую стоимость. Экстрагент не должен подвергаться

заметному гидролизу и взаимодействовать с экстрагируемым веществом, материалом рубопроводов и запорно-регулирующей арматуры экстракционной установки.

Методы экстрагирования органических веществ по схемам контакта экстрагента и сточной воды можно разделить на перекрестноточные, ступенчато-противоточные и непрерывно-противоточные. Прямоток в процессах экстракции не применяется.

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

Практическое применение получили методы ступенчато-противоточной и непрерывно-противоточной экстракции.

При ступенчато-противоточной экстракции каждая ступень включает перемешивающее устройство для смешения фаз и отстойник для их гравитационного разделения. Могут применяться также центробежные сепараторы, обладающие более высокой разделительной способностью по сравнению с гравитационными. Вода и экстрагент движутся навстречу друг другу, экстракт последующей ступени смешивается в смесителе с водной фазой предыдущей ступени. Смеситель должен обеспечить максимальную степень диспергирования экстракта в воде, исключаящую, однако, возможность образования стойких эмульсий, которые препятствуют разделению фаз.

Ступенчато-противоточная экстракция может быть непрерывной или периодической (при малых расходах сточных вод).

При непрерывно-противоточной экстракции вода и экстрагент движутся навстречу друг другу в одном аппарате, обеспечивающем диспергирование экстрагента в воде; при этом примеси сточной воды непрерывно переходят в экстрагент.

Если плотность обрабатываемой сточной воды больше плотности экстрагента, то вода вводится в экстракционную колонну сверху, а экстрагент снизу.

Применение противоточных экстракционных колонн непрерывного действия целесообразно при многоступенчатой экстракции. Эффективность метода зависит от того, насколько легко образуются и разрушаются эмульсии экстрагента в сточной воде, от длительности полного разделения фаз и кинетики экстрагирования.

Технологическая схема очистки производственных сточных вод экстракционным методом зависит от количества и состава сточных вод, свойств экстрагента, способов его регенерации и обычно включает следующие четыре установки:

1. Установка подготовки воды перед экстракцией - отстойники, флотаторы, фильтры, нейтрализаторы, охладительные устройства.
2. Установка экстракции - колонны для улавливания паров экстрагента, собственно экстракционная колонна и резервуары (сборники экстрагента). Конструкция

экстракционных колонн зависит от способа контакта сточной воды и экстрагента. Существуют колонны без какой-либо насадки - распылительные, инжекторные. Часто применяются насадочные колонны, где в качестве насадки применяются 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, колонны с пульсацией потоков или с движущимися сетчатыми тарелками. Экстракционные колонны имеют значительную высоту для обеспечения необходимой продолжительности контакта. В распылительной и насадочной колоннах, а также в колонне с движущимися сетчатыми тарелками высота, эквивалентная одной ступени экстракции, соответственно равна 10, 6. и 0,8 м. Выбор типа колонны определяется необходимым числом ступеней экстракции и допустимыми затратами энергии.

3. Установка регенерации экстрагента из сточной воды. Отгонка экстрагента обычно осуществляется в насадочной колонне, в которую сверху подается обработанная сточная вода, а снизу - острый пар. Регенерация в зависимости от свойств экстрагента и его товарной стоимости может осуществляться отдувкой воздухом или другими газами, а также реэкстракцией.

4. Установка регенерации экстрагента из экстракта теплообменник, подогреватель, одно- или двухступенчатая регенерационная (ректификационная) колонна, охлаждающие устройства, сепараторы, сборники регенерированного экстракта и экстрагируемых веществ.

Наиболее широко методы экстракции применяют для очистки сточных вод предприятий по термической переработке твердых топлив (каменного и бурого углей, сланцев, торфа), содержащих значительное количество фенолов. Утилизация извлекаемых из сточных вод фенолов позволяет не только покрыть расходы на их извлечение, но и при начальной концентрации фенолов выше 3-4 г/л обеспечивает рентабельность их очистки. Эффективность извлечения фенолов из сточных вод достигает 80-97 %.

ИОННЫЙ ОБМЕН

Гетерогенный ионный обмен, или ионообменная сорбция, - процесс обмена между ионами, находящимися в растворе, и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы - ионита.

Очистка производственных сточных вод методом ионного обмена позволяет извлекать и утилизировать ценные примеси (соединения мышьяка, фосфора, а также хром, цинк, свинец, медь, ртуть и другие металлы), ПАВ и радиоактивные вещества, очищать сточную воду до предельно допустимых концентраций с последующим ее использованием в технологических процессах или в системах оборотного водоснабжения.

По знаку заряда обменивающихся ионов иониты делят на катиониты и аниониты, проявляющие соответственно кислотные и основные свойства. Иониты подразделяются на природные и искусственные, или синтетические. Практическое значение имеют неорганические природные и искусственные алюмосиликаты, гидроокиси и соли многовалентных металлов; применяются также иониты, полученные химической обработкой угля, целлюлозы и лигнина. Однако ведущая роль принадлежит синтетическим органическим ионитам – ионообменным смолам.

Различают следующие виды ионитов:

- 1) сильнокислотные катиониты, содержащие сульфогруппы SO_3H , и сильноосновные аниониты, содержащие четвертичные аммониевые основания;
- 2) слабокислотные катиониты, содержащие карбоксильные COOH и фенольные группы, диссоциирующие при $\text{pH} > 7$, а также слабоосновные аниониты, содержащие первичные NH_2 и вторичные NH аминогруппы, диссоциирующие при $\text{pH} < 7$;
- 3) иониты смешанного типа, проявляющие свойства смеси сильных и слабых кислот или оснований.

Важнейшим свойством ионитов является их поглотительная способность, так называемая обменная емкость. Полная емкость ионита - количество находящихся в сточной воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 м³ ионита до полного насыщения. Рабочая емкость ионита — количество находящихся в воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 м³ ионита до начала проскока в фильтрат поглощаемых ионов.

При соприкосновении ионитов с водой происходит их набухание вследствие осмотических явлений; объем ионитов обычно увеличивается в 1,2—2 раза. На кинетику ионного обмена влияют также температуры, концентрация ионов и др.

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

Сильнокислотные катиониты позволяют осуществлять процесс ионного обмена при любых значениях pH , а слабокислотные при $\text{pH} \geq 7$.

Регенерация катионитов осуществляется промывкой растворами кислот (при H -катионите) или раствором хлористого натрия (при Na -катионите).

Поскольку в сточных водах, как правило, содержится несколько катионов, большое значение имеет селективность их поглощения. Для каждого вида катионита установлены ряды катионов по энергии их вытеснения.

Регенерация слабоосновных анионитов достигается фильтрованием через слой анионита 4-6 %-ных водных растворов NaOH, Na₂CO₃ или NH₄OH.

Процессы ионообменной очистки сточных вод осуществляются в аппаратах периодического (фильтрах) или непрерывного действия.

Фильтр периодического действия представляет собой закрытый цилиндрический резервуар с расположенным у дна щелевым дренажным устройством, обеспечивающим равномерное отведение воды по всему сечению фильтра; высота слоя загрузки ионита 1,5-3 м. Фильтр может работать по параллельноточной схеме (при подаче сточной воды и регенерирующего раствора сверху) и по противоточной схеме (сточная вода подается снизу, а регенерирующий раствор -сверху). На продолжительность фильтроцикла большое влияние оказывает содержание взвешенных веществ, поэтому перед подачей воды в ионообменную установку следует обеспечить максимальное их удаление.

Сточные воды, подаваемые на ионообменные установки, не должны содержать солей более 3000 мг/л, а взвешенных веществ более 8 мг/л; величина ХПК не должна превышать 8 мг/л. Если эти требования не выдерживаются, то необходимо предусматривать предварительную очистку сточных вод, например, на кварцевых фильтрах или на сорбционных установках.

Потери напора в катионитовых фильтрах зависят от скорости фильтрования, высоты слоя загрузки и размера зерен ионита и составляют 4-10 м.

Регенерация катионитовых фильтров производится 7-0 %-ными растворами серной или соляной кислоты со скоростью пропуска этих растворов не более 2 м/ч. Последующая отмывка катионита осуществляется ионированной водой, пропускаемой через слой катионита сверху вниз со скоростью 6—8 м/ч; удельный расход воды 2,5-3 м³ на 1 м³ загрузки фильтра.

При очистке сточных вод, загрязненных взвешенными веществами, применяют ионообменные колонны с псевдооживленным слоем ионита.

Для определения основных параметров установки подсчитывают суммарную площадь сечения ионообменных колонн, по расходу сточных вод, и оптимальной скорости фильтрования через псевдооживленный слой ионита.

Процесс регенерации ионитов состоит из трех стадий: взрыхления ионита, собственно регенерации и отмывки ионита от продуктов регенерации и избытка

регенерирующего вещества. Объем промывных вод обычно составляет 75-100 % объема регенерационных растворов.

В аппаратах непрерывного действия ионит движется по замкнутому контуру, последовательно проходя стадии сорбции, регенерации и промывки.

Метод ионного обмена применяется для очистки сточных вод предприятий металлургической, химической, коксохимической, машиностроительной и других отраслей промышленности.

ЭЛЕКТРОДИАЛИЗ

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

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

Мембраны для электродиализатора изготавливают в виде гибких листов прямоугольной формы или рулонов из термопластичного полимерного связующего и порошка ионообменных смол.

Электродиализные аппараты применяются двух типов: прокладочные и лабиринтные. Электролизаторы прокладочного типа (ЭДУ-50, ЭХО-М-5000Х200, «Родник-3») имеют горизонтальную ось электрического поля; их пропускная способность 2—20 м³/ч. Электродиализаторы лабиринтного типа (Э-400М, ЭДУ-2, ЭДУ-1000, АЭ-25) имеют вертикальную ось электрического поля; их пропускная способность 1—25 м³/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; бактерицидных установок.

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 м³ сточных вод считается рациональным применение технологических схем прямоточного типа.

Обратный осмос (гиперфильтрация) - непрерывный процесс молекулярного разделения растворов путем их фильтрования под давлением через полупроницаемые мембраны, задерживающие полностью или частично молекулы либо ионы растворенного вещества. При приложении давления выше осмотического (равновесного) осуществляется перенос растворителя в обратном направлении (от раствора к чистому растворителю через мембрану) и обеспечивается достаточная селективность очистки. Необходимое давление, превышающее осмотическое давление растворенного вещества в растворе, составляет 0,1 - 1 МПа при концентрации солей 2-5 г/л и 5-10 МПа при концентрации солей 20—30 г/л.

Ультрафильтрация - мембранный процесс разделения растворов, осмотическое давление которых мало. Этот метод используется при отделении сравнительно высокомолекулярных веществ, взвешенных частиц, коллоидов. Ультрафильтрация по

сравнению с обратным осмосом - более высокопроизводительный процесс, так как высокая проницаемость мембран достигается при давлении 0,2-1 МПа.

Очистка сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной, химической, нефтехимической и других отраслей промышленности гиперфильтрационным и ультрафильтрационным методами имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами очистки: невысокие энергозатраты, простота и компактность установок, возможность полной их автоматизации, высокая эффективность очистки, возможность повторного использования фильтрата и утилизации полученного концентрата. Недостатком методов является необходимость проведения процесса при высоком давлении в системе.

В настоящее время применяются различные типы гиперфильтрационных и ультрафильтрационных аппаратов, отличающихся способом размещения мембран:

аппараты типа «фильтр-пресс» с плоскокамерными фильтрующими элементами, имеющими удельную площадь поверхности мембран 60—300 м² на 1 м³ объема аппарата; аппараты с трубчатыми фильтрующими элементами, имеющими удельную площадь поверхности мембран 100—200 м²/м³; аппараты с фильтрующими элементами рулонного или спирального типа с удельной площадью поверхности мембран 300—800 м²/м³; аппараты с мембранами из полых волокон малого диаметра (45-200 мкм), имеющими удельную площадь поверхности до 20 000 м²/м³; волокна из ацетатцеллюлозы или нейлона собираются в пучки длиной 2—3 м и располагаются в аппарате линейно или U-образно.

Пропускная способность таких аппаратов 5—1000 м³/сут.

Основным элементом осмотических аппаратов являются мембраны, которые должны обладать высокой проницаемостью и селективностью, механической прочностью и низкой стоимостью. Применяются мембраны ацетатцеллюлозного типа марок МГА (для гиперфильтрационных аппаратов) и УАМ (для ультрафильтрационных аппаратов). Пропускная способность этих мембран 30-2400 л/(м²-сут); селективность 80-97 %; крупность пор гиперфильтрационных мембран около 0,001 мкм, ультрафильтрационных 0,005-0,2 мкм.

Схемы работы гиперфильтрационных аппаратов в зависимости от состава сточных вод, необходимой степени их очистки, а также пропускной способности аппаратов могут быть одно- и многоступенчатыми.

Эвапорация - методы эвапорационной очистки производственных сточных вод, среди которых наиболее широкое распространение получили пароциркуляционный метод и азеотропная ректификация. Пароциркуляционный метод, применяемый для удаления

из сточных вод летучих веществ (фенолов, крезолов, ксиленолов, нафтолов и др.), основан на отгонке загрязнений с циркулирующим водяным паром и на последующей его отмывке от загрязнений раствором щелочи. При нейтрализации щелочного раствора загрязнения выделяются из него и могут быть отделены от водного слоя отстаиванием.

Отгонка осуществляется в периодически действующих аппаратах или в непрерывно действующих дистилляционных колоннах. При движении через колонну с насадкой навстречу острому пару сточная жидкость нагревается до 100 °С; находящиеся в ней летучие примеси частично переходят в паровую фазу. Основные размеры эвапорационных колонн: диаметр 0,8—3 м; высота насадки 6—12 м; отношение высоты колонны к ее диаметру не более 5—10. Плотность орошения 1-2 м³/(м²хч), расход пара 0,5—1,5 кг/кг, пропускная способность колонны 20—200 м³/сут.

Эвапорационные методы применяют для очистки сточных вод коксохимических и химических заводов, заводов синтетического каучука и др.