

Биологический метод очистки — универсален. Он предназначен для обезвреживания выбросов от широкого спектра органических соединений (стирола, ксилола, толуола, бензола, этанола, этилацетата, фенола, формальдегида, фурилового спирта и др.) промышленных предприятий, обувных, мебельных и кожевенных фабрик, а также для дезодорации вентиляционных выбросов на мясоперерабатывающих и рыбоперерабатывающих предприятиях.

§ 10. Государственный мониторинг и контроль за охраной атмосферного воздуха

Государственный мониторинг за состоянием атмосферного воздуха в основном проводит Росгидромет, который располагает 661 стационарным постом (в 236 городах и поселках), 107 химическими лабораториями и 53 кустовыми лабораториями. Так, в одной Москве действуют 36 стационарных постов, на них воздух оценивается по 30 стандартным показателям. При маршрутных наблюдениях и дополнительных обследованиях загрязнения атмосферного воздуха часто используются передвижные лаборатории. Так, лаборатории типа «Атмосфера» могут проводить ежегодно анализ до 5000 проб.

Разработаны мобильные лазерные комплексы (лидары) для контроля за загрязнением атмосферного воздуха на относительно большом расстоянии от источника загрязнения.

Для слежения за трансграничным переносом вредных веществ (в частности, с территорий сопредельных с Россией стран) развернута сеть станций на западных границах страны. При этом особенно тщательно контролируются такие вредные газы, как диоксиды серы и азота.

В биосферных заповедниках России расположены станции, составляющие систему фоновой мониторинга. На них собирается информация о наиболее значимых для человечества и биосферы в целом компонентах атмосферы — озоне и диоксиде углерода, химическом составе осадков, атмосферно-электрических характеристиках, оптической плотности аэрозолей и т. п.

Данные об уровне загрязнения атмосферы после их обработки передаются в компетентные органы, которые на их основе составляют прогнозы, вырабатывают мероприятия, направленные на снижение концентрации вредных веществ, предупреждают население о возможном повышении уровня загрязненности атмосферного воздуха в связи с неблагоприятными метеорологическими условиями и др.

Государственный контроль за охраной атмосферного воздуха осуществляют Минприроды России и его территориальные органы; по-

рядок контроля определен Правительством РФ (ст. 24 Закона «Об охране атмосферного воздуха»).

Государственный контроль должен обеспечить соблюдение условий, установленных разрешениями на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу; стандартов, нормативов, правил и иных требований охраны атмосферного воздуха; соблюдение режима санитарно-защитных зон объектов, имеющих стационарные источники выбросов вредных веществ в атмосферный воздух; выполнение федеральных и региональных программ охраны атмосферного воздуха, а также соответствующих программ субъектов Федерации; выполнение иных требований законодательства РФ в области охраны атмосферного воздуха.

Глава 7. Защита гидросферы

Защита водных ресурсов от истощения и загрязнения вредными веществами предусматривает комплекс мер: 1) разработку соответствующих законодательных актов; 2) организацию мониторинга водных объектов; 3) охрану поверхностных и подземных вод, включая очистку промышленных и бытовых стоков; 4) подготовку воды, используемой для питьевых и хозяйственных целей; 5) государственный контроль за использованием и охраной водных ресурсов.

§ 1. Федеральное законодательство и охрана водных объектов

Водное законодательство включает Водный кодекс Российской Федерации и принимаемые в соответствии с ним федеративные законы и иные нормативные правовые акты, а также законы и иные нормативные правовые акты субъектов РФ (республик, краев, областей).

Целью водного законодательства является регулирование отношений в области использования и охраны водных объектов. При этом использование водных объектов для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения является приоритетным. Для указанного вида водоснабжения необходимо использовать защищенные от засорения и загрязнения поверхностные и подземные водные объекты.

На всех водопользователей в законодательном порядке возлагается обязанность сокращать изъятия и потери воды, не допускать засорения, истощения и загрязнения водных объектов. Запрещен сброс

сточных вод (СВ) в водные объекты, если последние отнесены к особо охраняемым, содержат природные лечебные ресурсы, находятся в местах массового отдыха населения или курортных зонах, а также в местах нереста и зимовки ценных видов рыб и т. п.

Главную роль в охране вод играет государственный учет поверхностных и подземных вод, который осуществляется в целях текущего и перспективного планирования рационального использования водных ресурсов, их восстановления и охраны. В его основе лежат данные государственного мониторинга и данные учета, которые предоставляются водопользователями. Своды систематизированных данных о водных объектах, водных ресурсах, режиме, качестве и использовании вод, а также о водопользователях включаются в Водный кадастр.

Водный кодекс РФ запрещает вводить в эксплуатацию:

- любые объекты, которые не оборудованы очистными сооружениями и устройствами, предотвращающими засорение, истощение и загрязнение водных объектов;
- сбросные и водосборные сооружения, а также гидротехнические сооружения (ГТС) без рыбозащитных устройств;
- объекты промышленности, сельского хозяйства и другие комплексы, которые не имеют санитарно-защитных зон;
- оросительные, обводнительные и осушительные системы, водохранилища, плотины и каналы до завершения мероприятий, которые предотвращают их вредное воздействие на водные объекты.

Важную роль в охране водных ресурсов играет лицензирование водопользования, а также сброса сточных и других вод. Порядок лицензирования водопользования регулируется ст. 48—53 и 83 Водного кодекса РФ, а также постановлением Правительства РФ «Об утверждении Правил предоставления в пользование водных объектов, находящихся в государственной собственности, установления и пересмотра лимитов водопользования, выдачи лицензии на водопользование и распространительной лицензии».

Нарушение требований по охране и рациональному использованию водных объектов влечет за собой ограничение, приостановление и даже запрещение эксплуатации хозяйственных и других объектов, которые оказывают негативное влияние на состояние водных объектов. Решение об этом принимается Правительством РФ или органами исполнительной власти ее субъектов. Предварительно дается представление специально уполномоченного государственного органа управления использованием и охраной водного фонда, специально уполномоченных государственных органов в области охраны ОС, государственного органа санитарно-эпидемиологического надзора.

§ 2. Мониторинг водных объектов

Государственный мониторинг водных объектов, являясь составной частью системы государственного мониторинга окружающей природной среды, включает мониторинг поверхностных водных объектов суши и морей, мониторинг подземных водных объектов, мониторинг водохозяйственных систем и сооружений.

Он предусматривает: 1) постоянные наблюдения за их состоянием, качественными и количественными показателями как поверхностных, так и подземных вод; 2) сбор, хранение и обработку данных наблюдений; 3) создание и ведение банков данных; 4) оценку, составление прогнозов изменения состояния водных объектов и передачу соответствующей информации правительственным органам Федерации и ее субъектов.

Государственный мониторинг водных объектов осуществляет Министерство природных ресурсов (МПР), Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) и другие специально уполномоченные государственные органы в области охраны окружающей среды.

МПР РФ отвечает за развитие сети станций и постов наблюдения на водных объектах, разработку автоматизированных информационных систем (АИС) по ведению государственного мониторинга водных объектов, создание наблюдательной сети постов на водохозяйственных системах и сооружениях. Росгидромет ведет наблюдение за загрязнением поверхностных вод суши, охватывая при этом 154 водоема и 1172 водотока, на которых исследуются гидрохимические показатели.

Санитарно-эпидемиологическая служба России отвечает за санитарную охрану водоемов. Она располагает 2600 санитарно-эпидемиологическими учреждениями, 35 научно-исследовательскими учреждениями гигиенического и эпидемиологического профиля. Кроме того имеется сеть санитарных лабораторий на предприятиях, занятых изучением состава сточных вод и качества воды водоемов.

В настоящее время большое внимание уделяется развертыванию сети автоматизированных станций, которые способны измерять и контролировать изменение десятков показателей качества воды, причем весьма быстро.

§ 3. Охрана поверхностных вод

К поверхностным относятся воды, постоянно или временно находящиеся на земной поверхности. Это воды рек, временных водотоков,

озер, водохранилищ, прудов, водоемов, болот, ледников и снежного покрова.

Меры по их охране предусмотрены в Правилах охраны поверхностных вод, утвержденных Госкомприроды СССР от 21.02.91 г. Особое внимание в них уделено охране водных объектов при сбросе в них сточных вод.

Поверхностные воды охраняются от засорения, истощения и загрязнения. Для предупреждения засорения осуществляют мероприятия, которые исключают попадание в них мусора, твердых отходов и других предметов, отрицательно воздействующих на качество вод и условия обитания гидробионтов. Строгий контроль за минимально допустимым стоком вод, ограничение их нерационального потребления способствуют защите поверхностных вод от истощения.

Весьма важной и притом сложной проблемой является защита поверхностных вод от загрязнения. С этой целью предусматривается ряд мероприятий, в частности: мониторинг водных объектов; создание водоохранных зон; развитие безотходных и безводных технологий, а также систем оборотного (замкнутого) водоснабжения; очистка сточных вод (промышленных, коммунально-бытовых и других); очистка и обеззараживание поверхностных и подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения и других целей.

§ 4. Организация водоохранных зон

Для поддержания водных объектов в состоянии, которое соответствует экологическим требованиям, исключает загрязнение, засорение и истощение поверхностных вод и сохраняет среду обитания животных и растений, организуют водоохранные зоны. Ими являются территории, примыкающие к акватории рек, водохранилищ и других поверхностных водных объектов; на них устанавливается специальный режим использования и охраны природных ресурсов, а также осуществления иной деятельности. В пределах указанных зон устанавливаются прибрежные защитные полосы, где не разрешается распахать землю, рубить лес, размещать фермы и т. п.

Согласно Водному кодексу РФ, на правительство страны возложена обязанность установления размеров и границ водоохранных зон и их прибрежных защитных полос. Так, минимальная ширина указанных зон для озер от среднемноголетнего уреза в летний период и для водохранилищ от уреза воды при нормальном подпорном уровне при акватории до 2 км² составляет 300 м, более 2 км² — 500 м.

Аналогичный показатель для рек определяется длиной реки: от истока до 10 км — 15 м; от 11 до 50 км — 100 м; от 51 до 100 км — 200 м; от 201 до 300 км — 400 м; свыше 500 км — 500 м.

Большое значение в деле охраны поверхностных вод от засорения и загрязнения имеют водоохранные лесные насаждения вокруг естественных и искусственных водоемов и водотоков. Они предназначены для защиты их от разрушительных действий ветров и поступающей в них с водосбора воды, а также для уменьшения потерь воды на испарение. Лесные насаждения улучшают водный режим водоемов, санитарно-гигиенические условия побережья и его ландшафтно-декоративное оформление, качество воды в водоемах, уменьшают их заиление, сокращают потери земельных угодий из-за переработки берегов волнами (абразии). Водоохранные лесные насаждения, размещаемые вокруг питьевых водохранилищ, должны удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям, которые предъявляются к питьевым водохранилищам. В их состав входят до 50% хвойных пород, которые размещают в крайних 2—3 рядах со стороны водохранилища для защиты его зеркала от опадающих листьев. Кроме хвойных, в эти насаждения вводят лиственные породы, обладающие большой фитацидной способностью (липа, тополь и др.).

Помимо водоохранных зон могут устанавливаться также зоны и округа санитарной охраны. Они устанавливаются в целях охраны водных объектов, используемых для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также содержащих природные лечебные ресурсы.

§ 5. Общая характеристика сточных вод

По происхождению сточные воды подразделяются на несколько групп: 1) хозяйственно-бытовые; 2) промышленные; 3) поверхностный сток предприятий и населенных пунктов; 4) сельскохозяйственные; 5) рудничные и шахтные воды. Каждая группа имеет свой специфический состав, в котором преобладает определенная ассоциация загрязняющих веществ (А.Ф. Порядин, А.Д. Хованский, 1996 г.).

Хозяйственно-бытовые воды содержат большое количество органических и минеральных веществ в растворенном и взвешенном состоянии. Они образуются в жилых и общественных зданиях, на предприятиях, при приготовлении пищи, после санитарных уборок, стирок и т. п. Подсчитано, что от одного жителя в сутки поступает в систему водоотведения загрязнений: взвешенных веществ — 65 г; органических в неосветленной жидкости — 70, в осветленной — 40; азота ammo-

нийного — 8, фосфатов — 3,3, в т. ч. от моющих веществ — 1,6; хлоридов — 9; ПАВ — 2,5 г.

Среди всех видов загрязненных водоемов наибольшее вредное воздействие вызывают **промышленные сточные воды**. Схема образования сточных вод представлена на рис. 7.1. Составители этой схемы (С.В. Яковлев, А.К. Стрелков, А.А. Мазо, 1998 г.) подчеркивают, что все процессы переработки и отходов непременно требуют участия энер-

гии, производство которой в современной тепло- и электроэнергетике принципиально не может быть безотходным, так как горение есть необратимый процесс.

Промышленные сточные воды отличаются большим разнообразием состава и концентрацией загрязняющих веществ, определяемых характером производства, а также системой водоснабжения и водоотведения.

На промышленных предприятиях до 90% воды расходуется на охлаждение продуктов или аппаратов в технологических процессах, и сточная вода имеет лишь тепловое загрязнение (I категория). II категория устанавливается, когда воды служат в качестве поглощающих и транспортирующих нерастворимые дисперсные примеси и частично растворимые соли, которыми и загрязняются. Воды III категории аналогичны по происхождению II, но дополнительно нагреваются при контакте с продуктами. Воды IV категории являются непосредственно реагентами и загрязнены всеми компонентами технологического процесса.

Сточные воды предприятий **по составу** подразделяются на 3 вида:

- **производственные** — использованные или сопутствующие технологическому процессу, которые в свою очередь можно разделить на загрязненные и нормативно чистые;
- **бытовые** — от санитарных узлов и пищеблоков, душевых установок;
- **атмосферные** — дождевые, талые, к ним можно отнести и поверхностные после полива территорий.

Характер загрязнения производственных сточных вод в основном определяется профилем предприятия, составом перерабатываемых материалов, сырья и видом выпускаемой продукции.

Все многообразие производственных сточных вод **по характеру основных загрязнений** можно отнести к 3 группам:

- содержащие минеральные примеси (металлургия, машиностроение, производство строительных материалов, минеральных кислот, удобрений и т. д.);
- содержащие органические примеси (мясная, рыбная, консервная, пищевая промышленность и т. д.);
- содержащие органоминеральные примеси (нефтедобывающие, нефтеперерабатывающие, текстильные и др. предприятия).

Поверхностный сток промышленных предприятий и населенных пунктов формируется за счет дождевых, талых и поливомоечных вод. К основным факторам, определяющим его объем, относятся: 1) интенсивность выпадения атмосферных осадков и их продолжительность;

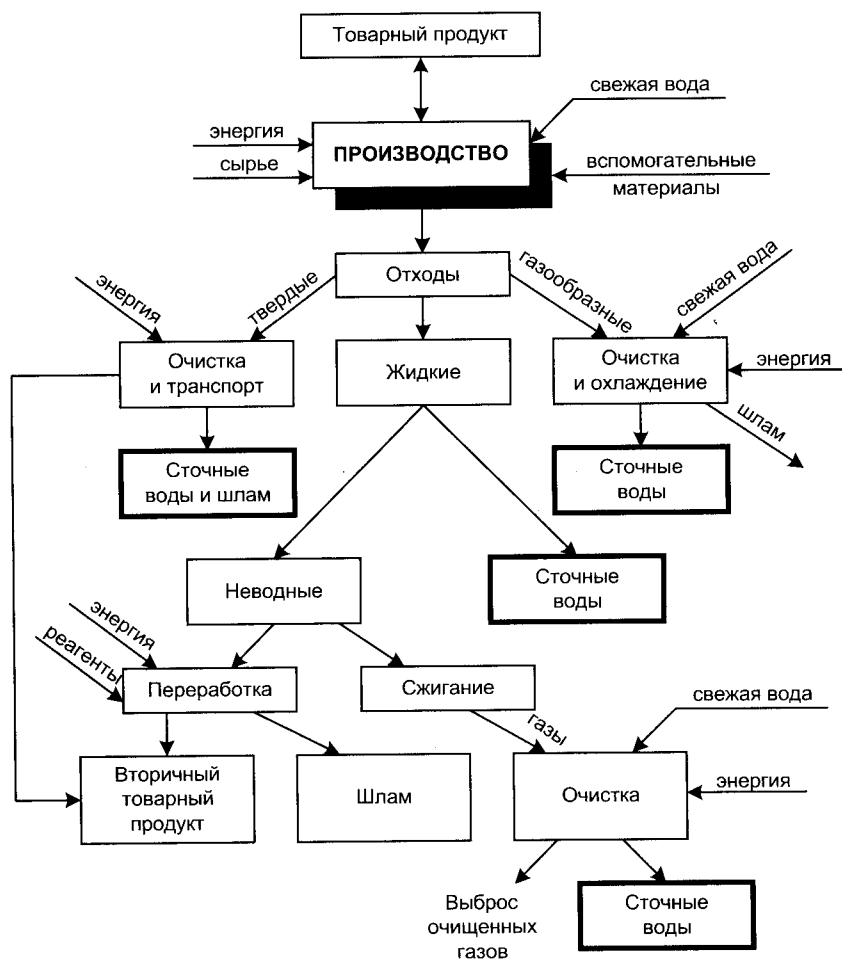


Рис. 7.1. Схема образования сточных вод в процессе материального производства

- 2) общая площадь городской территории, характер ее застройки;
- 3) рельеф местности.

Концентрация загрязняющих веществ в поверхностном стоке колеблется в широких пределах и зависит от отраслевой принадлежности предприятий. В целом преобладают взвешенные (130—11300 мг/л), органические вещества, нефтепродукты, биогенные элементы, тяжелые металлы.

Загрязненность сточных вод органическими веществами, как известно, характеризуется тремя показателями: БПК, ХПК, ООУ.

БПК — биохимическая потребность в кислороде — опосредованный показатель содержания органических веществ — характеризует необходимое количество кислорода для микробного окисления биологически окисленных органических веществ.

Различают БПК_{полн}, БПК₂₀, БПК₁₀, БПК₅, соответственно обозначающие, сколько кислорода израсходовано на полное окисление органических веществ в течение 20, 10 и 5 суток.

ХПК — химическая потребность в кислороде — также опосредованный показатель — характеризует необходимое количество кислорода для химического окисления всех органических веществ, а заодно и восстановленных неорганических (аммонийный азот, сульфиды, сульфиты т. д.).

ООУ — общее содержание органического углерода, характеризует суммарную концентрацию органических веществ.

Если в одной и той же пробе определить эти характеристики, то они выстроятся в убывающий ряд: ХПК > ООУ > БПК.

Способность сточных вод к биохимической очистке характеризуется **биохимическим показателем Б**, т. е. отношением БПК_п/ХПК.

По биохимическому показателю и токсичности промстоки подразделяются на 4 группы:

- 1) $B > 0,2$: к ним относятся сточные воды пищевой, нефтехимической и других отраслей промышленности, органические загрязнения которых не токсичны для микробных ценозов;
- 2) $0,02 \leq B \leq 0,1$: промстоки коксохимических, азотнотуковых содовых и некоторых других производств. Эти воды после предварительной механической очистки могут быть направлены на биохимическое окисление;
- 3) $0,001 \leq B \leq 0,01$: к этой группе принадлежат промстоки процессов сульфирования, хлорирования, масел и ПАВ, сернокислотного производства, черной металлургии, тяжелого машиностроения и др. После предварительной очистки на локальных

очистных сооружениях данные стоки могут быть направлены на биохимическое окисление;

- 4) $B < 0,01$: промстоки этой группы в основном загрязнены минеральными (дисперсными) веществами и подлежат преимущественно механической очистке.

§ 6. Основные пути и методы очистки сточных вод

Различают два основных пути очистки сточных вод: разбавление и очистка их от загрязнений. Разбавление не ликвидирует воздействия сточных вод, а лишь ослабляет его на локальном участке водоема. Основной путь — очистка сточных вод от загрязнений.

Методы очистки производственных и бытовых вод можно подразделить на следующие группы: механические, физико-химические, химические, биологические и термические (рис. 7.2). По своей сути эти методы могут быть рекуперационными и деструктивными. **Рекуперационные методы** предусматривают извлечение из сточных вод всех ценных веществ и последующую их переработку, а **деструктивные** — разрушение загрязняющих веществ путем их окисления или восстановления, в результате чего образуются газы или осадки.

На рис. 7.3 показана общая схема очистки сточных вод. Кроме обязательной механической очистки, в комплекс очистных сооружений входят сооружения других групп очистки, вплоть до глубокой. Перед сбросом в водоем очищенные сточные воды подвергаются обеззараживанию (хлором, озоном, пероксидом водорода и др.). Если в процессе очистки образуется осадок (или биомасса), его направляют в сооружения по обработке осадка. После этого обработанный осадок может утилизироваться, уничтожаться или складироваться. Очищенные сточные воды могут сбрасываться в водоемы (что нежелательно), направляться в оборотные системы водообеспечения промышленных предприятий и на орошение технических сельскохозяйственных культур.

Поскольку в течение суток состав сточных вод и их объем (в результате залповых выбросов) могут существенно изменяться, перед подачей сточных вод на механическую очистку их могут направлять в специальные устройства — усреднители. Последние либо интенсивно перемешивают отдельные потоки, либо дифференцируют поток сточных вод.

Количество производственных сточных вод определяется в зависимости от производительности предприятия по укрупненным нормам водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности.

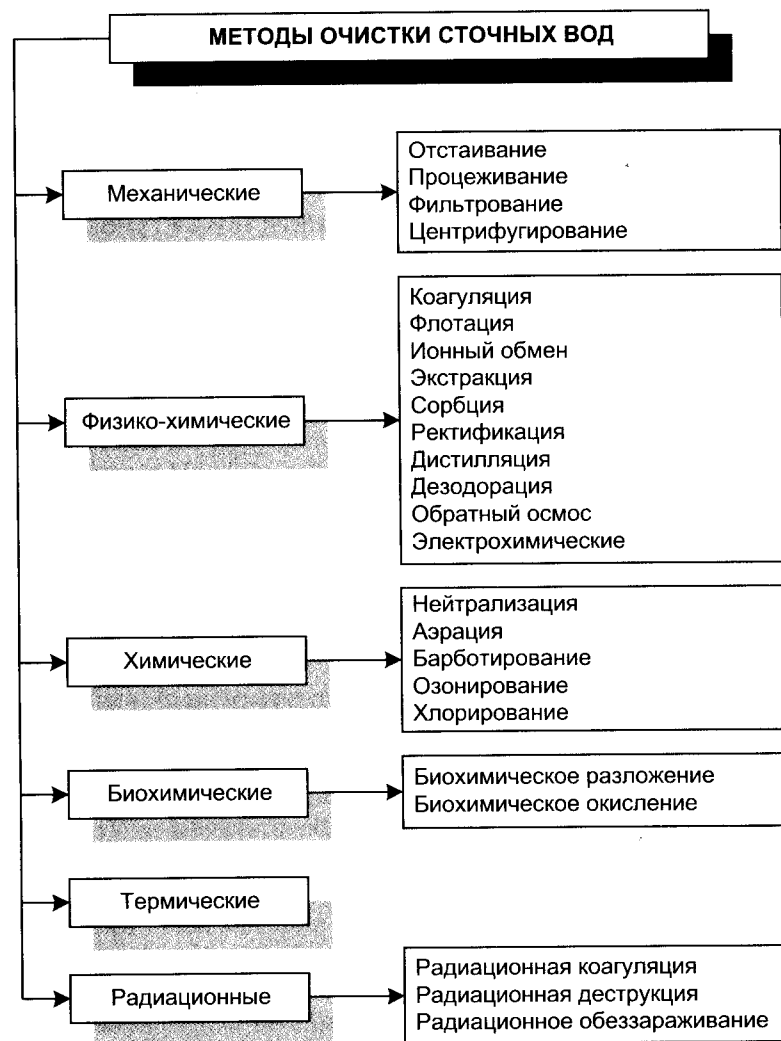


Рис. 7.2. Методы очистки сточных вод от загрязнений (Н.И. Иванов, И.М. Фадин, 2002 г., с добавлениями)

Норма водопотребления — количество воды, необходимое для производственного процесса, установленное на основании научно обоснованного расчета или передового опыта.

Норма водоотведения — это количество сточных вод, отводимых от промышленного предприятия в водоем, при целесообразной норме

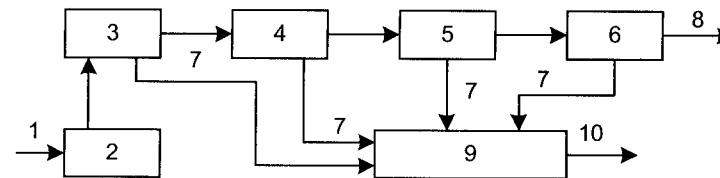


Рис. 7.3. Общая схема очистки сточных вод:

1 — необработанные сточные воды; 2 — устройство для регулирования состава и расхода сточных вод; 3 — сооружения механической очистки; 4 — сооружения других групп очистки; 5 — сооружения глубокой очистки; 6 — сооружения по обеззараживанию сточных вод; 7 — осадок или избыточная биомасса; 8 — очищенные сточные воды; 9 — сооружения по обработке осадка; 10 — обработанный осадок

водопотребления. В укрупненную норму водопотребления входят все расходы воды на предприятии. Нормы водопотребления и водоотведения выражаются в кубометрах воды на единицу готовой продукции или используемого сырья. Эти нормы расхода производственных сточных вод применяют при проектировании вновь строящихся и реконструкции действующих систем водоотведения промышленных предприятий. Укрупненные нормы позволяют дать оценку рациональности использования воды на любом действующем предприятии.

§ 7. Методы механической очистки

Этого метода достаточно только при промышленном оборотном водоснабжении отдельных производств. В основном он служит лишь для подготовки сточных вод к обработке другими методами. При этом загрязненные воды осветляются на 30—60%, что существенно облегчает дальнейшие стадии очистки.

Механическая очистка применяется для выделения из сточных вод нерастворенных минеральных и органических примесей, для чего используют гидромеханические процессы (периодические и непрерывные) процеживания и отстаивания (гравитационное и центробежное), а также фильтрование. Выбор метода зависит от размера частиц примесей, физико-химических свойств и концентрации взвешенных частиц, расхода сточных вод и необходимой степени очистки.

Процеживание и отстаивание. Процеживание производится через решетки или сита в зависимости от величины и гидравлических свойств выделяемых частиц.

Решетки бывают подвижные и неподвижные. При очистке малых и средних количеств сточных вод используют неподвижные решетки.

В зависимости от способа очистки решеток от налипших загрязнений различают простые решетки (очистка ручным способом) и механические (очистка при помощи различных приспособлений). Для извлечения из сточных вод ценных продуктов, находящихся в нерастворенном состоянии, используются **сита** барабанные и дисковые.

Для улавливания из сточных вод примесей минерального происхождения, главным образом песка геометрической крупности 0,15 мм и выше, применяют **песколовки**, которые по направлению движения воды подразделяются на горизонтальные, вертикальные и с вращательным движением воды.

Принцип действия песколовки основан на том, что под влиянием сил тяжести частицы, удельный вес которых больше, чем удельный вес воды, по мере движения их вместе с водой в резервуаре оседают на дно. В соответствии с закономерностями гидравлики потока песчинки уносятся вместе с водой только при определенной скорости течения. При снижении этой скорости крупинцы песка оседают на дно резервуара, а вода течет дальше.

Песколовки бывают горизонтальные, в которых вода движется в горизонтальном направлении (рис. 7.4), вертикальные, в которых вода движется вертикально вверх (рис. 7.5) и круглые с винтовым поступательно-вращательным движением воды (рис. 7.6).

В последних песколовках происходят процессы, аналогичные явлениям, наблюдаемым в чайной чашке. При перемешивании налитого в чашку чая чаинки собираются в центре чашки. При круговом движении воды в круглой песколовке крупные частицы песка аналогичным образом собираются в ее центре. Через устроенное в центре песколовки отверстие они попадают в специальную камеру.

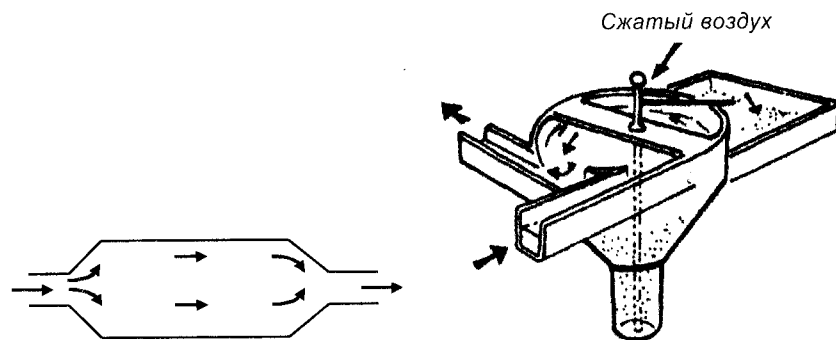


Рис. 7.4. Схема горизонтальной песколовки (вид сверху)

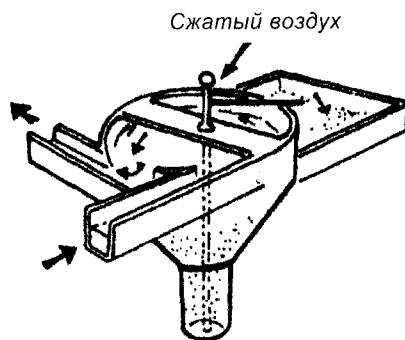


Рис. 7.5. Вертикальная песколовка

При механической очистке из производственных сточных вод путем процеживания, отстаивания и фильтрования удаляется до 90% нерастворимых механических примесей различного характера (песок, глинистые частицы, окалина и другие), а из бытовых — до 60%.

В целях очистки сточных вод от нефтепродуктов также широко применяется метод отстаивания, который в данном случае основан на способности самопроизвольного разделения воды и нефтепродуктов. Частицы последних под действием сил поверхностного натяжения приобретают сферическую форму, и их размеры находятся в диапазоне от 2 до $3 \cdot 10^2$ мкм. В основе процесса отстаивания лежит принцип выделения нефтепродуктов под действием разности плотностей воды и частиц масла. Содержание нефтепродуктов в стоках находится в широких пределах и составляет в среднем 100 мг/л.

Выделение нефтепродуктов производится в нефтеловушках (рис. 7.7). Грязная вода подается в приемную камеру 2 и, пройдя под первой перегородкой, попадает в отстойную камеру 3, где и происходит процесс разделения воды и нефтепродуктов. Очищенная вода выводится из нефтеловушки, а нефтепродукты образуют пленку на поверхности воды и удаляются по перфорированным нефтесборным трубам. Подобным образом устроены жироловушки, маслосборники и смолосборники, использующие принцип разности плотности воды и загрязнений, более легких (например, масло), чем вода.

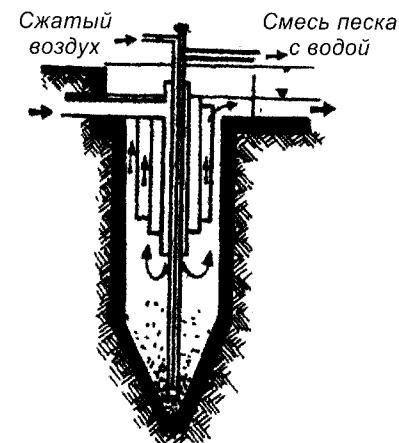


Рис. 7.6. Круглая песколовка

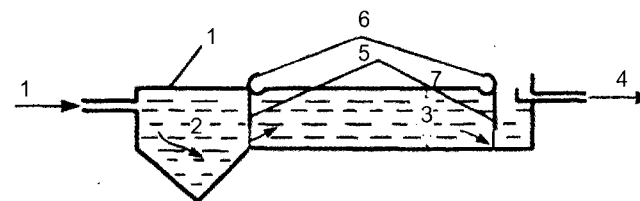


Рис. 7.7. Схема типовой нефтеловушки:
1 — сточная вода; 2 — приемная камера; 3 — отстойная зона; 4 — очищенная вода; 5 — вертикальные полупогруженные перегородки; 6 — нефтесборные трубы; 7 — пленка всплывших нефтепродуктов

Для задержания оседающих и плавающих примесей применяют отстойники, которые по направлению движения воды делятся на горизонтальные и вертикальные. К отстойникам с горизонтальным движением воды относятся также радиальные (рис. 7.8).

Основная масса взвешенных веществ (40—60%) выпадает в осадок в течение 1,5 ч отстаивания. Вертикальные отстойники диаметром 4,5—9 м и высотой отстойной части 3 м применяют при расходе сточных вод до 10 тыс. м³ в сутки. При больших расходах используют горизонтальные или радиальные отстойники. Эффективность отстойников можно повысить увеличением скорости осаждения частиц путем их укрупнения коагуляцией и флокуляцией (см. ниже).

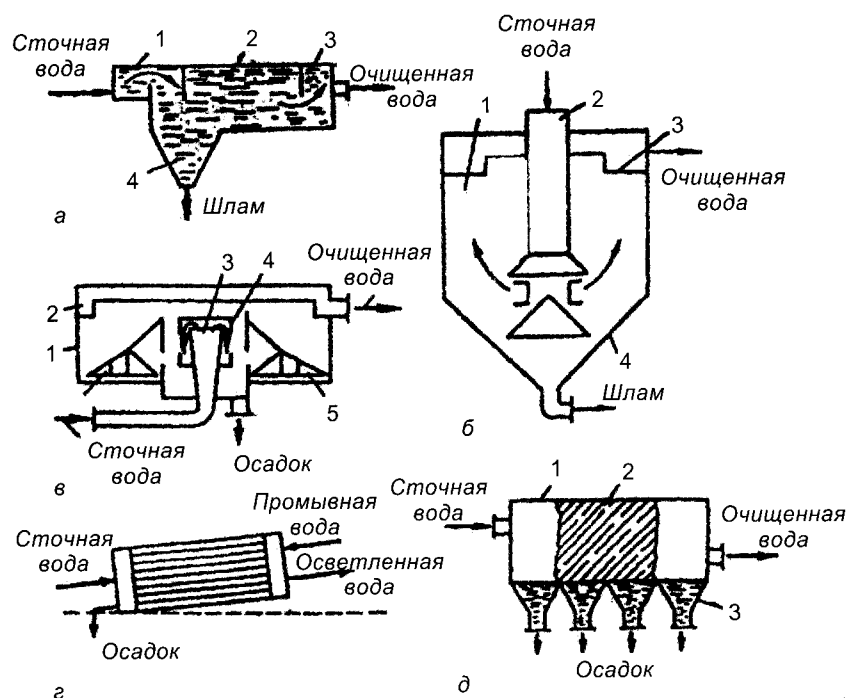


Рис. 7.8. Отстойники:

а — горизонтальный (1 — входной лоток; 2 — отстойная камера; 3 — входной лоток; 4 — прямик); б — вертикальный (1 — цилиндрическая часть; 2 — центральная труба; 3 — желоб; 4 — коническая часть); в — радиальный (1 — корпус; 2 — желоб; 3 — распределительное устройство; 4 — успокоительная камера; 5 — скребковый механизм); г — радиальный с скребковым механизмом; д — радиальный с распределительным устройством.

Фильтрация — удаление взвешенного вещества из воды путем пропускания ее через слой пористого материала или через сетки с изменяющимся размером отверстий. С помощью этого метода очищают сточные воды, содержащие тонкодисперсные примеси в небольшой концентрации. Его применяют также после физико-химических и биологических методов очистки, поскольку некоторые из них сопровождаются выделением в очищаемую жидкость механических загрязнений.

В основном распространены сетчатые фильтры и фильтры с зернистой загрузкой. К **сетчатым** фильтрам относятся барабанные сетки и микрофильтры. **Зернистые** фильтры бывают с нисходящими (сверху вниз) и восходящим (снизу вверх) потоками. Фильтры с нисходящим потоком могут иметь однослойную и многослойную загрузку. Для стабильной и эффективной очистки применяют двухступенчатое фильтрование воды. При этом на первой ступени фильтрации движение воды осуществляется снизу вверх, а на второй ступени — сверху вниз.

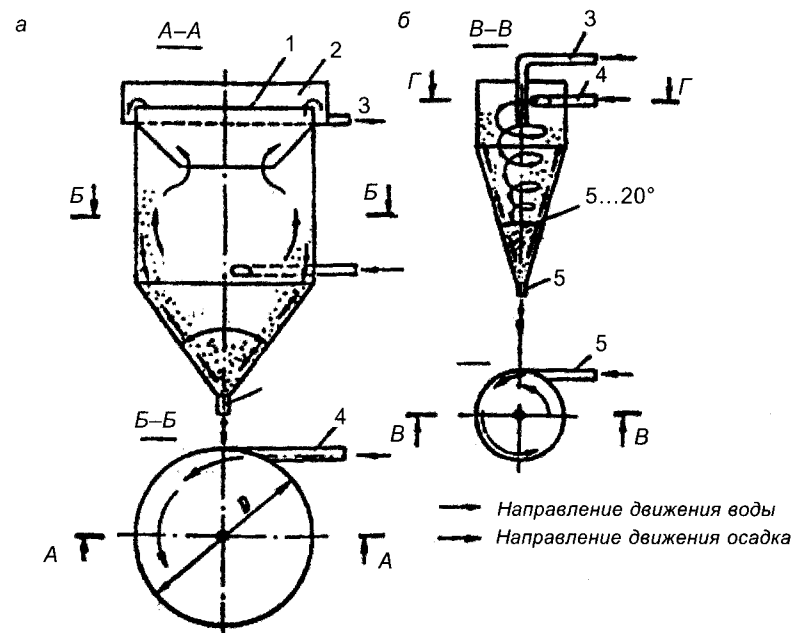


Рис. 7.9. Схемы открытого (а) и напорного (б) гидроциклонов:

1 — водослив; 2 — кольцевой лоток; 3 — патрубок для отвода сточных вод; 4 — патрубок для подачи воды; 5 — патрубок для выпуска осадка

Удаление взвешенных примесей под действием центробежных сил. С этой целью применяют **гидроциклоны**, которые относятся к сооружениям гравитационно-отстойного типа с вращательным движением в рабочей зоне, создаваемым тангенциальным подводом осветляемой воды к цилиндрическому корпусу.

Используются открытые и напорные гидроциклоны (рис. 7.9). **Открытые гидроциклоны**, по производительности существенно превосходящие отстойники, применяют для выделения из сточных вод оседающих и всплывающих веществ.

Напорные гидроциклоны, изготавливаемые из нержавеющей стали, применяют для выделения из сточных вод примесей минерального происхождения, плотность которых значительно отличается от плотности воды.

Преимущество гидроциклонов заключается в высокой удельной производительности, сравнительно низких капитальных затратах на строительство, компактности и возможности автоматизации их работы. В то же время недостатком гидроциклонов, в частности, напорных является большой расход электроэнергии и быстрый износ стенок в связи с абразивностью извлекаемых веществ.

Для повышения производительности гидроциклоны малого диаметра объединяют в общий агрегат, в котором они работают параллельно. Такие агрегаты называют **мультигидроциклонами**.

§ 8. Химические методы очистки

Эти методы применяют для удаления растворимых веществ в замкнутых системах водоснабжения, а иногда и для дополнительной очистки сточных вод до или после биологической очистки. Наиболее часто с помощью химической очистки удаляют ионы тяжелых металлов. Основными приемами химических методов очистки сточных вод являются нейтрализация, окисление — восстановление и осаждение малорастворимых соединений.

Нейтрализация применяется для обработки производственных сточных вод, содержащих щелочи и кислоты. Предварительная нейтрализация указанных вод является обязательной процедурой перед сбросом их в водоем.

Реакция нейтрализации в водных растворах происходит между гидратированными ионами водорода и гидроксид-ионами, содержащимися соответственно в сильных кислотах и основаниях:



Рациональным является взаимное объединение кислых и щелочных стоков, если при этом не происходит выпадения осадков в трубах и, как следствие, засорения сети.

В целях нейтрализации кислых вод применяют щелочные реагенты: известь CaO , гашеную известь Ca(OH)_2 , кальцинированную соду Na_2CO_3 , каустическую соду NaOH , аммиачную воду, а также фильтрование через нейтрализующие материалы природного происхождения: известняк CaCO_3 , доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ и др.

При нейтрализации сточных вод, содержащих серную кислоту, ее концентрация не должна превышать 1,5 г/л, так как при большей концентрации поверхность нейтрализующих материалов покрывается плотным слоем малорастворимого гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, и процесс нейтрализации прекращается.

Для нейтрализации щелочных вод наиболее часто применяются серная H_2SO_4 , соляная HCl и азотная HNO_3 кислоты. В ряде производств используют также выбросные газы, содержащие CO_2 , SO_2 , NO_2 , N_2O_3 и др., в частности, дымовые газы. При этом происходят нейтрализация сточных вод и одновременная очистка производственных газовых выбросов от токсичных компонентов, что характерно для ресурсосберегающей и малоотходной технологии. Преимуществом подобной технологии также является исключение кислот для нейтрализации и возможность создания бессточной системы водопотребления. Схема такого нейтрализатора с мешалкой представлена на рис. 7.10.

Нейтрализация щелочных вод дымовыми газами использована в ряде производств, в том числе и асбестоцементном производстве.

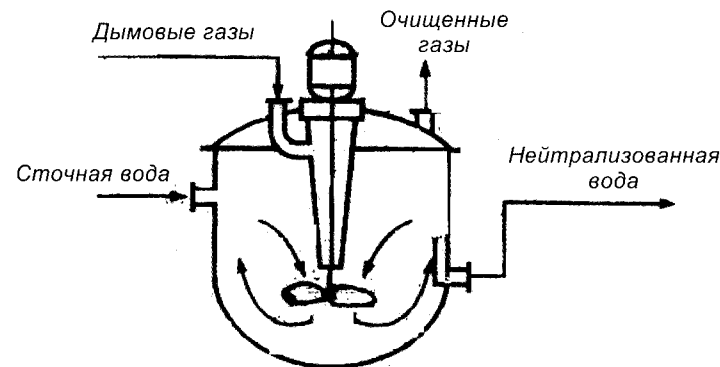
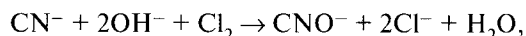


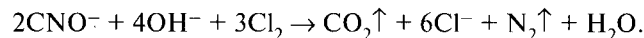
Рис. 7.10. Нейтрализатор сточных вод

Окисление и восстановление как метод очистки применяется для обезвреживания промышленных сточных вод от цианидов, сероводорода, сульфидов, соединений ртути, мышьяка, хрома. В процессе окисления токсичные загрязнения переходят в менее токсичные. В качестве окислителей обычно используют хлор Cl_2 , диоксид хлора ClO_2 , гипохлориты натрия NaClO и кальция $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, перманганат калия KMnO_4 , дихромат калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, пероксид водорода H_2O_2 и др.

При хлорировании водных растворов цианидов, отличающихся весьма высокой токсичностью, процесс проводят в щелочной среде ($\text{pH} \geq 9$). Вначале цианиды переходят в цианаты:



а последние превращаются в молекулярный азот и диоксид углерода:



Аналогично протекает окисление цианидов в присутствии производных хлора — гипохлоритов натрия и кальция.

Озон, в силу своей высокой окислительной способности, уже при нормальной температуре разрушает многие органические компоненты сточных вод. Благодаря озонированию одновременно происходят обесцвечивание и обеззараживание сточной воды, а также насыщение ее кислородом (рис. 7.11).

Эффективность озонирования существенно повышается, а следовательно, сокращается и длительность процесса очистки, если совместно использовать ультразвук и озон или УФ-облучение и озон.

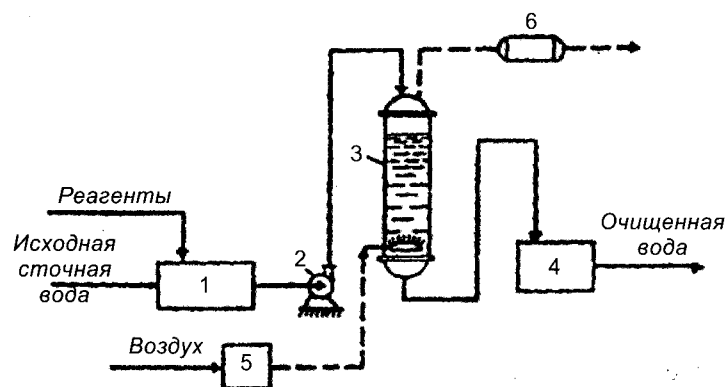
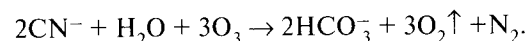
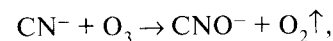


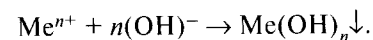
Рис. 7.11. Схема установки для очистки сточных вод методом озонирования: 1 — смеситель; 2 — насос; 3 — барботажный абсорбер; 4 — сборник; 5 — озонаторная установка; 6 — аппарат для очистки отходящих газов

Подобно хлору, озон энергично реагирует с цианидами в слабощелочной среде:



Методы восстановительной очистки сточных вод применимы в тех случаях, когда они содержат легко восстанавливаемые вещества, в частности, соединения ртути, хрома и мышьяка. При этом соединения ртути восстанавливают до металлической ртути, которую отделяют от воды отстаиванием или фильтрацией. Восстановителями служат сероводород, алюминиевая пудра, железный порошок, сульфид железа. Для восстановления шестивалентного хрома ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) используют сульфат железа (II), диоксид серы, водород, отходы органических веществ, например, газетную бумагу.

Ионы тяжелых металлов: цинка, меди, ртути, кобальта, кадмия, никеля, мышьяка, свинца и хрома можно удалить из промышленных сточных вод, переводя их в малорастворимые соединения с последующим отделением осадка от воды. Осаждение проводят в виде гидроксидов, карбонатов или сульфидов, характеризующихся низкими значениями произведений растворимости. В качестве реагентов-окислителей применяют гидроксиды кальция и натрия, карбонат натрия, сульфид натрия. При добавлении к сточной воде $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или NaOH образуются гидроксиды соответствующих тяжелых металлов:



Значения pH , соответствующие началу и окончанию осаждения некоторых металлов, представлены в табл. 7.1.

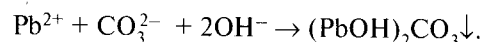
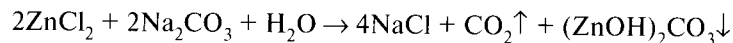
Таблица 7.1

Величины pH осаждения гидроксидов металлов

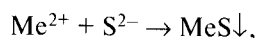
Вид катиона-загрязнителя	Начало осаждения при исходной концентрации осаждаемого иона 0,01 М	Полное осаждение
Fe^{2+}	7,5	9,7
Fe^{3+}	2,3	4,1
Zn^{2+}	6,4	8,0
Cr^{3+}	4,9	6,8
Ni^{2+}	7,7	9,5
Al^{3+}	4	5,2
Cd^{2+}	8,2	9,7

Примечание. Величина pH полного осаждения соответствует остаточной концентрации иона металла 10^{-5} М/л

В случае использования реагентов, содержащих соду Na_2CO_3 , тяжелые металлы осаждаются не только в виде гидроксидов, но и в виде гидроксид-карбонатов. Например,



В том случае, когда требуется более глубокая степень очистки сточных вод, тяжелые металлы рекомендуется выделять в виде сульфидов:



растворимость которых ниже растворимости соответствующих гидроксидов.

§ 9. Физико-химические методы очистки сточных вод

Эти методы используют для удаления из сточных вод тонкодисперсных взвешенных частиц (твердых и жидких), растворимых газов, минеральных и органических веществ. Они применяются как самостоятельные, так и в сочетании с механическими и биологическими методами. В последние годы область применения физико-химических методов очистки (рис. 7.12) расширяется, причем они наиболее эффективны при локальной очистке сточных вод промышленных предприятий.

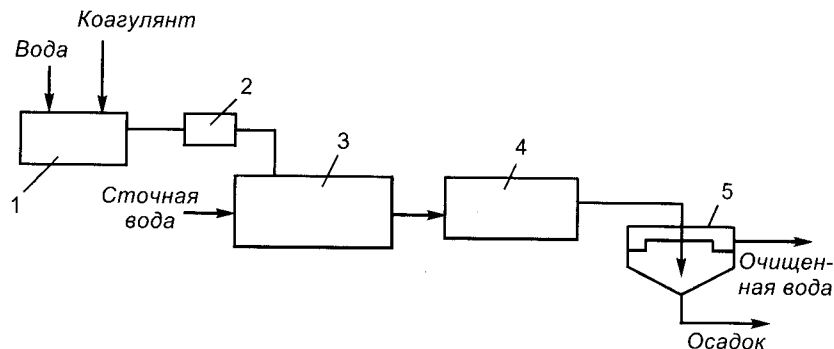
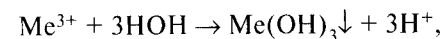


Рис. 7.12. Схема установки для очистки вод коагуляцией:
1 — емкость для приготовления растворов; 2 — дозатор; 3 — смеситель;
4 — камера хлопьеобразования; 5 — отстойник

Коагуляция — процесс укрупнения дисперсных частиц загрязняющих веществ в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты. Укрупнение происходит под влиянием добавляемых **коагулянтов**, чаще всего солей алюминия и железа: сульфата алюминия, гидроксохлорида алюминия и хлорида железа. Их расход составляет 0,1–5 кг на кубометр сточных вод. Коагулянты в воде гидролизуют с образованием хлопьев гидроксидов металлов:



которые медленно оседают, захватывая тонкодиспергированные (взвешенные) частицы загрязняющих веществ (рис. 7.12).

Однако решающим является следующее обстоятельство. Как известно, коллоидные частицы загрязняющих веществ имеют слабый отрицательный заряд. При добавлении к сточной воде электролита-коагулянта положительно заряженные ионы его Me^{3+} (Al^{3+} или Fe^{3+}) нейтрализуют электрический заряд коллоидных частиц, что приводит к дестабилизации коллоидной системы и агрегированию высокодисперсных частиц в более крупные конгломераты — взвеси.

Флокуляция — процесс агрегации взвешенных частиц при добавлении в сточную воду высокомолекулярных соединений, называемых **флокулянтами**. При этом процесс образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа интенсифицируется для повышения скорости их осаждения. Таким образом, введение флокулянтов в сточные воды позволяет, с одной стороны, снизить массу используемых коагулянтов, а с другой — уменьшить продолжительность процесса хлопьеобразования и повысить скорость их осаждения. Применяют природные (крахмал, декстрин) и синтетические (полиакриламид, активный диоксид кремния) флокулянты.

Перспективным методом очистки сточных вод от хрома и других тяжелых металлов, а также от цианидов является **электрокоагуляция** — процесс образования нерастворимых гидроксидов при прохождении сточных вод через электрокоагулятор. Этот аппарат оснащен блоком электродов, изготавливаемых, как правило, из стали или сплавов алюминия. На электроды подается постоянный ток 3–15 В. Под влиянием электрического поля, с одной стороны, дисперсные системы сточных вод становятся менее устойчивыми, а с другой — они коагулируют с трудно растворимыми гидроксидами железа или алюминия, которые возникают и переходят в воду с электродов. Далее сточные воды поступают в отстойник, где в течение 30–45 мин образуются агрегаты размером до 500–1000 мкм, которые в дальнейшем выпадают в осадок.

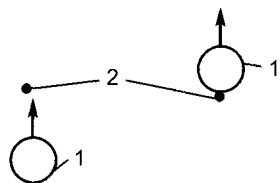


Рис. 7.13. Элементарный акт флотации:
1 — пузырьки газа,
2 — частица нерастворимого вещества

Флотация применяется для очистки производственных сточных вод от нерастворимых диспергированных примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются: нефти, нефтепродуктов, масел, жиров, волокнистых частиц. Сам процесс флотации (рис. 7.13) заключается в образовании в толще воды газовых пузырьков (чаще воздушных), прилипанию частиц примеси к поверхности раздела газовой и жидкой фазы, всплывании этих комплексов на поверхность обрабатываемой сточ-

ной жидкости и удалении образовавшегося пенного слоя.

Возможность образования флотационного комплекса «частица-пузырек», скорость процесса образования и прочность связи, продолжительность существования комплекса зависят от природы частиц, а также от характера взаимодействия реагентов с их поверхностью и от способности частиц смачиваться водой.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) как реагенты-собиратели, адсорбируясь на частицах, понижают их смачиваемость, т. е. делают гидрофобными. В качестве реагентов-собирателей используют жирные кислоты и их соли, меркаптаны, амины, ксантогенаты, алкилсульфаты и др.

Эффект разделения флотацией зависит от размера и количества пузырьков воздуха. Оптимальный размер пузырьков находится в интервале 15—30 мкм. Размер частиц зависит от плотности материала и составляет 0,2—1,5 мм.

Различают следующие методы флотационной обработки сточной воды: перенасыщение сточной воды воздухом и механическую.

Флотацию за счет перенасыщения сточной воды воздухом подразделяют на вакуумную и напорную. При **вакуумной флотации** сточную воду предварительно насыщают воздухом при атмосферном давлении в аэрационной камере, а затем направляют во флотационную камеру, где вакуум-насосом поддерживается разрежение 30—40 кПа (225—300 мм рт. ст.). Выделяющиеся в верхнюю часть камеры пузырьки воздуха выносят загрязнения на поверхность воды. Процесс флотации длится около 20 мин. Концентрация взвешенных частиц не должна превышать 300 мг/л.

Напорная флотация протекает в две стадии: насыщение сточной воды воздухом под избыточным давлением и последующее резкое снижение давления до атмосферного. Напорные флотационные установ-

ки позволяют обрабатывать сточные воды с начальной концентрацией загрязнений до 5 г/л при производительности от 5 до 2000 м³/ч.

Всплывающая масса непрерывно удаляется механизмом для сгребания пены в сборники.

Для механической флотации используют импеллеры (турбины насосного типа), форсунки и пористые пластины. Перечисленные приспособления служат для формирования пузырьков воздуха в обрабатываемой сточной воде.

Адсорбцию применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биохимической очистки, а также в локальных установках, если эти вещества биологически не разлагаются или являются сильно токсичными при небольшой их концентрации. Адсорбцию используют для обезвреживания сточных вод от фенолов, гербицидов, пестицидов, ПАВ, красителей, ароматических нитросоединений и др. Достоинствами метода являются высокая эффективность, возможность очистки сточных вод, содержащих несколько веществ, а также рекуперация этих веществ.

Адсорбционная очистка вод может быть **регенеративной**, т. е. с извлечением вещества из адсорбента и его утилизацией, и **деструктивной**, при которой извлеченные из сточных вод вещества уничтожаются вместе с адсорбентом. Эффективность очистки достигает 80—95%.

В качестве адсорбентов чаще всего используют активные угли, синтетические сорбенты (силикагели, алюмогели) и некоторые отходы производства (зола, шлаки, опилки и др.). Адсорбционная способность активных углей является следствием сильно развитой поверхности и пористости. Удельная поверхность их может достигать 1000 м²/г, а объем пор — 2 см³/г.

Процесс адсорбционной очистки сточной воды ведут при интенсивном перемешивании адсорбента с водой или фильтрованием ее через слой адсорбента в специальных аппаратах — **адсорберах**. Адсорбированные вещества из углей извлекают перегретым водяным паром (200—300°C), либо нагретым инертным газом (120—140°C). После **десорбции** пары конденсируются, и вещество извлекают из конденсата. В том случае, когда адсорбированные вещества не представляют ценности, проводят деструктивную регенерацию адсорбента химическими реагентами (обрабатывая его сильными окислителями, например, хлором, озоном) или нагреванием его до 700—800°C в бескислородной среде.

Ионный обмен применяется для извлечения из сточных вод тяжелых металлов (цинка, меди, хрома, свинца, ртути, кадмия, ванадия, марганца и др.), а также соединений мышьяка, фосфора, цианидов и

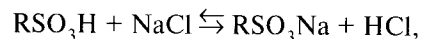
радиоактивных веществ. Метод позволяет рекуперировать ценные вещества при высокой степени очистки воды.

Ионный обмен представляет собой процесс взаимодействия раствора с твердой фазой, обладающей свойствами обменивать собственные ионы на другие ионы в растворе. Вещества, составляющие эту твердую фазу, носят название **ионитов**, те из них, которые способны поглощать из растворов электролитов положительные ионы, называются **катионитами**, отрицательные ионы — **анионитами**.

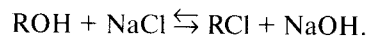
Иониты — бывают неорганические и органические. Это могут быть природные вещества или вещества, полученные искусственно. К неорганическим природным ионитам относятся глинистые материалы, цеолиты, полевые шпаты, слюды, к неорганическим синтетическим — силикагели, пермутиты. Наибольшее значение для очистки сточных вод приобрели ионообменные смолы — органические искусственные иониты. Они представляют собой высокомолекулярные соединения, углеводородные радикалы которых образуют пространственную сетку с фиксированными на ней ионообменными функциональными группами. Пространственная углеводородная сетка (каркас) называется **матрицей**, а обменивающиеся ионы — **противоионами**. Каждый противоион соединен с противоположно заряженными ионами, называемыми фиксированными, или анкерными. Полимерные углеводородные цепи, являющиеся основой матрицы, связаны (сшиты) между собой поперечными связями, что придает прочность каркасу. При написании ионита матрицу обозначают в общем виде R, а активную группу указывают полностью. Например, сульфокатиониты записывают как RSO_3H . Здесь R — матрица, H — противоион, SO_3 — анкерный ион.

Катиониты в качестве противоионов могут содержать не только ионы водорода, но и ионы металлов, т. е. находиться в солевой форме. Точно так же и аниониты могут находиться в солевой форме, если в качестве противоионов они содержат не гидроксид-ионы OH^- , а ионы тех или иных кислот A^- . Реакция ионного обмена протекает следующим образом:

при контакте примеси воды (в данном случае NaCl) с катионитом



при контакте с анионитом



После насыщения катиониты регенерируют растворами кислот, аниониты — растворами щелочей. При этом первые переходят в H-форму,

а вторые — в OH-форму. После регенерации иониты отмывают чистой водой. На рис. 7.14 приведена схема ионообменной установки.

Сточная вода может быть очищена до предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и использована затем в технологических процессах или в системах оборотного водоснабжения.

Экстракцию применяют для очистки сточных вод, содержащих фенолы, масла, органические кислоты. Экстракция может быть экономически выгодным процессом, если стоимость извлекаемых веществ компенсирует все затраты на его проведение. Для каждого вещества существует концентрационный предел рентабельности извлечения его

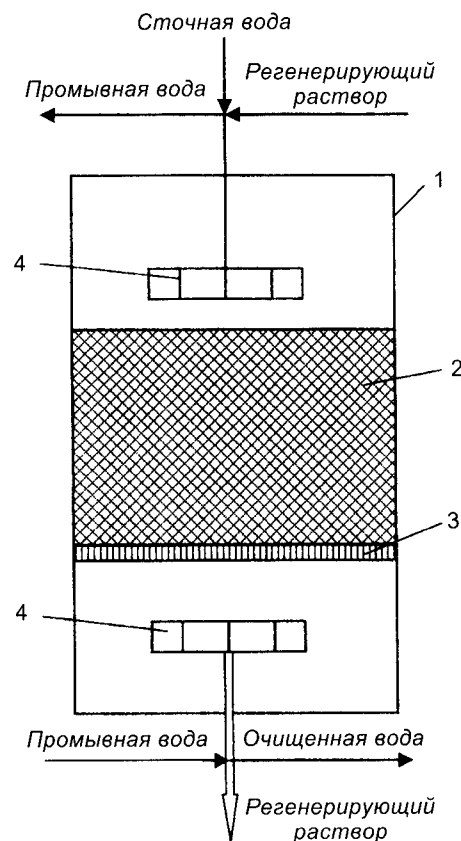


Рис. 7.14. Ионообменная установка:
1 — колонна; 2 — слой ионита; 3 — решетка;
4 — распределители потоков

из сточных вод. В общем случае для большинства веществ можно считать, что при концентрации выше 3—4 г/л их рациональнее извлекать экстракцией, чем адсорбцией. При концентрации меньше 1 г/л экстракцию следует применять только в особых случаях.

Очистка сточных вод экстракцией состоит из трех стадий. Первая стадия — интенсивное смешение сточной воды с экстрагентом (органическим растворителем). В условиях развитой поверхности контакта между жидкостями образуются две жидкие фазы. Одна фаза — экстракт содержит извлекаемое вещество и экстрагент, другая — рафинат — сточную воду и экстрагент. Вторая стадия — разделение экстракта и рафината; третья стадия — регенерация экстрагента из экстракта и рафината.

Чтобы снизить содержание растворенных примесей до концентраций, ниже предельно допустимых, необходимо правильно выбрать экстрагент и скорость его подачи в сточную воду. При выборе растворителя следует учитывать его селективность, физико-химические свойства, стоимость и возможные способы регенерации. Экстрагент должен отвечать следующим требованиям: растворять извлекаемое вещество значительно лучше, чем вода, обладать большой селективностью растворения. Чем меньше он будет растворять компоненты, которые должны остаться в сточной воде, тем более полно будут извлекаться вещества, которые необходимо удалить; иметь низкую растворимость в сточной воде; значительно отличаться по плотности от сточной воды (обычно меньше), поскольку только достаточная разность плотностей обеспечивает быстрое и полное разделение фаз; регенерироваться простым и дешевым способом.

Для экстракции фенолов из сточных вод используются простые и сложные эфиры. Подсмольные воды коксования углей очищаются экстракцией фенсольваном или трикрезилфосфатом.

Основными аппаратами установок являются смесители, где сточные воды перемешиваются с экстрагентом, и отстойники. В смесителях происходит извлечение экстрагентом токсичных примесей, а в отстойниках — расслоение очищенной воды и экстрагента с растворенными примесями. Последний затем поступает на регенерацию с отдельным выделением в чистом виде экстрагента и токсичных ингредиентов. Эффективность экстракционных методов очистки сточных вод достигает 0,8—0,95.

Обратный осмос заключается в фильтровании растворов неорганических или органических веществ через полупроницаемые (молекулы воды проходят, молекулы растворенных веществ — нет) перегородки (мембраны). Так, если осмотическое давление морской воды состав-

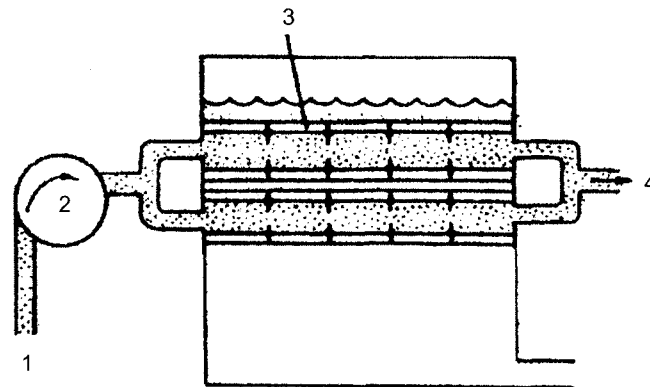


Рис. 7.15. Схема опреснения воды методом обратного осмоса:
1 — впуск соленой воды; 2 — насос высокого давления;
3 — полупроницаемая мембрана; 4 — выпуск рассола

ляет 20—25 атмосфер (2,0—2,5 МПа), то для ее опреснения, т. е. для продавливания через мембраны чистого растворителя (воды), следует приложить давление 6—7 МПа (рис. 7.15). В обратноосмотических аппаратах образуются два потока — опресненная вода и рассол.

Ультрафильтрация основана на разделении растворов фильтрованием через мембраны с диаметром пор 5—200 нм, в то время как при обратном осмосе используются мембраны с диаметром пор до 1 нм. Для ультрафильтрационной очистки от крупных органических или неорганических молекул используют давление 0,1—0,5 МПа. В качестве материала мембран используются ацетат целлюлозы, полиамиды и другие полимеры.

Электрохимическая очистка применяется для очистки сточных вод от различных растворимых диспергированных примесей; к ней относятся: 1) разложение нежелательных примесей за счет анодного окисления и катодного восстановления; 2) удаление растворенных неорганических соединений с использованием полупроницаемых мембран (электродиализ); 3) разложение примесей путем электролиза с использованием растворимых анодов и получение нерастворимых соединений, выпадающих в осадок. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока.

В процессе **электрохимического окисления** загрязняющие вещества (цианиды, амины, альдегиды, нитросоединения и т. д.), находящиеся в сточных водах, полностью разлагаются, образуя CO_2 , NH_3 и воду или

более простые и нетоксичные вещества, которые можно удалять другими методами.

Катодное восстановление применяют при очистке сточных вод, содержащих трудноокисляемые органические соединения или ионы металлов Pb^{2+} , Hg^{2+} , As^{3+} , Cr^{6+} , причем металлы осаждаются на катоде и могут быть в дальнейшем использованы.

Возможно сочетание анодного окисления и катодного восстановления. Например, очистку сточных вод от нитробензола проводят в две стадии — восстановлением до аминов и последующим их анодным окислением до нетоксичных соединений.

Для удаления солей из сточных вод широко используют **метод электродиализа**, основанный на разделении под действием электродвижущей силы катионов и анионов. В специальном устройстве — электродиализаторе — электролитическая ванна разделена на три отделения двумя диафрагмами (рис. 7.16). В крайних отделениях размещают электроды.

С помощью электродиализа эффективно очищают сточные воды от соединений фтора (в 5 раз дешевле реагентного метода), хрома, радиоактивных загрязнений, а также от растворенных солей. При помощи этого метода можно получать кислоты и щелочи и вновь использовать их в производстве. В качестве недостатка указывают на необходимость предварительной очистки сточных вод от взвешенных частиц, которые засоряют диафрагмы.

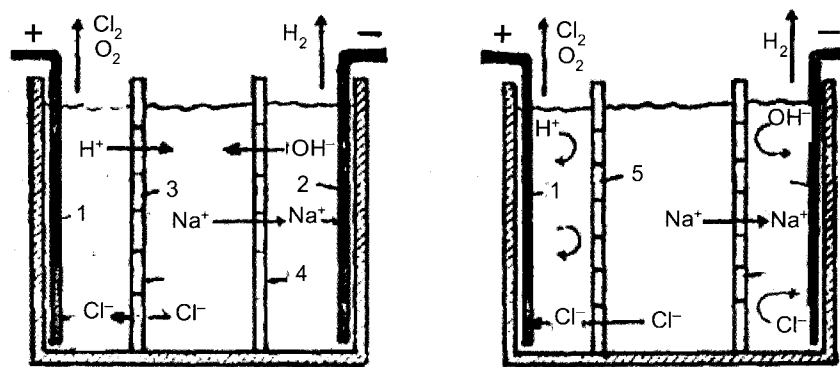


Рис. 7.16. Схемы электрохимически неактивных (а) и электрохимически активных (б) диафрагм для очистки сточных вод методом электродиализа: 1 — анод; 2 — катод; 3 — анодная диафрагма; 4 — катодная диафрагма; 5 — анионопроницаемая диафрагма; 6 — катионопроницаемая диафрагма

Перегонка и ректификация. Первый метод состоит в разделении и последующем удалении через открытую жидкую поверхность соединений, имеющих разную температуру кипения. В целях очистки сточных вод применяют простую перегонку, перегонку с водяным паром, перегонку с инертным носителем, азеотропную перегонку, ректификацию в присутствии перегретого пара и азеотропную ректификацию.

Простая перегонка осуществляется путем постепенного испарения сточной воды. Метод применяется для удаления соединений, которые имеют температуру кипения ниже температуры кипения воды (ацетон, спирты и т. д.).

Перегонку с водяным паром (эвапарацию) или другим инертным носителем применяют для удаления легколетучих соединений (аммиака, аминов, фенолов). Перегонку производят в периодически действующих аппаратах или непрерывно действующих дистилляционных колоннах. Принципиальная схема парового отгонного аппарата показана на рис. 7.17. При пропускании навстречу острому пару через эвапорационную колонну 1 с насадкой сточная жидкость нагревается до $100^\circ C$. Находящиеся в ней летучие примеси переходят в парообразную фазу и удаляются вместе с паром. Пар, прошедший эвапорационную колонну, подается в поглотительную колонну 2, где происходит удаление захваченных им из сточной воды веществ. Например, фенол удаляют из пара, пропуская пар через нагретый до $100^\circ C$ раствор щелочи. Щелочь переводит фенол в фенолят C_6H_5ONa , нелетучий с водяным паром:

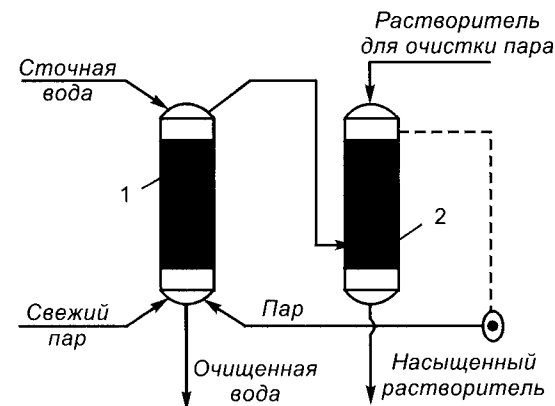
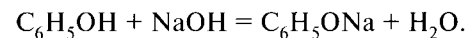


Рис. 7.17. Схема эвапорационной установки

Азеотропная перегонка основана на способности ряда органических соединений образовывать друг с другом или с водой нераздельно кипящие смеси, имеющие температуру кипения ниже температуры кипения воды. В этом случае извлекаемое соединение вместе с дистиллятом поступает на дальнейшую переработку.

Ректификация используется для разделения жидких смесей путем многократного массообмена между паровой и жидкой фазами, движущимися противотоком друг к другу. При этом жидкость при движении по колонне сверху вниз обогащается высококипящими соединениями, а пар, движущийся вверх, — низкокипящими.

§ 10. Термические методы очистки сточных вод

На химических предприятиях образуются сточные воды, содержащие различные минеральные соли (кальция, магния, натрия и др.), а также широкий спектр органических веществ. Такие воды могут быть обезврежены термическими методами: 1) концентрированием сточных вод с последующим выделением растворенных веществ; 2) огневым обезвреживанием.

Метод концентрирования используют для обезвреживания минеральных сточных вод. Он позволяет выделять из стоков соли с получением условно чистой воды, пригодной для оборотного водоснабжения.

Процесс разделения минеральных веществ и воды может быть проведен в две стадии: стадия концентрирования и стадия выделения сухих веществ (рис. 7.18).

Во многих случаях вторая стадия заменяется захоронением концентрированных растворов. Концентрированные сточные воды можно непосредственно направлять на выделение сухого продукта, например, в распылительную сушилку.

Концентрирование сточных вод может быть проведено в испарительных (выпаривание при нагреве) или вымораживающих (холодильных) установках. Процесс вымораживания заключается в том, что при

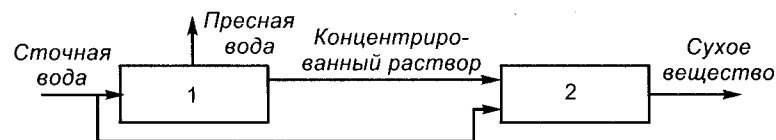


Рис. 7.18. Стадии разделения минеральных веществ и воды:
1 — концентрирование; 2 — выделение сухих веществ

температуре ниже температуры замерзания чистая вода образует кристаллы чистого льда, а рассол с растворенными в нем солями размещается в ячейках между этими кристаллами. Температура замерзания рассола всегда ниже температуры замерзания чистой воды и зависит от концентрации растворенных солей. Если снижение температуры в процессе замораживания идет медленно, то образуется сравнительно крупные игольчатые кристаллы с небольшим включением рассола, что способствует при оттаивании получению менее минерализованной воды.

Для выделения веществ из концентрированных растворов используют методы кристаллизации и сушки. Кристаллизация с применением погружного горения является наиболее эффективным приемом испарения жидкости, повышения концентрации солей в растворах и последующей кристаллизации их. Погружное горение — это сжигание газообразного топлива в специально сконструированной горелке под поверхностью жидкости. Тепло передается непосредственно от теплоносителя к жидкости, причем степень использования тепла, выделяющегося при горении, составляет около 90%. Горячий газ, выходя из сопла горелки, разбивается на огромное количество мельчайших пузырьков; таким образом обеспечивается максимально развитая поверхность теплопередачи. Газы, охлаждаясь, выходят из раствора при температуре, близкой к температуре жидкости. Водяной пар, полученный при испарении, отводится с поверхности жидкости.

Сушку чаще всего осуществляют в распылительных сушилках (рис. 7.19). В таких сушилках (камерах) суспензию или коллоидный раствор разбрызгивают до капель размером 10—50 мкм, которые падают в объеме сушилки в потоке горячего воздуха или топливных газов. Поверхность соприкосновения капель материала с воздухом достигает 300 000 м² на 1 м³ материала. В этих условиях скорость сушки значительно увеличивается, а ее продолжительность снижается до сотых долей секунды.

Для отделения высушенного материала от газового потока применяют циклоны, рукавные фильтры, электрофильтры. Начальная температура газов зависит от свойств материала и колеблется в пределах 80—1000°С. На выходе из сушильной камеры она составляет 40—130°С.

Сущность **огневого обезвреживания** сточных вод заключается в распылении их непосредственно в топочные газы, нагретые до 900—1100°С. При этом вода полностью испаряется, а органические примеси сгорают до нетоксичных соединений (чаще всего, до диоксида углерода и водяных паров). Находящиеся в воде минеральные вещества образуют твердые или оплавленные частицы, которые улавливают в

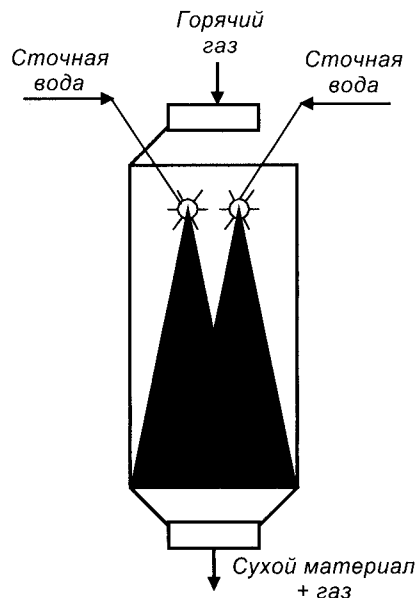


Рис. 7.19. Прямоточная сушильная камера

циклонах или фильтрах. Данный метод целесообразен для обезвреживания небольшого объема сточных вод, содержащих высокотоксичные органические вещества, очистка от которых другими методами невозможна или неэффективна. Кроме того, огневой метод предпочтителен, если имеются горючие отходы, которые можно использовать как топливо. Для сжигания промышленных стоков применяют печи различных конструкций, но предпочтение отдают циклонным печам. Благодаря вихревому характеру газового потока создается интенсивный тепло- и массообмен между каплями сточной воды и газообразными продуктами. Такие печи работают при больших удельных нагрузках. Схема печи для обезвреживания сточных вод, содержащих смеси фенолов, формальдегида и фурилового спирта, показана на рис. 7.20.

Смесь воздуха и природного газа, вводимая тангенциально в печь, совершает вращательное движение, перемещаясь вдоль оси цилиндра по спирали. Сточную воду распыляют форсунками и сжигают. Недостаток таких печей — большой унос минеральных солей с газовым потоком, если сточные воды помимо органических веществ содержат минеральные компоненты.

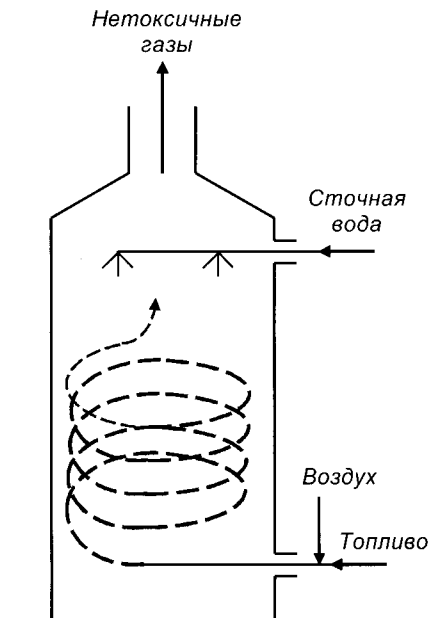


Рис. 7.20. Циклонная печь

§ 11. Биохимические методы очистки сточных вод

Эти методы применяют для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод от многих растворенных органических и некоторых неорганических (сероводорода, аммиака, сульфидов, нитритов и др.) веществ. Процесс очистки основан на способности определенных микроорганизмов использовать указанные вещества для питания: органические вещества для микроорганизмов являются источником углерода. Микроорганизмы частично разрушают их, превращая в CO_2 , H_2O , нитрат- и сульфат-ионы, частично используют для образования собственной биомассы. Процесс биохимической очистки по своей сути — природный, его характер одинаков для процессов, протекающих как в природных водоемах, так и в очистных сооружениях.

Биологическое окисление осуществляется сообществом микроорганизмов (биоценозом), включающим множество различных бактерий, простейших и более высокоорганизованных организмов (водорослей, грибов), связанных между собой в единый комплекс сложными вза-

имоотношениями. Это сообщество называют **активным илом**, он содержит от 106 до 1014 клеток на 1 г сухой биомассы (около 3 г микроорганизмов на 1 литр сточной воды).

Известны аэробные и анаэробные методы биохимической очистки сточных вод.

Аэробный процесс. Для его осуществления используются группы микроорганизмов, для жизнедеятельности которых необходимы постоянный приток кислорода ($2 \text{ мг O}_2/\text{л}$), температура $20\text{--}30^\circ\text{C}$, pH среды $6,5\text{--}7,5$, соотношение биогенных элементов БПК : N : P не более $100 : 5 : 1$. Ограничением метода является содержание токсичных веществ не выше: тетраэтилсвинца $0,001 \text{ мг/л}$, соединений бериллия, титана, Cr^{6+} и оксида углерода $0,01 \text{ мг/л}$, соединений висмута, ванадия, кадмия и никеля $0,1 \text{ мг/л}$, сульфата меди $0,2 \text{ мг/л}$, цианистого калия 2 мг/л .

Аэробная очистка сточных вод проводится в специальных сооружениях: биологических прудах, аэротенках, окситенках, биофильтрах.

Биологические пруды предназначены для биологической очистки и для доочистки сточных вод в комплексе с другими очистными сооружениями. Их выполняют в виде каскада прудов, состоящих из 3—5 ступеней. Процесс очистки сточных вод реализуется по следующей схеме: бактерии используют для окисления загрязнений кислород, выделяемый водорослями в процессе фотосинтеза, а также кислород из воздуха. Водоросли, в свою очередь, потребляют оксид углерода, фосфаты и аммонийный азот, выделяемый при биохимическом разложении органических веществ. Поэтому для нормальной работы прудов необходимо соблюдать оптимальные значения pH и температуру сточной воды. Температура должна быть не менее 6°C , в связи с чем в зимнее время пруды не эксплуатируются.

Различают пруды с естественной и искусственной аэрацией. Глубина прудов с естественной поверхностной аэрацией, как правило, не превышает 1 м. При искусственной аэрации прудов с помощью механических аэраторов или продувки воздуха через толщу воды их глубина увеличивается до 3 м. Применение искусственной аэрации ускоряет процессы очистки воды. Следует указать и недостатки прудов: низкую окислительную способность, сезонность работы, потребность в больших территориях.

Сооружения для искусственной биологической очистки по признаку расположения в них активной биомассы можно разделить на две группы:

- активная биомасса находится в обрабатываемой сточной воде во взвешенном состоянии (аэротенки, окситенки);

- активная биомасса закрепляется на неподвижном материале, а сточная вода обтекает его тонким пленочным слоем (биофильтры).

Аэротенки (рис. 7.21) представляют собой железобетонные резервуары, прямоугольные в плане, разделенные перегородками на отдельные коридоры.

Для поддержания активного ила во взвешенном состоянии, интенсивного его перемешивания и насыщения обрабатываемой смеси кислородом воздуха в аэротенках устраиваются различные системы аэрации (чаще механическая или пневматическая). Из аэротенков смесь обработанной сточной воды и активного ила поступает во вторичный отстойник, откуда осевший на дно активный ил с помощью специальных устройств (илососов) отводится в резервуар насосной станции, а очищенная сточная вода поступает либо на дальнейшую доочистку, либо дезинфицируется. В процессе биологического окисления происходит прирост биомассы активного ила. Для создания оптимальных условий ее жизнедеятельности избыток ила выводится из системы и

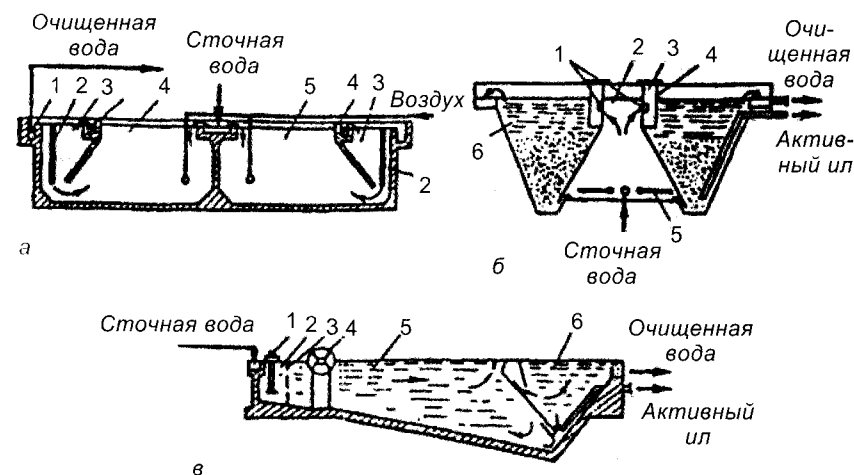


Рис. 7.21. Аэротенки:

- а — аэротенко-отстойник (1 — лоток; 2 — илоотсосы; 3 — зона отстаивания; 4 — водосливы; 5 — зона аэрации);
 б — аэротенко-осветлитель (1 — переливные окна; 2 — зона аэрации; 3 — зона дегазации; 4 — направляющая перегородка; 5 — аэратор; 6 — зона осветления);
 в — двухкамерный аэротенко-отстойник (1 — импеллерный аэратор; 2 — зона предварительного обогащения; 3 — перегородка; 4 — роторный аэратор; 5 — зона ферментации; 6 — зона осветления)

направляется в сооружения по обработке осадка, а основная часть в виде возвратного активного ила снова возвращается в аэротенк. Концентрация иловой массы в аэротенке (доза ила по сухому веществу) составляет 2—5 г/л; расход воздуха 5—15 м³ на 1 м³ сточной воды; нагрузка по органическим загрязнителям 400—800 мг БПК на 1 г беззольного активного ила в сутки. При этих условиях обеспечивается полная биологическая очистка. Время нахождения сточной воды в зависимости от ее состава колеблется от 6 до 12 ч. Комплексы очистных сооружений, в состав которых входят аэротенки, имеют производительность от нескольких десятков до 2—3 млн. м³ сточных вод в сутки.

Для пневматической аэрации сточных вод вместо воздуха может подаваться чистый кислород. Для такого процесса используются **окситенки**, несколько отличные по конструкции от аэротенков. Окислительная способность окситенков в 3 раза выше последних.

Биофильтры находят применение при суточных расходах бытовых и производственных сточных вод до 20—30 тыс. м³ в сутки. Биофильтры представляют собой резервуары круглой или прямоугольной формы в плане, которые заполняются загрузочным материалом. По характеру загрузки биофильтры разделяют на две категории: с объемной и плоскостной загрузкой. Объемный материал, состоящий из гравия, керамзита, шлака с крупностью фракций 15—80 мм, засыпается слоем высотой 2—4 м. Плоскостной материал выполняется в виде жестких (кольцевых, трубчатых элементов из пластмасс, керамики, металла) и мягких (рулонная ткань) блоков, которые монтируются в теле биофильтра слоем толщиной 8 м.

Анаэробный процесс. Здесь происходит биологическое окисление органических веществ в отсутствие молекулярного кислорода за счет химически связанного кислорода в таких соединениях, как SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , CO_3^{2-} . Процесс протекает в две стадии: на первой образуются органические кислоты, на второй стадии образовавшиеся кислоты преобразуются в метан и CO_2 ; органические соединения + O_2 + кислотообразующие бактерии → летучие кислоты + CH_4 + CO_2 + H_2 + новые клетки + другие продукты → летучие кислоты + O_2 + метанообразующие бактерии → CH_4 + CO_2 + новые клетки.

Основной процесс проводится в метантенках (рис. 7.22). В них перерабатывается активный ил и концентрированные сточные воды (обычно БПК > 5000), содержащие органические вещества, которые разрушаются анаэробными бактериями в ходе метанового брожения. Указанное брожение в естественных условиях протекает на болотах.

Основная цель анаэробной очистки — уменьшение объема активного ила или количества органических веществ в сточной воде, полу-

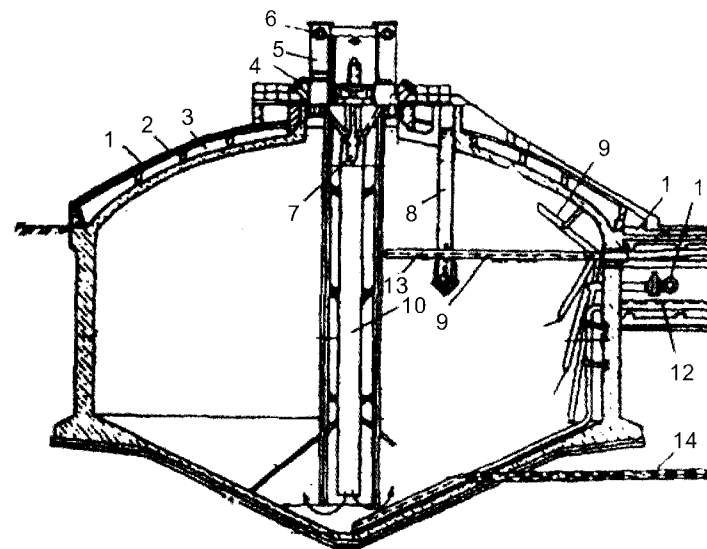


Рис. 7.22. Схема метантенка (объем 5200 м³):

1 — битумная обмазка; 2 — клинкерная кладка; 3 — теплоизоляция (шлак); 4 — контрольный люк; 5 — газосборная горловина; 6 — труба для отвода газа; 7 — механический смеситель; 8 — переливная труба; 9 — выпуск осадков с разных уровней; 10 — направляющая труба для циркуляции иловой смеси; 11 — трубопровод для подачи пара на обогрев; 12 — труба для выпуска сброженного осадка; 13 — труба для подачи осадка; 14 — труба для опорожнения метантенка

чение метана (до 0,35 м³ при нормальных условиях на 1 кг ХПК) и хорошо фильтрующего и без запаха осадка. Осадки после фильтрации могут быть использованы в качестве удобрения в растениеводстве (если содержание в них тяжелых металлов ниже ПДК). Получаемый в метантенках газ содержит до 75 % (об.) метана (остальное — CO_2 и воздух) и используется в качестве горючего.

В то же время анаэробный процесс весьма чувствителен к залповым выбросам, что приводит к выходу из «строя» микрофлоры. На ее восстановление может быть потрачено от 1 до 6 месяцев. В связи с образованием метана этот процесс взрыво- и пожароопасен.

Биологическая очистка загрязненных вод может быть, помимо биологических прудов, осуществлена в естественных условиях, для чего используют специально подготовленные участки земли (поля орошения и фильтрации) (рис. 7.23). В этих случаях для освобождения сточных вод от загрязняющих примесей используется очищающая способность самой почвы. Фильтруясь сквозь слой почвы, вода оставляет в

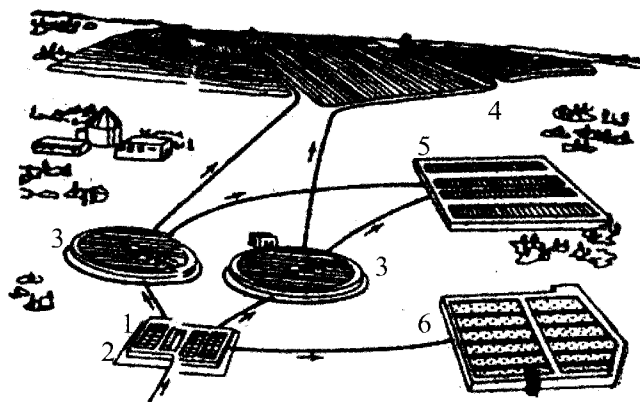


Рис. 7.23. Схема станции с биохимической очисткой в естественных условиях:

1 — решетка; 2 — песколовка; 3 — двухъярусные отстойники; 4 — земельные поля орошения; 5 — илстые площадки; 6 — песчаные площадки

ней взвешенные, коллоидные и растворенные примеси. Микроорганизмы почвы окисляют органические загрязняющие вещества, превращая их в простейшие минеральные соединения — диоксид углерода, воду, соли.

Поля орошения используются одновременно для очистки сточных вод и выращивания зерновых и силосных культур, трав, овощей, а также посадки кустарников и деревьев. Поля фильтрации используются только для очистки сточных вод.

Земельные поля орошения (ЗПО) располагают на местности, имеющей уклон, ступенями для того, чтобы вода самотеком переливалась с одного участка на другой. Устройство ЗПО позволяет комплексно решать проблемы охраны окружающей среды, благоустройства города и развитие пригородного сельского хозяйства.

После биологической очистки сточных вод на искусственных сооружениях общее содержание в них бактерий уменьшается на 90—95%, а при очистке на ЗПО — на 99%. Для полного обеззараживания сточных вод их необходимо подвергнуть химическому обеззараживанию (хлором, озоном, пероксидом водорода, ультрафиолетом, ультразвуком).

При эксплуатации сооружений биологической очистки необходимо соблюдать технологический регламент их работы, не допускать перегрузок и особенно залповых поступлений токсичных компонентов, поскольку такие нарушения могут губительно сказаться на жизнедеятельности микроорганизмов. Поэтому в сточных водах, направляемых

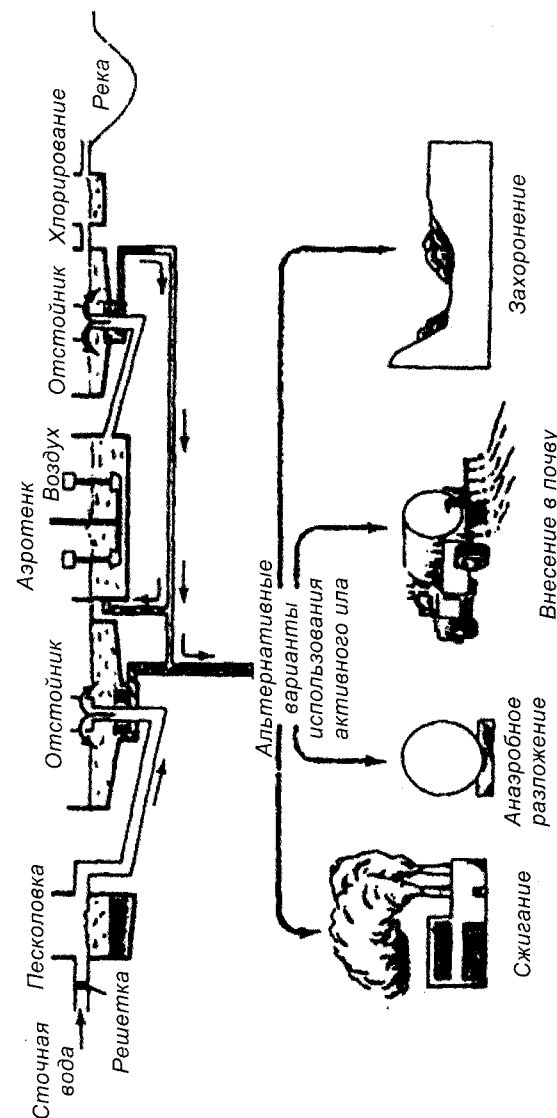


Рис. 7.24. Схема очистки городских сточных вод с использованием активного ила

на биологическую очистку, содержание нефти и нефтепродуктов должно быть не более 25 мг/л, ПАВ — не более 50 мг/л, растворенных солей — не более 10 г/л.

Кислотность сточных вод, поступающих на биохимическую очистку, не должна превышать 9, в противном случае микроорганизмы-минерализаторы погибнут. Практически все методы представлены в технологической схеме очистки городских сточных вод (рис. 7.24).

§ 12. Очистка ионизирующим излучением

В последние годы развивается новый безреагентный метод очистки сточных вод путем деструкции содержащихся органических примесей. Гамма-излучение от радиоактивных изотопов (^{60}Co , ^{137}Cs и др.) производит такое же действие, как и сильнейшие окислители (озон, хлор, пероксид водорода и др.). Но вместо изотопов сейчас применяют пучки электронов, генерируемых ускорителями с энергией электронов 5–6 МэВ. При ионизирующем излучении нарушается агрегативная устойчивость коллоидных систем (**радиационная коагуляция**), разрушаются и окисляются практически все органические и некоторые неорганические вещества (**радиационная деструкция**) с образованием простейших соединений, гибнет или инактивируется широкий круг вирусов и микроорганизмов (**радиационное обеззараживание**). Еще больший эффект дает сочетание сорбционного реактора (фильтра) с облучением пучком ускоренных электронов.

Современные работы по внедрению и эксплуатации электронно-лучевой технологии показали, что достаточной для очистки сточных вод является энергия электронов, равная 1,0–2,5 МэВ. Мощность ускорителя, равная 80 кВт, создает ток пучка, равный 50 мА, а его производительность составляет 700–1000 м³/ч.

§ 13. Создание замкнутых водооборотных систем

Системы водообеспечения промышленных предприятий в зависимости от водных технологических процессов могут быть прямоточного, повторного (последовательного) и оборотного (рис. 7.25) водоснабжения.

При **прямоточном водообеспечении** вся забираемая из источника вода $Q_{\text{ист}}$ сбрасывается в приемник сточных вод $Q_{\text{сбр}}$ за вычетом воды, израсходованной в производстве $Q_{\text{потр}}$, т. е.

$$Q_{\text{сбр}} = Q_{\text{ист}} - Q_{\text{потр}}.$$

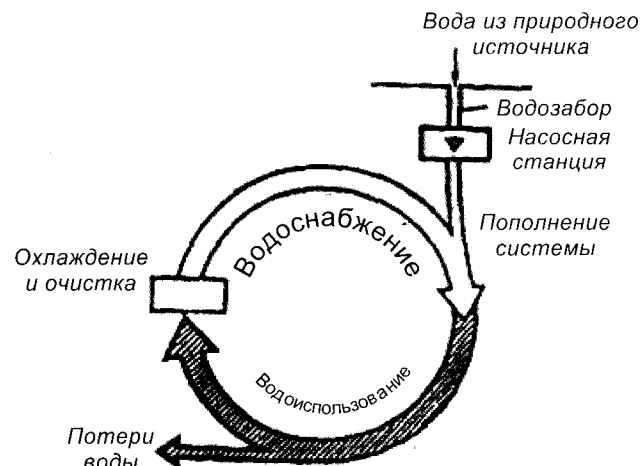


Рис. 7.25. Схема оборотного водоснабжения

Схема **последовательного водопользования** является более совершенной; она может быть двух-трех-четырёхкратной. Тогда $Q_{\text{сбр}}$ уменьшается на величину суммарных потерь на ряде производств (заводов, цехов) и на очистных сооружениях (рис. 7.26) со шламами $Q_{\text{шл}}$:

$$Q_{\text{сбр}} = Q_{\text{ист}} - (Q_{\text{потр1}} + Q_{\text{потр2}} + Q_{\text{шл}})$$

Вполне очевидно, что при повторном водоиспользовании качество сточных вод первого водопользователя должно удовлетворять технологическим требованиям к воде второго водопользователя и т. д.

Необходимость создания замкнутых водооборотных систем обусловлена рядом факторов:

- 1) обострением дефицита пресной воды, на что влияют не только непрерывный рост водопотребления, но и деградация качества природных водоисточников в результате поступления в них сточных вод. Подсчитано, что 1 м³ неочищенных стоков может загрязнить сотни кубометров чистой воды;
- 2) истощением самоочищающей и разбавляющей способности водоемов, в которые сбрасываются сточные воды;
- 3) экономическими преимуществами по сравнению с очисткой сточных вод до соответствующих нормативов, позволяющих их сброс в открытые водоемы. Если стоимость 90%-ной очистки сточных вод принять за единицу, то очистка на 99% обойдется примерно в 10 раз дороже, а очистка на 99,9%, которая часто и требуется для достижения ПДК, будет дороже в 100 раз. В ре-