

А.Г. Ветошкин

ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ГИДРОСФЕРЫ ОТ СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД

Инженерная экология для бакалавриата

 «Инфра-Инженерия»



УДК 628.5
ББК 20.1
В39

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
----------------	---

Рецензенты:

кафедра водоснабжения, водоотведения и гидротехники
Пензенского государственного университета архитектуры и строительства
(зав. кафедрой доктор технических наук, профессор Гришин Б. М.);
К. Р. Таранцева - доктор технических наук, профессор
(Пензенский государственный технологический университет).

Ветошкин А. Г.

В39 Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод. Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Инфра-Инженерия, 2019. – 296 с.

ISBN 978-5-9729-0277-4

Рассмотрены основы процессов и аппаратов технологии и оборудования для защиты гидросферы от жидкостных сбросов с использованием различных методов и способов: механических, химических, физико-химических, биологических. Приведены основные конструкции аппаратов, установок и сооружений для очистки сточных вод от взвешенных и растворенных примесей. Даны методики расчета применяемых в очистке сточных вод аппаратов, основных технологических и конструктивных параметров отстойников, фильтров, флотаторов, адсорберов, электролизеров, экстракторов, ректификационных установок, аэротенков и биофильтров.

Для студентов, обучающихся на уровне бакалавриата по направлениям подготовки 20.03.01 – «Техносферная безопасность», 05.03.06 – «Экология и природопользование», 18.03.02 – «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

Может быть использовано при изучении дисциплин «Экология» и «Безопасность жизнедеятельности» в рамках других направлений подготовки бакалавров, а также магистрантами, аспирантами, преподавателями вузов и специалистами проектных организаций.

© Ветошкин А. Г., автор, 2019
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2019

ISBN 978-5-9729-0277-4

Глава 1. Методы очистки сточных вод

1.1. Источники загрязнения гидросферы

Всякий водоем или водный источник связан с окружающей его внешней средой. На него оказывают влияние:

- условия формирования поверхностного или подземного водного стока;
- разнообразные природные явления;
- индустрия;
- промышленное и коммунальное строительство;
- транспорт;
- хозяйственная и бытовая деятельность человека.

Последствием этих влияний является привнесение в водную среду новых, несвойственных ей веществ — загрязнителей, ухудшающих качество воды.

Загрязнения, поступающие в водную среду, классифицируют по разному, в зависимости от подходов, критериев и задач. Так, обычно выделяют химическое, биологические и физическое загрязнения.

Химическое загрязнение представляет собой изменение естественных химических свойств вода за счет увеличения содержания в ней вредных примесей как неорганической, так и органической природы.

Во-первых, *неорганические химические вещества*. Основными неорганическими (минеральными) загрязнителями пресных и морских вод являются разнообразные химические соединения, токсичные для обитателей водной среды. Это соединения мышьяка, свинца, кадмия, ртути, хрома, меди, фтора. Большинство из них попадает в воду в результате человеческой деятельности. Тяжелые металлы поглощаются фитопланктоном, а затем передаются по пищевой цепи более высокоорганизованным организмам.

Во-вторых, *органические химические соединения* в растворимом состоянии. Среди вносимых в океан с суши растворимых веществ, большое значение для обитателей водной среды имеют органические остатки.

Вывос в океан органического вещества оценивается в 300...380 млн. т/год. Сточные воды, содержащие суспензии органического происхождения или растворенное органическое вещество, пагубно влияют на состояние водоемов. Осаждаясь, суспензии заливают дно и задерживают развитие или полностью прекращают жизнедеятельность донных микроорганизмов, участвующих в процессе самоочищения вод. При гниении донных осадков могут образовываться вредные соединения и отравляющие вещества, такие как сероводород, которые приводят к загрязнению всей воды в реке. Наличие суспензий затрудняют также проникновение света в глубь воды и замедляет процессы фотосинтеза. Одним из основных санитарных требований, предъявляемых к качеству воды, является содержание в ней необходимого количества кислорода. Вредное действие оказывают все загрязнения, которые, так или иначе, содействуют снижению содержания кислорода в воде. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) — жиры, масла, смазочные материалы — образуют на поверхности воды пленку, которая препятствует газообмену между водой и атмосферой, что снижает степень насыщенности воды кислородом. Значительный объем органических веществ, большинство из которых не свойственно природным водам, сбрасывается в реки вместе с промышленными и бытовыми стоками. Нарастающее загрязнение водоемов и водостоков наблюдается во всех промышленных странах.

В связи с быстрыми темпами урбанизации и несколько замедленным строительством очистных сооружений или их неудовлетворительной эксплуатацией водные бассейны и почва загрязняются бытовыми отходами. Особенно ощутимо загрязнение в водоемах с замедленным течением или непроточных (водохранилища, озера).

Разлагаясь в водной среде, органические отходы могут стать средой для патогенных организмов. Вода, загрязненная органическими отходами, становится практически непригодной для питья и других надобностей.

Биологическое загрязнение связано с присутствием в питьевой воде биологических примесей, то есть микроорганизмов вызывающих заболевания.

Бытовые жидкие отходы опасны не только тем, что являются источником некоторых болезней человека (брюшной тиф, дизентерия, холера), но и тем, что требуют для своего разложения много кислорода. Если бытовые сточные воды поступают в водоем в очень больших количествах, то содержание растворимого кислорода может понизиться ниже уровня, необходимого для жизни морских и пресноводных организмов.

В начале нашего столетия был сделан существенный шаг вперед в повышении качества очистки воды путем хлорирования. Благодаря хлорированию воды и пастеризации молока стало возможным резкое снижение смертности при заболевании брюшным тифом.

Физические примеси - это присутствующие в воде нерастворимые частицы различного происхождения.

Важное значение имеет загрязнение гидросферы нефтепродуктами. Благодаря своим физико-химическим свойствам, нефтепродукты быстро распространяются по поверхности воды, образуя тончайшие пленки толщиной до долей миллиметра, сохраняющие, особенно на спокойной поверхности, высокую устойчивость.

Нефть и нефтепродукты являются наиболее распространенными загрязняющими веществами в Мировом океане. Нефть представляет собой вязкую маслянистую жидкость, имеющую темно-коричневый цвет и обладающую слабой флуоресценцией. Нефть состоит преимущественно из насыщенных алифатических и гидроароматических углеводородов. Основные компоненты нефти - углеводороды (до 98 %) - подразделяются на 4 класса:

1) парафины (алкены) - (до 90 % от общего состава) - устойчивые вещества, молекулы которых выражены прямой и разветвленной цепью атомов углерода. Легкие парафины обладают максимальной летучестью и растворимостью в воде;

2) циклопарафины - (30...60 % от общего состава) насыщенные циклические соединения с 5-6 атомами углерода в кольце. Кроме циклопентана и циклогексана в нефти встречаются бициклические и полициклические соединения этой группы. Эти соединения очень устойчивы и плохо поддаются биоразложению;

3) ароматические углеводороды - (20...40 % от общего состава) - ненасыщенные циклические соединения ряда бензола, содержащие в кольце на 6 атомов углерода меньше, чем циклопарафины. В нефти присутствуют летучие соединения с молекулой в виде одинарного кольца (бензол, толуол, ксилол), затем бициклические (нафталин), полициклические (пирен);

4) олефины (алкены) - (до 10 % от общего состава) - ненасыщенные нециклические соединения с одним или двумя атомами водорода у каждого атома углерода в молекуле, имеющей прямую или разветвленную цепь.

Среди источников из которых нефть активно попадает в гидросферу необходимо назвать:

- транспортировка из районов добычи;
- аварийные ситуации на нефтеналивном транспорте;
- слив за борт танкерами промывочных и балластных вод;
- потери при добыче из морских скважин (за последние 30 лет, начиная с 1964 года, пробурено около 2000 скважин в Мировом океане, из них только в Северном море 1000);
- большие массы нефти поступают в моря по рекам, с бытовыми и ливневыми стоками.

Попадая в морскую среду, нефть:

а) сначала растекается в виде пленки, образуя слои различной мощности и изменяет состав спектра и интенсивность проникновения в воду света;

б) смешиваясь с водой, нефть образует эмульсию двух типов:

- прямую "нефть в воде", составленную капельками нефти диаметром до 0,5 мкм, менее устойчивую и характерную для нефти, содержащую поверхностно-активные вещества;

- обратную "вода в нефти", которая может сохраняться на поверхности, переноситься течением, выбрасываться на берег и оседать на дно.

Детергенты (синтетические поверхностно-активные вещества - СПАВ) относятся к группе веществ, понижающих поверхностное натяжение воды. Они входят в состав синтетических моющих средств (СМС), широко применяемых в быту и промышленности.

Вместе со сточными водами СПАВ попадают в материковые воды и морскую среду. СМС содержат:

- полифосфаты натрия, в которых растворены детергенты;
- ряд добавочных ингредиентов, токсичных для водных организмов: ароматизирующие вещества, отбеливающие реагенты (персульфаты, пербораты), кальцинированная сода, карбоксиметилцеллюлоза, силикаты натрия.

В зависимости от природы и структуры гидрофильной части молекулы СПАВ делятся на:

- анионактивные;
- катионактивные;
- амфотерные;
- неионогенные.

Последние не образуют ионов в воде. Наиболее распространенными среди СПАВ являются анионактивные вещества. На их долю приходится более 15 % всех производимых в мире СПАВ.

Присутствие СПАВ в сточных водах промышленности связано с использованием их в таких процессах, как:

- флотационное обогащение руд;
- разделение продуктов химических технологий;
- получение полимеров;
- улучшение условий бурения нефтяных и газовых скважин;
- борьба с коррозией оборудования;
- в сельском хозяйстве СПАВ применяется в составе пестицидов.

Канцерогенные вещества - это химически однородные соединения, проявляющие трансформирующую активность и способность вызывать канцерогенные, тератогенные (нарушение процессов эмбрионального развития) или мутагенные изменения в организме.

В зависимости от условий воздействия они могут приводить:

- к ингибированию роста;
- ускорению старения;
- нарушению индивидуального развития и изменению генофонда организмов.

К веществам, обладающим канцерогенными свойствами, относятся:

- хлорированные алифатические углеводороды;
- винилхлорид;
- полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).

Максимальное количество ПАУ в современных донных осадках Мирового океана (более 100 мкг/км массы сухого вещества) обнаружено в тектонически активных зонах, подверженным глубинному термическому воздействию.

Основные антропогенные источники ПАУ в окружающей среде - это пиролиз органических веществ при сжигании различных материалов, древесины и топлива.

Тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий, цинк, медь, мышьяк) относятся к числу распространенных и весьма токсичных веществ. Они широко применяются в различных промышленных производствах, поэтому, несмотря на очистные мероприятия, содержание соединения тяжелых металлов в промышленных сточных водах довольно высокое. Большие массы этих соединений поступают в океан через атмосферу.

Для морских биоценозов наиболее опасны ртуть, свинец и кадмий.

Ртуть переносится в океан с материковым стоком и через атмосферу. При выветривании осадочных и изверженных пород ежегодно выделяется 3,5 тыс. т ртути. В составе

атмосферной пыли содержится около 12 тыс. т ртути, причем значительная часть - антропогенного происхождения. Около половины годового промышленного производства этого металла (910 тыс. т/год) различными путями попадает в океан. В районах, загрязняемых промышленными водами, концентрация ртути в растворе и взвесах сильно повышается. При этом некоторые бактерии переводят хлориды в высокотоксичную метилртуть.

Свинец - рассеянный элемент, содержащийся во всех компонентах окружающей среды: в горных породах, почвах, природных водах, атмосфере, живых организмах. Наконец, свинец активно рассеивается в окружающую среду в процессе хозяйственной деятельности человека. Это выбросы с промышленными и бытовыми стоками, с дымом и пылью промышленных предприятий, с выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания. Миграционный поток свинца с континента в океан идет не только с речными стоками, но и через атмосферу. С континентальной пылью океан получает $(20...30) \cdot 10^3$ т свинца в год.

Многие страны, имеющие выход к морю, проводят захоронение различных материалов и веществ, в частности грунта, вынутого при дноуглубительных работах, бурового шлака, отходов промышленности, строительного мусора, твердых отходов, взрывчатых и химических веществ, радиоактивных отходов. Объем захоронений составил около 10 % от всей массы загрязняющих веществ, поступающих в Мировой океан.

В *шлаках промышленных производств* присутствуют разнообразные органические вещества и соединения тяжелых металлов. Во время сброса при прохождении материала сквозь столб воды, часть загрязняющих веществ переходит в раствор, изменяя качество воды, другая сорбируется частицами взвеси и переходит в донные отложения. Одновременно повышается мутность воды. Наличие органических веществ часто приводит к быстрому расходованию кислорода в воде и нередко к его полному исчезновению, растворению взвесей, накоплению металлов в растворенной форме, появлению сероводорода. Присутствие большого количества органических веществ создает в грунтах устойчивую восстановительную среду, в которой возникает особый тип иловых вод, содержащих сероводород, аммиак, ионы металлов.

В случае образования поверхностных пленок, содержащих нефтяные углеводороды и СПАВ, нарушается газообмен на границе воздух - вода. Загрязняющие вещества, поступающие в раствор, могут аккумулироваться в тканях и органах гидробионтов и оказывать токсическое воздействие на них.

Тепловое загрязнение поверхности водоемов и прибрежных морских акваторий возникает в результате сброса нагретых сточных вод электростанциями и другими промышленными производствами. Сброс нагретых вод во многих случаях обуславливает повышение температуры воды в водоемах на 6...8 °С. Площадь пятен нагретых вод в прибрежных районах достигает 30 кв. км. Более устойчивая температурная стратификация препятствует водообмену между поверхностным и донным слоем. Растворимость кислорода уменьшается, а потребление его возрастает, поскольку с ростом температуры усиливается активность аэробных бактерий, разлагающих органическое вещество. Усиливается видовое разнообразие фитопланктона и всей флоры водорослей.

Одним из главных источников загрязнения водоемов являются *промышленные сточные воды*. Наиболее опасные загрязнители воды – это соли тяжелых металлов, фенолы, органические яды, нефтепродукты, насыщенная бактериями биогенная органика, синтетические моющие средства.

Анализ сточных вод, образующихся на современных предприятиях, показал, что в сбрасываемых в водоемы водах содержатся в основном продукты, которые не относятся к категории сильнотоксичных: хлориды, сульфаты, нитраты и фосфаты натрия, калия, кальция, аммония, магния, железа, меди, органические продукты, взвешенные вещества, масла, нефтепродукты, отходы древесины, зола, отходы рудообогащения и т. д.

Однако от ряда производств, таких как производство хлора и каустика, минеральных удобрений, полимерных материалов, химических волокон, красителей, коксохимическое производство, целлюлозно-бумажные предприятия, энергетические предприятия и др.,

в водоемы вместе со стоками поступают соединения ртути, фтора, мышьяка, селена, хрома, никеля, меди, кадмия, циана, а также кислоты, щелочи, фенолы, метанол и другие вещества, содержание которых в воде строго лимитировано.

1.2. Состав и свойства сточных вод

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

1) производственные - использованные в технологическом процессе производства или получающиеся при добыче полезных ископаемых (угля, нефти, руд и т. п.);

2) бытовые - от санитарных узлов производственных и непроизводственных корпусов и зданий, а также от душевых установок, имеющих на территории промышленных предприятий;

3) атмосферные - дождевые и от таяния снега.

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

Сточные воды содержат различные примеси и по характеру загрязнений подразделяются на три группы:

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

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

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

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

Производственные сточные воды могут различаться по физическим свойствам загрязняющих их органических продуктов (например, по температуре кипения: менее 120, 120...250 и более 250 °С).

Незагрязненные производственные сточные воды поступают от холодильных, компрессорных, теплообменных аппаратов. Кроме того, они образуются при охлаждении основного производственного оборудования и продуктов производства.

Сточные воды представляют собой полидисперсные гетерогенные (неоднородные) агрегативно-неустойчивые системы. Загрязняющие вещества могут находиться в воде в грубодисперсном состоянии (частицы крупностью более 0,1 мм), в виде суспензии, эмульсии, пены (частицы 0,1...0,1 мкм), в коллоидном состоянии (частицы крупностью 0,1...0,001 мкм) или в виде истинного раствора.

В процессе осаждения размер, плотность, форма частиц, а также физические свойства частиц системы изменяются.

Содержание в сточных водах отдельных неорганических или органических веществ обычно приводится в абсолютных значениях их массы в г/м³ или мг/л (объемная концентрация).

Иногда содержание вещества в воде выражается нормальной его концентрацией в грамм-эквивалентах (г-экв) на 1 л раствора, при этом 1 г-экв соответствует числу граммов вещества, равному его молекулярной массе, эквивалентной 1 г водорода при соответствующих реакциях. Например, для серной кислоты 1 г-экв = $98:2=49$ г/л.

Кислотность или щелочность сточных вод выражается величиной водородного показателя рН, который численно равен отрицательному логарифму концентрации водородных

ионов в водном растворе. При $pH = 1...7$ сточные воды характеризуются как кислая среда, при $pH = 7...14$ – как щелочная среда. Для химически чистой воды, представляющей собой слабый электролит, сумма показателей концентрации водородных и гидроксильных ионов $pH + pOH = 14$.

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

Свойства сточных вод отличаются от свойств чистой воды. Они имеют более высокую плотность и вязкость.

Средняя плотность суспензий и эмульсий определяется объемным соотношением фаз:

$$\rho_c = \rho_d \varphi + \rho_0 (1 - \varphi),$$

где ρ_c , ρ_d - плотность сточной воды, дисперсной фазы (твердой или жидкой), $кг/м^3$; φ - объемная доля дисперсной фазы; ρ_0 - плотность чистой воды.

Вязкость суспензии μ_c зависит от объемной концентрации (объемной доли) твердой фазы и при $\varphi \leq 10\%$ определяется по зависимости

$$\mu_c = \mu_0 (1 + 2,5 \varphi),$$

где μ_0 - динамическая вязкость чистой воды, Па·с.

Общее содержание органических веществ в сточных водах оценивается показателями химической потребности в кислороде (ХПК) и биохимической потребности в кислороде (БПК).

ХПК определяется количеством кислорода, необходимого для превращения содержащихся в сточных водах органических веществ в углекислый газ CO_2 , аммиак NH_3 , сульфаты SO_3 , воду, фосфаты P_2O_5 и т. д. При этом кислород, выделяющийся при разложении органических веществ, так же действует как окислитель, что соответственно снижает расчетное значение ХПК.

Расход кислорода на образование окислов азота (нитрификацию) при определении ХПК не учитывается, поскольку окисление органических веществ в сточных водах практически заканчивается к началу нитрификации, которая представляет собой фазу последующего окисления собственно азота аммонийных солей.

БПК сточных вод определяется количеством кислорода, необходимого для окисления содержащихся в сточных водах органических веществ биохимическим путем. Количество кислорода, требующееся для нитрификации, в БПК не входит. Практически БПК условно можно рассматривать как часть ХПК, т. к. органические вещества биохимическим путем не окисляются полностью, а некоторые из них окисляются в незначительной степени. Кроме того, при биохимическом окислении часть органического вещества расходуется на прирост живой массы микроорганизмов.

Различают значение $БПК_{20}$, соответствующее потреблению кислорода за 20 сут (для большинства органических веществ это значение является полным биохимическим потреблением), и значение $БПК_5$, соответствующее потреблению кислорода за 5 сут. Для некоторых органических веществ биохимическое окисление может продолжаться значительно дольше 20 сут.

В отличие от бытовых сточных вод состав производственных вод более разнообразен по видам и концентрации загрязняющих веществ и зависит от типа промышленного предприятия, характера технологических процессов и других факторов.

На различных предприятиях, даже при одинаковых технологических процессах, состав производственных сточных вод, режим водоотведения и удельный расход на единицу выпускаемой продукции весьма разнообразны.

Большое значение в формировании состава производственных сточных вод имеет вид перерабатываемого сырья. Так, например, основным загрязняющим компонентом сточных вод на нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятиях является нефть; на рудообогатительных фабриках - руда; на мясокомбинатах — отходы мяса, непереваренная пища животных; на бумажных фабриках — целлюлозные волокна; на фабриках первичной обработки шерсти — жир, шерсть и т. д. Состав сточных вод зависит также от технологического процесса производства, применяемых компонентов, промежуточных изделий и продуктов, выпускаемой продукции, состава исходной свежей воды, местных условий и др.

Для разработки рациональной схемы водоотведения и оценки возможности повторного использования производственных сточных вод изучается их состав и режим водоотведения. При этом анализируются физико-химические показатели сточных вод и режим поступления в канализационную сеть не только общего стока промышленного предприятия, но и сточных вод от отдельных цехов, а при необходимости от отдельных аппаратов.

В анализируемых сточных водах должны определяться: содержание компонентов, специфичных для данного вида производства (фенолов, нефтепродуктов, поверхностно-активных, ядовитых, радиоактивных, взрывоопасных веществ); общее количество органических веществ; активная реакция; интенсивность окраски; степень минерализации. Необходимо установить такие параметры, как кинетика оседания или всплывания механических примесей и их объем, возможность коагулирования сточных вод и др. Эти данные позволяют выбрать наиболее целесообразный и экономически обоснованный метод очистки сточных вод для определенного предприятия.

Физико-химические показатели производственных сточных вод отдельных предприятий свидетельствуют о широком диапазоне колебаний состава этих вод, что вызывает необходимость тщательного обоснования выбора оптимального метода очистки для каждого вида этих вод.

1.3. Необходимая степень очистки сточных вод

Для правильного определения необходимой степени очистки сточных вод, спускаемых в водоем, в каждом случае нужно иметь подробные данные об их количестве и составе, а также данные детальных обследований водоема, характеризующие местные гидрологические и санитарные условия. Необходимая степень очистки сточных вод определяется применительно к общесанитарным и органолептическим показателям вредности и к каждому из нормативных показателей загрязнения.

«Санитарные правила и правила охраны поверхностных вод от загрязнения» устанавливают две категории водоемов (или их участков): I — водоемы питьевого и культурно-бытового назначения и II—водоемы рыбохозяйственного назначения.

Состав и свойства воды водных объектов первого типа должны соответствовать нормам в створах, расположенных в водотоках на расстоянии одного километра выше ближайшего по течению, а в непроточных водоемах — в радиусе одного километра от пункта водопользования. Состав и свойства воды в рыбохозяйственных водоемах должны соответствовать нормам в месте выпуска сточных вод при рассеивающем выпуске (наличие течений), а при отсутствии рассеивающего выпуска — не далее чем в 500 м от места выпуска.

Правила устанавливают нормируемые значения для следующих параметров воды водоемов: содержание плавающих примесей и взвешенных веществ, запах, привкус, окраска и температура воды, значение рН, состав и концентрации минеральных примесей и растворенного в воде кислорода, биологическая потребность воды в кислороде, состав и предельно допустимая концентрация (ПДК) ядовитых и вредных веществ и болезнетворных бактерий.

Вредные и ядовитые вещества разнообразны по своему составу, в связи с чем их нормируют по принципу лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), под которым понимают наиболее вероятное неблагоприятное воздействие каждого вещества. При нормировании качества воды в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения используют три вида

ЛПВ: санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический. Для водоемов рыбохозяйственного назначения наряду с указанными используют еще два вида ЛПВ: токсикологический и рыбохозяйственный.

Санитарное состояние водоема отвечает требованиям норм при выполнении соотношения

$$\sum_{i=1}^{5(3)} \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1,$$

где C_i – концентрация вещества i -го ЛПВ в расчетном створе водоема; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го вещества.

Для водоемов питьевого и культурно-бытового назначения проверяют выполнение трех, для водоемов рыбохозяйственного назначения — пяти неравенств. При этом каждое вещество можно учитывать только в одном неравенстве.

Нормами установлены ПДК более 400 вредных веществ в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения, а также более 100 вредных веществ в водоемах рыбохозяйственного назначения. ПДК вредных веществ в водоемах рыбохозяйственного назначения, как правило, меньше, чем в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения.

«Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения» запрещают сбрасывать в водоемы сточные воды, если этого можно избежать, используя более рациональную технологию, безводные процессы и системы повторного и оборотного водоснабжения; если сточные воды содержат ценные отходы, которые можно было бы утилизировать; если сточные воды содержат сырье, реагенты и продукцию предприятий в количествах, превышающих технологические потери; если сточные воды содержат вещества, для которых не установлены ПДК.

При проектировании очистных сооружений необходимо учитывать состав и свойства производственных сточных вод, нормы водоотведения на единицу продукции, условия выпуска производственных сточных вод в городскую канализацию и водоемы, а также необходимую степень их очистки.

Определение допустимого состава сточных вод проводят в зависимости от преобладающего вида примесей и с учетом характеристик водоема, в который сбрасывают сточные воды. Расчеты по определению необходимой степени очистки сточных вод, спускаемых в водоем, производят по количеству взвешенных веществ, допустимой величине БПК в смеси речной воды и сточных вод, по потреблению сточными водами растворенного кислорода, по температуре воды, окраске, запаху и солевому составу, по ПДК токсичных примесей и других вредных веществ, а также по изменению величины активной реакции воды водоема.

Определение допустимого состава сточных вод проводят в зависимости от преобладающего вида примесей и с учетом характеристик водоема, в который сбрасывают сточные воды.

Расчет допустимого состава сточных вод по концентрации взвешенных веществ.

Допустимую концентрацию взвешенных веществ в очищенных сточных водах $C_{0,ВЗВ}$ определяют по формуле:

$$C_{0,ВЗВ} \leq C_{В,ВЗВ} + n \cdot \text{ПДК}_{ВЗВ},$$

где $C_{В,ВЗВ}$ — концентрация взвешенных веществ в воде водоема до сброса в него сточных вод; $\text{ПДК}_{ВЗВ}$ — предельно допустимая концентрация взвешенных веществ в водоеме; n — кратность разбавления сточных вод в воде водоема, характеризующая долю расхода воды водоема, участвующей в процессе перемешивания и разбавления сточных вод.

Расчет допустимого состава сточных вод по концентрации растворенных вредных веществ. Концентрацию каждого из растворенных вредных веществ в очищенных сточных водах определяют по формуле:

$$C_{o,i} \leq n(C_{m,i} - C_{b,i}) + C_{b,i},$$

где $C_{b,i}$ - концентрация i -го вещества в воде водоема до сброса сточных вод; $C_{m,i}$ - максимально допустимая концентрация того же вещества с учетом максимальных концентраций и ПДК всех веществ, относящихся к одной группе ЛПВ, вычисленная по формуле:

$$C_{m,i} = \text{ПДК}_i \left(1 - \sum_{i=1}^{i-1} \frac{C_{m,i}}{\text{ПДК}_i} \right).$$

Расчет кратности разбавления сточных вод в водоемах. Разбавление сточных вод — это процесс уменьшения концентрации примесей в водоемах, вызванный перемешиванием сточных вод с водной средой, в которую они выпускаются. Интенсивность процесса разбавления количественно характеризуется кратностью разбавления:

$$n = \frac{C_o - C_b}{C - C_b},$$

где C_o — концентрация загрязняющих веществ в выпускаемых (очищенных) сточных водах; C_b и C — концентрации загрязняющих веществ в водоеме до и после выпуска соответственно.

Для водоемов с направленным течением кратность разбавления удобнее определять по формуле

$$n = \frac{m Q_b + Q_V}{Q_V}, \quad (1.1)$$

где Q_V - объемный расход сточных вод, сбрасываемых в водоем с объемным расходом воды Q_b ; m - коэффициент смешения, показывающий какая часть расхода воды в водоеме участвует в смешении.

Распространение примесей сточных вод обычно происходит в направлении установившихся течений в водоемах, в этом же направлении увеличивается и кратность разбавления. В начальном сечении (место выпуска) кратность разбавления равна единице и в пределе, когда в процессе перемешивания участвует весь возможный для данного водоема расход среды, наступает полное перемешивание.

При условии полного перемешивания сточных вод концентрация примесей в водоеме в произвольный момент времени равна:

$$C = \frac{t(C_o Q_V + \sum C_b Q_{\Pi})}{V},$$

где $t = \frac{V}{Q_V + \sum Q_b - Q_{\Pi}}$ - период полного обмена воды в водоеме; V - объем водоема;

Q_{Π} - потери расхода воды в водоеме без уноса примесей, например, при испарении.

При проектировании и реконструкции предприятий, расположенных вблизи рек, в первую очередь необходимо оценить возможность сброса производственных сточных вод в реку. Наиболее прост расчет по методу Фролова—Родзиллера. Он основан на решении дифференциального уравнения турбулентной диффузии при следующих допущениях: речной поток считается безграничным, начальное разбавление отсутствует, выпуск сточных вод

сосредоточенный. Для рек зона начального разбавления значительно короче, чем для озер и водохранилищ, поэтому в большинстве методик расчета разбавления сточных вод в реках начальное разбавление не учитывают. Этим методом определяют концентрацию примесей для максимально загрязненной струи потока реки без уточнения расположения этой струи, ее формы и размеров:

$$C_{\max} = C + (C_o - C) \cdot e^{-k\sqrt[3]{L}}$$

где $k = \psi \varphi \sqrt[3]{\frac{D_r}{Q_r}}$ - коэффициент, характеризующий гидравлические условия смешения;

ψ — коэффициент, характеризующий место расположения выпуска сточных вод (для берегового выпуска $\psi = 1$, для выпуска в сечении русла $\psi = 1,5$); $\varphi = L/L_n$ — коэффициент извилистости русла; L — длина русла от сечения выпуска до расчетного створа; L_n — расстояние между этими же параллельными сечениями в нормальном направлении; D_r — коэффициент турбулентной диффузии, определяемый по формуле:

$$D_r = \frac{g H w_x}{M C_{ш}}$$

где g — ускорение силы тяжести; H — средняя глубина русла по длине смешения; w_x — средняя по сечению русла скорость течения реки на удалении L от места выпуска сточных вод; $C_{ш} = 40 \dots 44 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$ — коэффициент Шези; M — функция коэффициента Шези, для воды $M = 22,3 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$.

Кратность разбавления определяют по формуле (1.1), а коэффициент смешения — по уравнению

$$m = \frac{1 - e^{-k\sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q_b}{Q_r} e^{-k\sqrt[3]{L}}} \quad (1.2)$$

Условия смешения сточных вод с водами озер и водохранилищ значительно отличаются от условий смешения в реках. Концентрация примесей значительно уменьшается в начальной зоне смешения, но полное перемешивание происходит на значительно больших удалениях от места выпуска, чем в реках. Кроме того, изменяющиеся во времени направление и значение скорости движения воздуха над озерами и водохранилищами переносят загрязнения в различном направлении от места выпуска. Расчет разбавления сточных вод в озерах и водохранилищах проводят двумя методами: методом Руффеля и методом Лапшева.

1.4. Методы и способы очистки сточных вод от примесей

В соответствии с действующим законодательством все сточные воды должны перед сбросом в водоем подвергаться очистке от токсичных примесей. Для выполнения этих требований в зависимости от состава сточных вод применяются различные методы и способы (рис. 1.1).

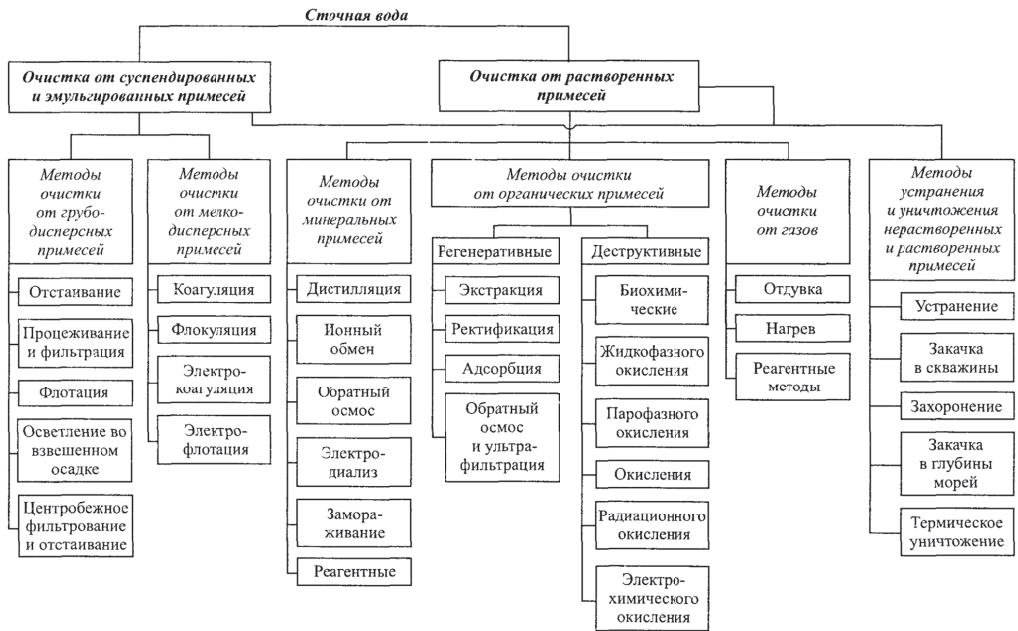


Рис. 1.1. Классификация методов очистки сточных вод

Из известных способов обработки и утилизации производственных жидких отходов, включая и пастообразные, в мировой практике наибольшее распространение нашли следующие методы: биологическое окисление и физико-химическая очистка, термическая обработка, складирование в поверхностных хранилищах, захоронение отходов в наземных герметических резервуарах, захоронение в глубинные горизонты и подземные пустоты естественно-го и искусственного происхождения, сброс в глубинные части морей и океанов.

Сточные воды промышленных предприятий очищают в основном механическими, физико-химическими и биологическими методами. Выбор схемы очистки определяется рядом факторов, включающих показатели очищаемого стока, возможность утилизации примесей и повторного использования воды для производственных нужд, состояние водоема, качество воды в нем и т. д.

Вследствие сильной загрязненности сточных вод промышленных предприятий их очистка от примесей производится в несколько этапов. Во всех случаях очистки стоков первой стадией является механическая очистка, предназначенная для удаления наиболее крупных механических примесей, взвесей и дисперсно-коллоидных частиц. Последующая очистка от химических веществ осуществляется различными методами: физико-химическими (флотация, абсорбция, ионообмен; дистилляция, обратный осмос и ультрафильтрация и др.), химическими (реагентная очистка), электрохимическими (электрохимическое окисление и восстановление, электродиализ, электрокоагуляция, электрофлотация и т. п.), биологическими. Если в сточных водах имеются весьма вредные вещества, применяют термические методы, позволяющие уничтожить примеси. Как правило, во многих случаях приходится применять комбинацию указанных методов.

На практике широко используются следующие методы:

1) для суспензированных и эмульгированных примесей – отстаивание, флотация, фильтрация, осветление, центрифугирование (для грубодисперсных частиц); коагуляция, флокуляция, электрические методы осаждения (для мелкодисперсных и коллоидных частиц).

2) для очистки от неорганических соединений – дистилляция, ионообмен, обратный осмос, ультрафильтрация, реагентное осаждение, методы осаждения, электрические методы.

3) для очистки от органических соединений – экстракция, абсорбция, флотация, ионообмен, реагентные методы (регенерационные методы); биологическое окисление, озонирование, хлорирование, электрохимическое окисление (деструктивные методы).

4) для очистки от газов и паров – отдувка, вакуумирование, нагрев, реагентные методы.

5) для обезвреживания и уничтожения вредных веществ – термическое разложение.

На разных предприятиях применяются различные методы очистки сточных вод. На нефтехимических комбинатах (при производстве синтетического спирта, фенола, ацетона, синтетических жирных кислот, каучука и др.), основными местами образования загрязненных сточных вод являются цехи пиролиза углеводородов, гидратации этилена и ректификации спирта. Сточные воды цеха пиролиза углеводородов содержат этилен, пропилен, бутан, изобутан, бензол, толуол, ксилол, нафталин. В сточных водах цеха гидратации этилена и ректификации спирта присутствуют спирты, ацетальдегид, продукты полимеризации, смола. При применении биологических методов очистки содержание органических веществ (бензола, толуола, ксилола, нафталина и др.) в сточных водах значительно снижается.

На заводах синтетического каучука в сточные воды попадают полимеры, смолы, масла, ацетилен, винилацетат, ацетальдегид, акрилонитрил, бутадиен и др. Методами биологической очистки достаточно полно могут быть окислены этиловый спирт и карбоновые кислоты, хуже — ароматические углеводороды. Весьма устойчивы к окислению диметил и триметилформамид. В этом случае применяется комплексная очистка, включая и утилизацию, физико-химическим (сорбция, дистилляция, ионный обмен) и биологическим методами.

Сточные воды предприятий органического синтеза, содержащие бензол, толуол, пиридин, нейлон и другие, подвергаются механическим и физико-химическим методам очистки. При очистке сточных вод производства капролактама от нитроциклагексанона может быть применено мокрое сжигание. Сточные воды, содержащие трудноокисляемые примеси, проходят двух- и трехступенчатую биологическую очистку. Для очистки сточных вод от анилина, нитробензола, нитротолуола, нитрофенола, хлорбензола, альдегидов, кетонов применяются сорбционные методы очистки. При производстве этилена и пропилена содержащиеся в сточных водах смолы, сажа и ароматические углеводороды могут быть экстрагированы бензином, в результате чего концентрация эфирорастворимых веществ снижается в 30 раз.

В ряде случаев после полной биологической очистки для снижения цветности и разрушения трудноокисляемых компонентов применяются следующие методы глубокой очистки: коагулирование, фильтрование, ионный обмен, озонирование и др.

Таким образом, для удаления из сточных вод органических веществ наиболее универсальным методом является биологическая очистка в аэротенках или на биофильтрах как самостоятельный метод, а также в сочетании с другими методами предварительной очистки и доочистки. Для удаления трудноокисляемых биологическим путем органических веществ, а также неорганических применяются механические, химические и физико-химические методы очистки. Как правило, производственные сточные воды перед очистными сооружениями должны быть максимально утилизированы.

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

При значительном удалении объектов канализования друг от друга вопрос о целесообразности совместной или раздельной, очистки сточных вод этих объектов решается путем технико-экономического сравнения вариантов централизованной и децентрализованной схем канализации. На рис. 1.2 приведен пример очистных сооружений централизованной схемы канализации города и группы промышленных предприятий.

ГЛАВА 1. Методы очистки сточных вод

Приведенная табл. 1.1 позволяет облегчить выбор метода обезвреживания производственных сточных вод в зависимости от их состава и концентрации загрязняющих веществ.

Т а б л и ц а 1.1

Рекомендуемые методы обезвреживания сточных вод

Концентрация загрязняющих веществ, мг/л	Методы очистки сточных вод, содержащих вещества			Преимущественно неорганические
	преимущественно органические с температурой кипения, °С			
	< 120	120...250	> 50	
1...500	Биологический, химический, сорбционный		Химический, сорбционный	Механический, химический, сорбционный
500...5000	Химический (озонирование, хлорирование), сорбционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжиганием в печах	Химический, сорбционный, экстракционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжиганием в печах	Сорбционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжигание в печах	Механический, сорбционный, выпаривание
5000...30000	Химический, экстракционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжигание в печах			Механический, выпаривание, сброс в море, захоронение в земле, сушка в кипящем слое
> 30000	Экстракционный, жидкофазное окисление с различными методами доочистки, сжигание в печах			То же

1.5. Оценка эффективности очистки сточных вод

Эффективность обезвреживания сточных вод – η , %, для всех методов определяется по соотношению:

$$\eta = \frac{G_n - G_k}{G_n} \cdot 100 = 1 - \frac{Q_k C_k}{Q_n C_n} \cdot 100,$$

где G_n и G_k - массовый расход загрязнения в сточных водах до очистки и после очистки, кг/с (кг/ч); Q_n и Q_k - объемный расход сточных вод до очистки и после очистки, м³/с (м³/ч); C_n и C_k - концентрация загрязнения в сточной воде до и после очистки, кг/м³.

Если $Q_n = Q_k$, то:

$$\eta = \frac{C_n - C_k}{C_n} \cdot 100.$$

Если очистка сточных вод от загрязнения производится последовательно несколькими методами, то суммарная степень очистки равна:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \cdots (1 - \eta_n),$$

где $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ - степень очистки сточных вод первым, вторым и n методами.

Для оценки санитарной эффективности рекомендуется показатель КБ (контроль биосферы), равный:

$$КБ = \frac{C_k}{ПДК_b},$$

где $ПДК_b$ - предельно допустимая концентрация загрязнителя в воде, $кг/м^3$.

Тогда санитарная эффективность СЭ метода обезвреживания принимается равной:

$$СЭ_b = \frac{\eta}{КБ_b} = \frac{\eta \cdot ПДК_b}{C_k}.$$

В случае сброса очищенных сточных вод в водоем метод очистки считается эффективным, если он обеспечивает предельно допустимый сброс:

$$ПДС = Q \cdot C_k,$$

где Q - расход сточных вод, $м^3/с$ ($м^3/ч$).

В крупных производствах с выпуском разнообразной продукции образуются сточные воды различного состава. Для отвода их используются несколько канализационных систем. Каждая система имеет свои локальные очистные сооружения. При содержании в сточных водах нескольких загрязняющих веществ (C_1, C_2, \dots, C_n) расчет санитарной эффективности обезвреживания проводят из условия:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1.$$

Контрольные вопросы

1. Какие выделяют основные виды загрязнений водной среды?
2. Какие вещества входят в группу неорганических химических загрязнений водной среды?
3. Какое вредное воздействие на водную среду оказывают органические химические соединения?
4. С чем связано биологическое загрязнение водной среды?
5. Что представляют из себя физические примеси в воде?
6. Какой вид физических примесей представляет наибольшую опасность для водной среды?
7. Какие виды металлов относятся к наиболее токсичным для водных биоценозов?
8. Какой вид физического загрязнения влияет на повышение температуры воды и растворимость кислорода в водоемах?
9. Назовите один из главных источников загрязнения водоемов.
10. На какие виды разделяют сточные воды, отводимые с территории промышленных предприятий?
11. На какие группы по характеру загрязнений подразделяют промышленные сточные воды?

12. В каком агрегатном виде и состоянии могут находиться в сточной воде загрязняющие вещества?
13. В каких единицах измеряется содержание вредных веществ в сточной воде?
14. Каким показателем характеризуется кислотность или щелочность сточных вод?
15. Какими показателями оценивается общее содержание органических веществ в сточных водах?
16. От каких факторов зависит состав сточных вод?
17. На какие категории подразделяют водоемы в соответствии с Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения?
18. Для каких параметров воды водоемов устанавливают нормируемые значения?
19. По какому соотношению оценивают соответствие нормам санитарного состояния водоемов?
20. По каким параметрам производят расчеты по определению необходимой степени очистки сточных вод, спускаемых в водоем?
21. Какие основные методы используют для очистки сточных вод?
22. Какие методы используют для очистки сточных вод от суспензированных и эмульгированных примесей?
23. Какие методы используют для очистки сточных вод от неорганических примесей?
24. Какие методы используют для очистки сточных вод от органических примесей?
25. По каким соотношениям оценивают эффективность очистки сточных вод?
26. Как производится расчет санитарной эффективности обезвреживания при содержании в сточных водах нескольких загрязняющих веществ?

Глава 2. Процессы и аппараты механической очистки сточных вод

Механическая очистка применяется для выделения из сточной воды нерастворенных минеральных и органических примесей. Назначение механической очистки заключается в подготовке сточных вод при необходимости к биологическому, физико-химическому или другому методу более глубокой очистки. Механическая очистка на современных очистных станциях состоит из процеживания через решетки, пескоулавливания, отстаивания и фильтрования. Типы и размеры этих сооружений зависят в основном от состава, свойств и расхода производственных сточных вод, а также от методов их дальнейшей обработки.

Как правило, механическая очистка является предварительным, реже — окончательным этапом для очистки производственных сточных вод. Она обеспечивает выделение взвешенных веществ из этих вод до 90...95 % и снижение органических загрязнений (по показателю БПК_{полн}) до 20...25 %.

Высокий эффект очистки сточных вод достигается различными способами интенсификации гравитационного отстаивания — преаэрацией, биокоагуляцией, осветлением во взвешенном слое (отстойники-осветлители) или в тонком слое (тонкослойные отстойники), а также с помощью гидроциклонов.

Процесс более полного осветления сточных вод осуществляется фильтрованием — пропуском воды через слой различного зернистого материала (кварцевого песка, гранитного щебня, дробленого антрацита и керамзита, горелых пород, чугунолитейного шлака и других материалов) или через сетчатые барабанные фильтры и микрофильтры, через высокопроизводительные напорные фильтры и фильтры с плавающей загрузкой — пенополиуретановой или пенополистирольной. Преимущество указанных процессов заключается в возможности применения их без добавления химических реагентов.

Выбор метода очистки сточных вод от взвешенных частиц осуществляется с учетом кинетики процесса. Размеры взвешенных частиц, содержащихся в производственных сточных водах могут колебаться в очень широких пределах (возможные диаметры частиц составляют от $5 \cdot 10^{-9}$ до $5 \cdot 10^{-4}$ м), для частиц размером до 10 мкм конечная скорость осаждения составляет менее 10^{-4} м/с. Если частицы достаточно велики (диаметром более 30...50 мкм), то в соответствии с законом Стокса они могут легко выделяться отстаиванием (при большой концентрации), или процеживанием, например, через микрофильтры (при малой концентрации). Коллоидальные частицы (диаметром 0,1...1 мкм) могут быть удалены фильтрованием, однако из-за ограниченной емкости фильтрующего слоя более подходящим методом при концентрациях взвешенных частиц более 50 мг/л является ортокинетическая коагуляция с последующим осаждением или осветлением во взвешенном слое.

Повышение технологической эффективности сооружений механической очистки очень важно при создании замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий. Этому требованию удовлетворяют различные новые конструкции многополочных отстойников, сетчатых фильтров, фильтров с новыми видами зернистых и синтетических загрузок, гидроциклонов (напорных, безнапорных, многоярусных). Применение этих сооружений позволит сократить в 3...5 раз капитальные затраты и на 20...40 % эксплуатационные расходы, уменьшить в 3...7 раз необходимые площади для строительства по сравнению с применением обычных отстойников.

С целью обеспечения надежной работы сооружений механической очистки производственных сточных вод, как правило, рекомендуется применять не менее двух рабочих единиц основного технологического назначения — решеток, песколовков, усреднителей, отстойников или фильтров. При выборе максимального числа сооружений предусматривается их секционирование по унифицированным группам, состоящим из единиц с наиболее крупными габаритами.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
Глава 1. Методы очистки сточных вод	7
1.1. Источники загрязнения гидросферы.....	7
1.2. Состав и свойства сточных вод.....	11
1.3. Необходимая степень очистки сточных вод.....	13
1.4. Методы и способы очистки сточных вод от примесей.....	16
1.5. Оценка эффективности очистки сточных вод.....	19
Контрольные вопросы.....	20
Глава 2. Процессы и аппараты механической очистки сточных вод	22
2.1. Сооружения первичной обработки сточных вод.....	24
2.1.1. Решетки.....	24
2.1.2. Усреднители.....	26
2.2. Аппараты для осаждения примесей из сточных вод.....	30
2.2.1. Песколовки.....	31
2.2.2. Отстойники.....	36
2.2.3. Гидроциклоны.....	50
2.2.4. Центрифуги.....	55
2.2.5. Жидкостные сепараторы.....	58
2.3. Фильтрационные установки.....	60
2.3.1. Барабанные сетки и микрофильтры.....	60
2.3.2. Зернистые фильтры.....	62
2.3.3. Фильтры с полимерной загрузкой.....	63
2.3.4. Электромагнитные фильтры.....	64
2.3.5. Расчет фильтров.....	65
Контрольные вопросы.....	68
Глава 3. Установки и аппараты для физико-химической очистки сточных вод	70
3.1. Установки для коагулирования и флокулирования примесей сточных вод.....	70
3.2. Флотационные установки.....	77
3.3. Экстракционные аппараты и установки.....	84
3.4. Сорбционные и ионообменные установки.....	94
3.5. Установки для электрохимической очистки сточных вод.....	107
3.6. Мембранные аппараты для очистки сточных вод.....	118
Контрольные вопросы.....	128
Глава 4. Аппараты для химической очистки сточных вод	129
4.1. Установки для нейтрализации.....	129
4.2. Аппараты для окисления примесей сточных вод.....	136
Контрольные вопросы.....	146
Глава 5. Процессы и аппараты для биологической очистки сточных вод	147

5.1. Сооружения и аппараты для биологической очистки сточных вод в искусственных условиях.	148
5.1.1. Аэротенки.	150
5.1.2. Окситенки.	160
5.1.3. Биофильтры.	162
5.2. Сооружения биологической очистки сточных вод в естественных условиях.	168
Контрольные вопросы.	176
Глава 6. Термические методы очистки сточных вод.	177
6.1. Ректификация примесей сточных вод.	177
6.2. Выпаривание сточных вод.	187
6.3. Кристаллизация примесей сточных вод.	194
6.4. Термоокисление примесей сточных вод.	205
6.5. Огневое обезвреживание сточных вод.	207
Контрольные вопросы.	217
Глава 7. Процессы и аппараты для глубокой очистки (доочистки) сточных вод.	219
7.1. Глубокая очистка сточных вод на фильтрах.	220
7.2. Удаление растворенных веществ методом сорбции.	224
7.3. Биологическая денитрификация.	225
7.4. Установки для обеззараживания сточных вод.	227
7.5. Устройства для насыщения кислородом очищенных сточных вод.	229
7.6. Схемы сооружений глубокой очистки воды.	230
Контрольные вопросы.	233
Глава 8. Технология очистки сточных вод.	234
8.1. Системы канализации, отведения и очистки сточных вод.	234
8.2. Технологические схемы очистки сточных вод.	236
8.3. Очистка сточных вод химических производств.	240
8.4. Очистка сточных вод в машиностроении.	248
8.5. Очистка нефте- и маслосодержащих сточных вод.	254
Контрольные вопросы.	258
Приложения.	259
Список литературы.	291