

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СЫКТЫВКАРСКИЙ ЛЕСНОЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С. М. КИРОВА» (СЛИ)

Кафедра общей и прикладной экологии

А. П. Карманов, И. Н. Полина

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Учебное пособие

*Утверждено учебно-методическим советом
Сыктывкарского лесного института в качестве учебного пособия
для студентов направления бакалавриата
«Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии биотехнологии» (профиль «Охрана окружающей среды
и рациональное использование природных ресурсов»)
всех форм обучения*

Самостоятельное учебное электронное издание

Сыктывкар 2015

УДК 628.3
ББК 38.761.2
К24

Утверждено к изданию редакционно-издательским советом
Сыктывкарского лесного института

Ответственный редактор:
О. А. Конык, кандидат технических наук

Рецензенты:
Л. С. Кочева, доктор химических наук, профессор
(Институт геологии Коми НЦ УрО РАН);
Ю. Г. Хабаров, доктор химических наук, профессор
(Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова)

Карманов, А. П.
К24 Технология очистки сточных вод [Электронный ресурс] : учебное пособие : самост. учеб. электрон. изд. / А. П. Карманов, И. Н. Полина ; Сыкт. лесн. ин-т. — Электрон. дан. — Сыктывкар : СЛИ, 2015. — Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. — Загл. с экрана.

В пособии отражены основные термины и определения, характеризующие процессы очистки, расписаны физические основы методов, приведено оборудование и технологические схемы процессов.

Предназначено для студентов направления бакалавриата 241000 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (профиль «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов») всех форм обучения.

УДК 628.3
ББК 38.761.2

Темплан II полугодия 2014 г. Изд. № 216.

Самостоятельное учебное электронное издание

Карманов Анатолий Петрович, доктор химических наук, профессор;
Полина Ирина Николаевна, кандидат химических наук, доцент

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Электронный формат pdf. Разрешено к публикации 31.03.15. Объем 13,4 уч.-изд. л.
Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ), 167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, institut@sfi.komi.com, www.sli.komi.com

Редакционно-издательский отдел СЛИ. Заказ № 97.

© Карманов А. П., Полина И. Н., 2015
© СЛИ, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД.....	6
1.1. Формирование состава сточных вод.....	6
1.2. Санитарно-химические показатели сточных вод.....	8
1.3. Состав и свойства осадков сточных вод.....	14
1.4. Определение необходимой степени очистки сточных вод.....	20
<i>Контрольные вопросы</i>	23
2. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....	24
2.1. Разработка и обоснование технологических схем очистки сточных вод.....	25
2.2. Технологические схемы очистки сточных вод.....	26
<i>Контрольные вопросы</i>	30
3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД.....	31
3.1. Общие сведения.....	31
3.2. Способы и сооружения механической очистки сточных вод.....	32
3.2.1. Решетки.....	33
3.2.2. Решетки-дробилки.....	35
3.2.3. Песколовки.....	36
3.2.4. Отстойники.....	39
3.2.5. Усреднители.....	47
3.2.6. Нефтеловушки, продуктоловушки.....	51
3.2.7. Фильтры.....	54
3.2.8. Гидроциклоны и центрифуги.....	61
3.2.9. Комбинированные сооружения.....	65
<i>Контрольные вопросы</i>	67
4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....	68
4.1. Коагуляция и флокуляция.....	68
4.1.1. Физико-химические основы процессов.....	68
4.1.2. Сооружения коагуляции и флокуляции.....	71
4.2. Флотация.....	73
4.2.1. Физико-химические основы и способы флотации.....	74
4.2.2. Флотационные установки.....	75
4.3. Адсорбция.....	84
4.3.1. Физико-химические основы процесса.....	85
4.3.2. Статическая адсорбция.....	87
4.3.3. Динамическая адсорбция.....	88
4.3.4. Адсорбционные аппараты и схемы адсорбционных установок.....	89
4.3.5. Методы регенерации адсорбентов.....	91
4.4. Ионный обмен.....	93
4.4.1. Физико-химические основы процесса.....	93
4.4.2. Установки ионного обмена.....	96
4.5. Экстракция.....	98
4.5.1. Физико-химические основы процесса.....	98
4.5.2. Методы экстрагирования.....	99
4.5.3. Технологические схемы и аппаратура для процессов экстракции.....	100
4.6. Мембранные методы.....	103
4.6.1. Физико-химические основы процессов.....	103
4.6.2. Влияние внешних факторов на процессы мембранного разделения.....	106
4.6.3. Аппаратура для обратного осмоса и ультрафильтрации, схемы установок.....	107
4.7. Перегонка и ректификация.....	111

4.7.1. Перегонка	111
4.7.2. Ректификация и эвапорация	113
4.8. Кристаллизация	115
4.8.1. Физико-химические основы процесса	115
4.8.2. Способы кристаллизации и применяемая аппаратура	116
<i>Контрольные вопросы</i>	118
5. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ	120
5.1. Физико-химические основы методов	120
5.2. Электрокоагуляция и электрофлотация	121
5.3. Электрохимическое окисление и восстановление	124
5.4. Электродиализ	126
<i>Контрольные вопросы</i>	127
6. ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ	128
6.1. Концентрирование минерализованных сточных вод	129
6.2. Термоокислительные методы обезвреживания жидких отходов	131
<i>Контрольные вопросы</i>	134
7. БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ	135
7.1. Общие положения	135
7.1.1. Основные показатели	140
7.1.2. Состав активного ила и биопленки	141
7.1.3. Закономерности распада органических веществ	143
7.1.4. Зависимость скорости биологической очистки от различных факторов	145
7.1.5. Биохимический показатель	146
7.2. Сооружения и аппараты для биологической очистки сточных вод в искусственных условиях	147
7.2.1. Аэротенки	148
7.2.2. Биофильтры	159
<i>Контрольные вопросы</i>	166
8. ОБРАБОТКА, ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД	167
8.1. Состав и свойства осадков сточных вод	167
8.2. Уплотнение илов и осадков сточных вод	173
8.3. Стабилизация осадков сточных вод и активного ила в анаэробных и аэробных условиях	174
8.3.1. Сооружения для стабилизации осадка в анаэробных условиях	175
8.3.2. Аэробные стабилизаторы	179
8.4. Обезвоживание осадков сточных вод	181
8.4.1. Обезвоживание осадков на иловых площадках	181
8.4.2. Обеззараживание осадков сточных вод	191
8.5. Термическая сушка осадков сточных вод	195
8.6. Сжигание осадков сточных вод	199
8.7. Утилизация осадков городских сточных вод	202
<i>Контрольные вопросы</i>	203
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	204
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	205
ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	206

ВВЕДЕНИЕ

Вода, у тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха. Тебя невозможно описать, тобой наслаждаются, не ведая, что ты такое! Нельзя сказать, что ты необходима для жизни: ты — сама жизнь. Ты самое большое богатство на свете.

Антуан де Сент-Экзюпери

Во все времена поселения людей и размещение промышленных объектов реализовались в непосредственной близости от пресных водоемов, используемых для питьевых, гигиенических, сельскохозяйственных и производственных целей. В процессе использования воды человеком она изменяла свои природные свойства и в ряде случаев становилась опасной в санитарном отношении. Впоследствии с развитием инженерного оборудования городов и промышленных объектов возникла необходимость в устройстве организованных способов отведения загрязненных отработавших потоков воды по специальным гидротехническим сооружениям. В настоящее время значение пресной воды как природного сырья постоянно возрастает. При использовании в быту и промышленности вода загрязняется веществами минерального и органического происхождения. Такую воду принято называть сточной водой [4].

Бурное развитие промышленности вызывает необходимость в предотвращении отрицательного воздействия производственных сточных вод на водоемы. Многие современные технологические процессы связаны со сбросом сточных вод в водные объекты. В связи с чрезвычайным разнообразием состава, свойств и расходов сточных вод промышленных предприятий необходимо применение специфических методов, а также сооружений по их локальной, предварительной и полной очистке.

В составе инженерных коммуникаций каждого промышленного предприятия имеется комплекс канализационных сетей и сооружений, с помощью которых осуществляется отведение с территории предприятия отработанных вод (дальнейшее использование которых либо невозможно по техническим условиям, либо нецелесообразно по технико-экономическим показателям), а также сооружений по предварительной обработке сточных вод и извлечению из них ценных веществ и примесей [1].

1. СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД

1.1. Формирование состава сточных вод

Сточные воды — это воды, бывшие в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшие через какую-либо загрязненную территорию.

Сточные воды разнообразны по составу и, следовательно, по свойствам. По своей природе загрязнения сточных вод подразделяются:

- органические;
- минеральные;
- биологические.

Органические загрязнения — это примеси растительного и животного происхождения.

Минеральные загрязнения — это кварцевый песок, глина, щелочи, минеральные кислоты и их соли, минеральные масла и т. д.

Биологические и бактериальные загрязнения — это различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные — возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др.

Все примеси сточных вод, независимо от их происхождения, разделяют на четыре группы в соответствии с размером частиц.

К первой группе примесей относят нерастворимые в воде *грубодисперсные примеси*. Нерастворимыми могут быть примеси органической или неорганической природы. К этой группе относят микроорганизмы (простейшие, водоросли, грибы), бактерии и яйца гельминтов. Эти примеси образуют с водой неустойчивые системы. При определенных условиях они могут выпадать в осадок или всплывать на поверхность воды. Значительная часть загрязнений этой группы может быть выделена из воды в результате гравитационного осаждения.

Вторую группу примесей составляют *вещества коллоидной степени дисперсности* с размером частиц менее 10^{-6} см. Гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси этой группы образуют с водой системы с особыми молекулярно-кинетическими свойствами. К этой группе относятся и высокомолекулярные соединения, так как их свойства сходны с коллоидными системами. В зависимости от физических условий примеси этой группы способны изменять свое агрегатное состояние. Малый размер их частиц затрудняет осаждение под действием сил тяжести. При разрушении агрегативной устойчивости примеси выпадают в осадок.

К третьей группе относят примеси с размером частиц менее 10^{-7} см. Они имеют *молекулярную степень дисперсности*. При их взаимодействии с водой образуются растворы. Для очистки сточных

вод от примесей третьей группы применяют биологические и физико-химические методы.

Примеси четвертой группы имеют размер частиц менее 10^{-8} см, что соответствует *ионной степени дисперсности*. Это растворы кислот, солей и оснований. Некоторые из них, в частности аммонийные соли и фосфаты, частично удаляются из воды в процессе биологической очистки. Однако технология очистки бытовых сточных вод (полная биологическая очистка) не позволяет изменить солесодержание воды. Для снижения концентрации солей используют следующие физико-химические методы очистки: ионный обмен, электродиализ и т. д.

Различают три основные категории сточных вод в зависимости от их происхождения:

- 1) хозяйственно-бытовые;
- 2) производственные;
- 3) атмосферные.

Хозяйственно-бытовые сточные воды поступают в водоотводящую сеть от жилых домов, бытовых помещений промышленных предприятий, комбинатов общественного питания и лечебных учреждений. В составе таких вод различают фекальные сточные воды и хозяйственные, загрязненные разными хозяйственными отбросами, моющими средствами. Хозяйственно-бытовые сточные воды всегда содержат большое количество микроорганизмов, которые являются продуктами жизнедеятельности человека, среди которых могут быть и патогенные. Особенностью хозяйственно-бытовых сточных вод является относительное постоянство их состава. Основная часть органических загрязнений таких вод представлена белками, жирами, углеводами и продуктами их разложения. Неорганические примеси составляют частицы кварцевого песка, глины, соли, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека. К последним относят фосфаты, гидрокарбонаты, аммонийные соли (продукт гидролиза мочевины). Из общей массы загрязнений бытовых сточных вод на долю органических веществ приходится 45—58 %.

Производственные сточные воды образуются в результате технологических процессов. Качество сточных вод и концентрация загрязняющих веществ определяются видом промышленного производства и исходного сырья, режимами технологических процессов. Например, на металлообрабатывающих предприятиях производственные сточные воды загрязнены минеральными веществами, пищевая промышленность дает загрязнения органическими примесями. Большинство предприятий имеют загрязнения сточных вод как минеральные, так и органические, в различных соотношениях. Концентрация загрязнений сточных вод различных предприятий неодинакова. Она колеблется в весьма широких пределах в зависимости от расхода воды на единицу продукции, совер-

шенства технологического процесса и производственного оборудования. Концентрация загрязнений в производственных сточных водах может сильно колебаться во времени и зависит от хода технологического процесса в отдельных цехах или на предприятии в целом. Неравномерность притока сточных вод и их концентрации во всех случаях ухудшает работу очистных сооружений и усложняет эксплуатацию.

Атмосферные сточные воды образуются в результате выпадения осадков. К этой категории сточных вод относят талые воды, а также воды от поливки улиц. В атмосферных водах наблюдается высокая концентрация кварцевого песка, глинистых частиц, мусора и нефтепродуктов, смываемых с улиц города.

Загрязнение территории промышленных предприятий приводит к появлению в ливневых водах примесей, характерных для данного производства. Отличительной особенностью ливневого стока является его эпизодичность и резко выраженная неравномерность по расходу и концентрациям загрязнений.

В зависимости от гидрогеологических условий местности, характера производственных процессов в данном регионе, расхода воды на хозяйственно-бытовые и производственные цели выбирается та или иная система водоотведения и, соответственно, схема водоотводящей сети. Загрязнения хозяйственно-бытовых и производственных стоков влияют на технологию очистки воды и на экологическую ситуацию в данном районе [1, 3, 11].

1.2. Санитарно-химические показатели сточных вод

Состав сточных вод и их свойства оценивают по результатам санитарно-химического анализа, включающего наряду со стандартными химическими тестами ряд физических, физико-химических и санитарно-бактериологических определений. Сложность состава сточных вод и невозможность определения каждого из загрязняющих веществ приводят к необходимости выбора таких показателей, которые характеризовали бы определенные свойства воды без идентификации отдельных веществ. Полный санитарно-химический анализ предполагает определение таких показателей, как:

- температура;
- окраска;
- запах;
- прозрачность;
- величина рН;
- сухой остаток;

- плотный остаток и потери при прокаливании;
- взвешенные вещества;
- оседающие вещества по объему и по массе;
- перманганатная окисляемость;
- химическая потребность в кислороде (ХПК);
- биохимическая потребность в кислороде (БПК);
- азот (общий; аммонийный; нитритный; нитратный);
- фосфаты;
- хлориды;
- сульфаты;
- тяжелые металлы и другие токсичные элементы;
- поверхностно-активные вещества (ПАВ);
- нефтепродукты;
- растворенный кислород;
- микробное число;
- бактерии группы кишечной палочки (БГКП);
- яйца гельминтов.

В число обязательных тестов полного санитарно-химического анализа на городских очистных станциях может быть включено определение специфических примесей, поступающих в водоотводящую сеть населенных пунктов от промышленных предприятий.

Температура — один из важных технологических показателей. Функцией температуры является вязкость жидкости и, следовательно, сила сопротивления оседающим частицам. Важнейшее значение имеет температура для биологических процессов очистки, так как от нее зависят скорости биохимических реакций и растворимость кислорода в воде.

Окраска — один из органолептических показателей качества сточных вод. Хозяйственно-фекальные сточные воды обычно слабо окрашены и имеют желтовато-буроватые или серые оттенки. Наличие интенсивной окраски различных оттенков — свидетельство присутствия производственных сточных вод. Для окрашенных сточных вод определяют интенсивность окраски по разведению до бесцветной, например 1:400; 1:250 и т. д.

Запах — органолептический показатель, характеризующий наличие в воде пахнущих летучих веществ. Обычно запах определяют качественно при температуре пробы 20 °С и описывают как фекальный, гнилостный, керосиновый, фенольный и т. д. При неясно выраженном запахе определение повторяют, подогревая пробу до 65 °С. Иногда необходимо знать пороговое число — наименьшее разбавление, при котором запах исчезает.

Концентрация ионов водорода выражается величиной рН. Этот показатель чрезвычайно важен для биохимических процессов, скорость которых может существенно снижаться при резком изменении реакции

среды. Установлено, что сточные воды, подаваемые на сооружения биологической очистки, должны иметь значение рН в пределах 6,5—8,5. Производственные сточные воды (кислые или щелочные) должны быть нейтрализованы перед сбросом в водоотводящую сеть, чтобы предотвратить ее разрушение. Городские сточные воды обычно имеют слабощелочную реакцию среды ($\text{pH} = 7,2\text{—}7,8$).

Прозрачность характеризует общую загрязненность сточной воды нерастворенными и коллоидными примесями, не идентифицируя вид загрязнений. Прозрачность городских сточных вод обычно составляет 1–3 см, а после очистки увеличивается до 15—30 см.

Сухой остаток характеризует общую загрязненность сточных вод органическими и минеральными примесями в различных агрегативных состояниях (в мг/л). Определяется этот показатель после выпаривания и дальнейшего высушивания при $t = 105\text{ }^\circ\text{C}$ пробы сточной воды. После прокаливания (при $t = 600\text{ }^\circ\text{C}$) определяется зольность сухого остатка. По этим двум показателям можно судить о соотношении органической и минеральной частей загрязнений в сухом остатке.

Плотный остаток — это суммарное количество органических и минеральных веществ в профильтрованной пробе сточных вод (мг/л). Определяется при таких же условиях, что и сухой остаток. После прокаливании плотного остатка при $t = 600\text{ }^\circ\text{C}$ можно ориентировочно оценить соотношение органической и минеральной частей растворимых загрязнений сточных вод. При сравнении прокаленных сухого и плотного остатков городских сточных вод определено, что большая часть органических загрязнений находится в нерастворенном состоянии. При этом минеральные примеси в большей степени находятся в растворенном виде.

Взвешенные вещества — показатель, характеризующий количество примесей, которое задерживается на бумажном фильтре при фильтровании пробы. Это один из важнейших технологических показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод. Кроме того, этот показатель используется в качестве расчетного параметра при проектировании первичных отстойников. Количество взвешенных веществ — один из основных нормативов при расчете необходимой степени очистки сточных вод. Потери при прокаливании взвешенных веществ определяются так же, как для сухого и плотного остатков, но выражаются обычно не в миллиграммах на литр, а в виде процентного отношения минеральной части взвешенных веществ к их общему количеству по сухому веществу. Этот показатель называется *зольностью*. Концентрация взвешенных веществ в городских сточных водах обычно составляет 100—500 мг/л.

Оседающие вещества — часть взвешенных веществ, оседающих на дно отстойного цилиндра за 2 ч отстаивания в покое. Этот показатель

характеризует способность взвешенных частиц к оседанию, позволяет оценить максимальный эффект отстаивания и максимально возможный объем осадка, который может быть получен в условиях покоя. В городских сточных водах оседающие вещества в среднем составляют 50—75 % общей концентрации взвешенных веществ.

Под **окисляемостью** понимают общее содержание в воде восстановителей органической и неорганической природы. В городских сточных водах подавляющую часть восстановителей составляют органические вещества, поэтому считается, что величина окисляемости полностью относится к органическим примесям. В зависимости от природы используемого окислителя различают окисляемость химическую, если при определении используют химический окислитель, и биохимическую, когда роль окислительного агента выполняют аэробные бактерии; этот показатель — *биохимическая потребность в кислороде* (БПК). В свою очередь, химическая окисляемость может быть перманганатной (окислитель KMnO_4), бихроматной (окислитель $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) и йодатной (окислитель KJO_3). Результаты определения окисляемости независимо от вида окислителя выражают в миллиграммах на литр O_2 . Бихроматную и йодатную окисляемость называют *химической потребностью в кислороде*, или ХПК.

Перманганатная окисляемость — кислородный эквивалент легкоокисляемых примесей. Это количество кислорода, потребляемое при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием раствора перманганата калия при нагревании в кислой среде. Основная ценность этого показателя — быстрота и простота определения. Перманганатная окисляемость используется с целью получения сравнительных данных. Тем не менее есть такие вещества, которые не окисляются KMnO_4 . Только после определения ХПК можно достаточно полно оценить степень загрязненности воды органическими веществами.

Биохимическая потребность в кислороде (БПК) — кислородный эквивалент степени загрязненности сточных вод биохимически окисляемыми органическими веществами. БПК определяет количество кислорода, необходимое для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в окислении органических соединений. БПК характеризует биохимически окисляемую часть органических загрязнений сточной воды, находящихся в первую очередь в растворенном и коллоидном состояниях, а также в виде взвеси.

Азот находится в сточных водах в виде органических и неорганических соединений. В городских сточных водах основную часть органических азотистых соединений составляют вещества белковой природы — фекалии, пищевые отходы. Неорганические соединения азота

представлены восстановленными — NH_4^+ и NH_3 и окисленными формами NO_2^- и NO_3^- . Аммонийный азот в большом количестве образуется при гидролизе мочевины — продукта жизнедеятельности человека. Кроме того, процесс аммонификации белковых соединений также приводит к образованию соединений аммония.

В городских сточных водах до их очистки азот в окисленных формах (в виде нитритов и нитратов), как правило, отсутствует. Нитриты и нитраты восстанавливаются группой денитрифицирующих бактерий до молекулярного азота. Окисленные формы азота могут появиться в сточной воде лишь после биологической очистки.

Источником соединений **фосфора** в сточных водах являются физиологические выделения людей, отходы хозяйственной деятельности человека и некоторые виды производственных сточных вод.

Концентрации азота и фосфора в сточных водах — важнейшие показатели санитарно-химического анализа, имеющие значение для биологической очистки. Азот и фосфор — необходимые компоненты состава бактериальных клеток. Их называют *биогенными элементами*. При отсутствии азота и фосфора процесс биологической очистки невозможен.

Хлориды и сульфаты — показатели, концентрация которых влияет на общее солесодержание.

В **группу тяжелых металлов и других токсичных элементов** входит большое число элементов, которое по мере накопления знаний о процессах очистки все более возрастает. К токсичным тяжелым металлам относят железо, никель, медь, свинец, цинк, кобальт, кадмий, хром, ртуть; к токсичным элементам, не являющимся тяжелыми металлами, — мышьяк, сурьму, бор, алюминий и т. д.

Источник тяжелых металлов — производственные сточные воды машиностроительных заводов, предприятий электронной, приборостроительной и других отраслей промышленности. В сточных водах тяжелые металлы содержатся в виде ионов и комплексов с неорганическими и органическими веществами.

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) — органические соединения, состоящие из гидрофобной и гидрофильной частей, обуславливающих растворение этих веществ в маслах и в воде. Примерно 75 % общего количества производимых СПАВ приходится на долю анионоактивных веществ, второе место по выпуску и использованию занимают неионогенные соединения. В городских сточных водах определяют СПАВ этих двух типов.

Нефтепродукты — неполярные и малополярные соединения, экстрагируемые гексаном. Концентрация нефтепродуктов в водоемах строго нормируется; и поскольку на городских очистных сооружениях степень

их задержания не превышает 85 %, в поступающей на станцию сточной воде также ограничивается содержание нефтепродуктов.

Растворенный кислород в поступающих на очистные сооружения сточных водах отсутствует. В аэробных процессах концентрация кислорода должна быть не менее 2 мг/л.

Санитарно-бактериологические показатели включают определение общего числа аэробных сапрофитов (микробное число), бактерий группы кишечной палочки и анализ на яйца гельминтов.

Микробное число оценивает общую обсемененность сточных вод микроорганизмами и косвенно характеризует степень загрязненности воды органическими веществами — источниками питания аэробных сапрофитов. Этот показатель для городских сточных вод колеблется в пределах 10^6 — 10^8 .

Концентрация загрязнений в сточной воде (мг/л или г/м³) рассчитывается по формуле

$$B_{en} = \frac{a \cdot 1000}{q},$$

где B_{en} — концентрация какого-либо из загрязнителей в сточной воде, поступающей на очистку; a — величина загрязнений, г/сут, на 1 чел.; q — норма водоотведения, л/чел., в сутки.

Величина загрязнений в сточной воде на 1 чел. приведена в табл. 1.

Таблица 1. Количество загрязняющих веществ в сточной воде, г/сут

Показатель	Количество загрязняющих веществ на 1 чел.
Взвешенные вещества	65
БПК _{полн} неосветленной жидкости	75
БПК _{полн} осветленной жидкости	40
Азот аммонийных солей N	8
Фосфаты P ₂ O ₅	3,3
В том числе моющих веществ	1,6
Хлориды	9
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	25

Примечания:

1. Количество загрязняющих веществ от населения, проживающего в неканализованных районах, надлежит учитывать в размере 33 %.

2. При сбросе бытовых сточных вод промышленных предприятий в канализацию населенного пункта количество загрязняющих веществ от эксплуатационного персонала дополнительно не учитывается [3].

1.3. Состав и свойства осадков сточных вод

В процессах механической, биологической и физико-химической очистки сточных вод на очистных сооружениях образуются различного вида осадки, содержащие органические и минеральные компоненты.

В зависимости от условий формирования и особенностей отделения различают осадки:

- первичные;
- вторичные.

К первичным осадкам относятся грубодисперсные примеси, которые находятся в твердой фазе и выделены из воды такими методами механической очистки, как процеживание, седиментация, фильтрация, флотация, осаждение в центробежном поле. К вторичным осадкам относятся примеси, первоначально находящиеся в воде в виде коллоидов, молекул и ионов, но в процессе биологической или физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков образующие твердую фазу (табл. 2).

Таблица 2. Классификация осадков сточных вод

Группа осадков	Тип осадков	Сооружения и оборудование, отделяющие осадки
<i>Первичные осадки</i>		
I	Осадки грубые (отбросы)	Решетки, сита
II	Осадки тяжелые	Песколовки
III	Осадки плавающие	Жировки, отстойники
IV	Осадки сырые, выделенные из сточной воды в результате механической очистки	Отстойники первичные, осветлители
<i>Вторичные осадки</i>		
V	Осадки сырые, выделенные из сточной воды после биологической или физико-химической очистки	Отстойники вторичные, флотаторы
VI	Осадки сброженные, прошедшие обработку в анаэробных перегнивателях, метантенках, и осадки, стабилизированные в аэробных стабилизаторах	Септики, двухъярусные отстойники, осветлители, перегниватели, метантенки, аэробные стабилизаторы
VII	Осадки уплотненные, подвергнутые сгущению до предела текучести (до влажности 90—85 %)	Уплотнители: гравитационные, флотационные, сепараторы
VIII	Осадки обезвоженные, подвергнутые сгущению до влажности 80—40 %	Иловые площадки, вакуум-фильтры, центрифуги, фильтр-прессы и др.
IX	Осадки сухие, подвергнутые термической сушке до влажности 5—40 %	Сушилки: барабанные, вальцовые, с кипящим слоем, со встречными струями

Составы осадков по размеру частиц отличаются большой неоднородностью. Их размеры колеблются от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Осадки первичные

Осадки грубые (отбросы) задерживаются решетками. В состав отбросов входят крупные взвешенные и плавающие вещества, преимущественно органического происхождения. Средний состав этих отбросов состоит из бумаги — 65 %, тряпья — 25 %, древесины, пластика — 4 %, других отбросов — 6 %. Количество отбросов, оставшихся на решетках с прозорами 16—20 мм, на 1 человека в год составляет в среднем 8 л при влажности 80 % и объемной массе 750 кг/м^3 . Уловленные отбросы часто подвергаются дроблению с последующим выпуском их в канал перед решеткой. Переработка этих отбросов может осуществляться в метантенках, на пиролизных установках вместе с другими осадками или направляться на компостирование для получения удобрения вместе с мусором.

Осадки тяжелые оседают в песколовках. В их состав обычно входят песок, обломки отдельных минералов, кирпич, уголь, битое стекло и т. п. При проектировании количество задерживаемых тяжелых примесей принимают 0,02 л на 1 человека в сутки, или 7,2 л в год, при влажности 60 % и объемной массе $1,5 \text{ т/м}^3$.

Осадки плавающие улавливаются жироловками или всплывают в отстойниках. Количество этих примесей в бытовых стоках на 1 человека в год составляет 2 л при влажности 60 % и объемной массе $0,6 \text{ т/м}^3$.

Осадки сырые задерживаются первичными отстойниками. В бытовых сточных водах эти осадки представляют собой студенистую, вязкую суспензию с кисловатым запахом. Органические вещества в них составляют 75—80 % и быстро загнивают, издавая неприятный запах. Влажность осадка при самотечном удалении после 2-часового отстаивания принимается 95 %, а при удалении из отстойника плунжерными насосами — 93—94 %. Механический состав осадков из первичных отстойников отличается большой неоднородностью. Величина отдельных частиц колеблется от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Осадки вторичные

Активный ил, уловленный вторичными отстойниками после аэротенков, представляет биоценоз микроорганизмов и простейших, обладает свойством флокуляции. Структура активного ила представляет хлопьевидную массу бурого цвета. В свежем виде активный ил почти не имеет запаха или пахнет землей, но, загнивая, издает специфический гнилостный запах. По механическому составу активный ил относится к

тонким суспензиям, состоящим на 98 % по массе из частиц размерами меньше 1 мм. Активный ил аэротенков отличается высокой влажностью — 99,2—99,7 %.

Шламы, задерживаемые отстойниками или другими сооружениями после физико-химической очистки, выделяются в результате локальной очистки или доочистки промышленных сточных вод с применением реагентной обработки, фильтрования, электролиза, адсорбции, ионного обмена, обратного осмоса, экстракции и других методов.

Осадки, сброженные в анаэробных условиях. Структура осадка, сброженного в метантенках, двухъярусных отстойниках и других сооружениях анаэробного сбраживания, мелкая и однородная, цвет — почти черный или темно-серый. Осадки отличаются высокой текучестью, выделяют запах сургуча или асфальта. В метантенках распад осадков сопровождается выделением большого количества газа — метана, весьма ценного для использования.

Осадки из аэробных стабилизаторов. Степень распада органического вещества при аэробной стабилизации значительно меньше, чем при анаэробных процессах, но оставшаяся часть достаточно стабильна. После аэробной стабилизации осадки уплотняются в отстойниках за 5—15 ч до влажности 96—98 %. При стабилизации бактерии коли гибнут на 95 %, но яйца гельминтов не исчезают, поэтому осадки после аэробной стабилизации нуждаются в обеззараживании.

Бактериальная заселенность осадков. В осадках, как и в сточной воде, можно найти многие формы бактерий. Бактериальная заселенность осадков на порядок выше, чем сточных вод. Осадки бытовых стоков содержат большое количество яиц гельминтов. При термофильном сбраживании яйца глистов полностью погибают. То же наблюдается при термогравитационном или термофлотационном уплотнении осадков.

Химический состав. Знание химического состава осадков необходимо для определения наиболее рациональных путей их использования и обработки. В табл. 3 приведен химический состав их минеральной части.

Обработка осадков, выделяемых в процессе очистки сточных вод, проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве. Эта цель достигается осуществлением трех основных процессов в различных технологических последовательностях:

- 1) обезвоживанием — обеспечивающим минимальный объем осадков;
- 2) стабилизацией — придающей осадкам способность не выделять вредные продукты разложения при длительном хранении;
- 3) обеззараживанием — делающим осадок безопасным по санитарно-бактериологическим показателям.

Таблица 3. Общий химический состав осадков, в % к абсолютно сухому веществу

Тип осадков	Зола	α -целлюлоза	Гемипцеллюлоза	Белки, гуматы	Жиры	Общий азот	Фосфор
Первичные сырые	15—35	5,5—5	5—7	15—21	18—26	3,2—3,8	1,4—2,5
Первичные, сброженные в метантенках: - мезофильный процесс - термофильный процесс	28—40	2,8—9	5,8—9	35	7,6—9	3—1,3	2,4—4,8
	40—42	1,6	6,0	28	9	3,8	4,9
Активный ил из вторичных отстойников после аэротенков	25—30	0,8—2	2,6—2,2	30—35	7,11—14	7,3—6,8	5,4

Показатели осадков сточных вод. *Осадки сточных вод* — это суспензии, в которых дисперсной фазой являются твердые частицы органического и минерального происхождения, а дисперсионной средой — вода с растворенными в ней веществами. Свойства суспензии во многом зависят от содержания в ней воды. Общее влагосодержание в осадках принято определять понятием «влажность». *Влажность* — содержание массы воды в 100 кг осадка, выраженное в процентах.

Формы связи влаги. Величина влажности не позволяет оценить в достаточной мере возможность, условия и степень удаления влаги из осадка. Это обусловлено сложностью его структуры и особенностями распределения в ней воды. Однако только направленным воздействием на структуру осадка можно обеспечить эффективность процессов его обезвоживания.

Наиболее полная классификация форм связи влаги с твердыми частицами предложена акад. П. А. Ребиндером [3]. В основе классификации лежит энергия связи, которую необходимо затратить для выделения воды из состава структуры. В структуре осадка влага может находиться в форме свободной воды, в физико-механической связи с твердыми частицами, а также в физико-химической и химической формах связи.

Свободная влага имеет наименьшую энергию связи со структурой осадка и легко может быть из него удалена. *Физико-механически связанная влага* — это капиллярная вода, вода смачивания и структурная влага. Физико-химической связью удерживается адсорбционная и осмотическая влага, а химически связанная вода, входящая в состав веществ, не выделяется даже при термической сушке осадков. Механическими методами обезвоживания осадков, а также естественной сушкой их на иловых площадках удаляется большая часть свободной воды. Физико-механическая связь нарушается вследствие выпаривания или удаления влаги под давле-

нием в аппаратах, которые развивают давление, большее капиллярного, и разрушают структурные связи, при которых возможно нарушение более прочных видов связи и можно добиться удаления части связанной влаги.

Способность осадков к обезвоживанию под действием механических сил (вакуум-фильтрованием, центрифугированием или фильтр-прессованием) характеризуется следующими показателями влагоотдачи:

- 1) удельным сопротивлением фильтрации;
- 2) сжимаемостью;
- 3) индексом центрифугирования.

Удельное сопротивление фильтрации осадка определяют как сопротивление, оказываемое движению фильтрата через слой кека (обезвоженного осадка), отложившийся на 1 м^2 поверхности фильтра и содержащий 1 кг сухого вещества.

Сжимаемость осадка. С увеличением перепада давления поры в структуре осадка уменьшаются, вызывая возрастание сопротивления фильтрации [3].

Коэффициент сжимаемости осадка связан с удельным сопротивлением фильтрации и давлением фильтрования выражением:

$$S = \frac{\lg\left(\frac{r_1}{r}\right)}{\lg\left(\frac{p_1}{p}\right)},$$

где r_1 и r – значения удельного сопротивления фильтрации при разности давлений фильтрования p_1 и p соответственно.

Скорость фильтрации будет увеличиваться, оставаться постоянной или уменьшаться при увеличении p в соответствии с тем, будет ли значение S меньше, равно или больше 1.

Для многих видов органических осадков существует «критическое давление», выше которого поры кека сужаются настолько, что фильтрация становится невозможной [4].

На рис. 1 [3] приведены схемы структур различных типов осадков.

В качестве критерия, характеризующего водоотдачу осадка в центробежном поле, существует *индекс центрифугирования* J_c , $\text{м}^3/\text{кг}$, определяемый по формуле

$$J_c = \frac{1000 \cdot W_k}{C \cdot W_0},$$

где W_k — объем кека, м^3 ; W_ϕ — объем фугата, м^3 ; C — концентрация твердой фазы осадка, $\text{кг}/\text{м}^3$; W_0 — объем осадка, м^3 .

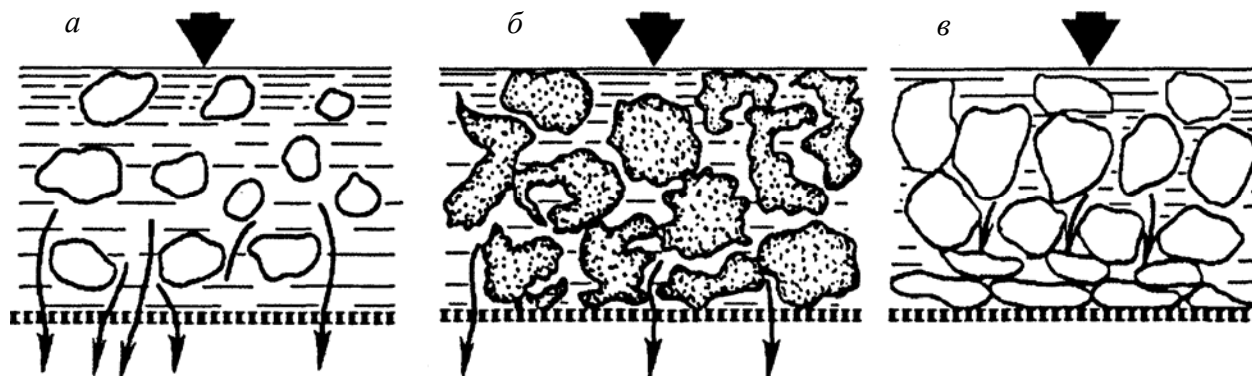


Рис. 1. Схемы структур различных типов осадков:
a — легко фильтрующийся осадок; *б* — осадок с высоким удельным сопротивлением;
в — сжимаемый осадок [3]

Увеличение эффективности обезвоживания осадка центрифугированием достигается при величине индекса меньше 6—8 [4].

В табл. 4 приведены некоторые показатели осадков станций очистки городских сточных вод [3].

Таблица 4. Показатели осадков станций очистки городских сточных вод

Вид осадка	Количество осадка на 1 чел./сут		Влажность, %	Зольность сухого вещества, %	Удельное сопротивление $r \cdot 10^{-10}$, см/г
	по сухому веществу, г	по объему влажного осадка, л			
Отбросы с решеток (прозоры 16 мм)	4—6	0,02	70—80	7—8	—
Песок из песколовков	3	0,02	60	80—90	—
Сырой осадок первичных отстойников	25—40	0,5—0,8	93—95	15—30	50—500
Сброженный осадок первичных отстойников в мезофильных условиях	30	0,4—0,7	93—96	28—40	350—1800
Сырой активный ил (уплотненный)	20—32	0,7—1,1	97	25—30	150—5000
Сброженный в мезофильных условиях активный ил	15—25	0,3—0,6	94—96	35—40	2300
Смесь осадка первичных отстойников и активного ила (уплотненного)	45—70	0,6—2,3	93—97	20—30	200—1200
То же, сброженная в мезофильных условиях	30—45	0,4—2,2	92—98	35—40	1200—1600
То же, сброженная в термофильных условиях	30—45	0,75—1,5	96—97	40	1400—10000
Аэробно стабилизированный активный ил (уплотненный)	15—25	0,3—0,6	97	30—35	4000—6000

1.4. Определение необходимой степени очистки сточных вод

Технологические расчеты необходимой степени очистки сточных вод базируются на уравнении материального баланса.

Определение необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ. Допустимое содержание взвешенных веществ m в спускаемых в водоем сточных водах определяется по уравнению (в соответствии с санитарными правилами):

$$aQb + qm = (aQ + q)(b + p),$$

откуда

$$m = p \left(\frac{aQ}{q} + 1 \right) + b,$$

где a — коэффициент смещения, доли единицы; Q, q — расходы соответственно речных и сточных вод, м³/сут; b — содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод, г/м³; m — допустимое содержание взвешенных частиц, г; p — допустимое по санитарным правилам увеличение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования), г/м³.

Необходимую степень очистки по взвешенным веществам $\mathcal{E}_в$ (%) определяют по формуле

$$\mathcal{E}_в = \frac{100(C - m)}{C},$$

где C — количество взвешенных веществ в сточной воде до очистки, г/м³.

Во избежание отложения взвешенных веществ в водоеме их гидравлическая крупность не должна превышать 0,4 мм/с при выпуске в реку и 0,2 мм/с — в водохранилище. Если в сточной воде концентрация взвешенных веществ не удовлетворяет этому требованию, то перед сбросом в водоем ее необходимо отстаивать для осаждения взвешенных частиц указанной гидравлической крупности.

При сбросе стоков, содержащих токсичные вещества, необходимо произвести оценку качества сбрасываемой воды по предельно допустимой концентрации по формуле

$$C_{ст.нр} = (n - 1)(C_{пр} - C_{ф}) + C_{нр},$$

где n — коэффициент разбавления: $n = \frac{(q + aQ)}{q}$; $C_{пр}$ — предельно-допустимая концентрация в воде в зависимости от вида водопользова-

ния, г/м^3 ; C_{ϕ} — концентрация лимитирующего вещества для воды в реке выше места выпуска, г/м^3 .

Определение необходимой степени очистки по БПК_{полн}. При расчете учитывается снижение БПК воды за счет разбавления и биохимических процессов самоочищения сточных вод от органических веществ в летний период.

Баланс биохимической потребности в кислороде смеси речной и сточной вод в расчетной точке (без учета реаэрации) выражается уравнением

$$qL_{\text{ст}} \cdot 10^{-k_{\text{ст}}t} + aQL_p \cdot 10^{-k_p t} = (q + aQ)L_{\text{пр.д}},$$

где $L_{\text{ст}}$ — БПК_{полн} сточной жидкости, которая должна быть достигнута в процессе очистки, г/м^3 ; $k_{\text{ст}}$ и k_p — константы скорости потребления кислорода сточной и речной водой; t — продолжительность пробега воды от места выпуска сточных вод до расчетного пункта, сут; L_p — БПК_{полн} речной воды до места выпуска сточных вод, г/м^3 ; $L_{\text{пр.д}}$ — предельно допустимая БПК_{полн} смеси речной и сточной воды в расчетном створе, г/м^3 .

Отсюда

$$L_{\text{ст}} = \left[\frac{aQ}{(q \cdot 10^{-k_{\text{ст}}t})} \right] \cdot (L_{\text{пр.д}} - L_p \cdot 10^{-k_p t}) + \frac{L_{\text{пр.д}}}{10^{-k_{\text{ст}}t}}.$$

Необходимая степень очистки по БПК \mathcal{E}_6 , %, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_6 = \frac{100(L_a - L_{\text{ст}})}{L_a}.$$

Определение необходимой степени очистки по растворенному кислороду в воде водоема. Допустимую максимальную величину БПК спускаемых в водоем сточных вод определяют по требованиям санитарных правил. При этом минимальное содержание растворенного кислорода должно быть 4 или 6 мг/л после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования). Расчеты производятся для величины БПК_{полн}. Кислородный режим в водоемах определяют для летнего и зимнего периодов. В качестве расчетного принимается наиболее неблагоприятный период.

Существует ряд способов определения допустимой нагрузки сточных вод на водоем по содержанию кислорода. Наиболее простой основан на учете поглощения сточными водами только того растворенного кислорода, который подходит с речной водой к месту спуска сточных вод. При этом считают [3], что если концентрация в речной воде растворенного кислорода не станет ниже 4 мг/л в течение двух суток, то

это снижение не произойдет и в дальнейшем. Это условие выражено уравнением

$$aQO_p - (aQL_p + qL_{ст}) \cdot 0,4 = (aQ + q) \cdot 4,$$

где aQ — расчетный расход речной воды, м³/с, участвующий в смешении; O_p — содержание растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод, г/м³; L_p и $L_{ст}$ — БПК_{полн} соответственно речной и сточной воды, г/м³; 0,4 — коэффициент для пересчета БПК_{полн} в двухсуточное; q — расход сточных вод, м³/с; 4 — наименьшая концентрация растворенного кислорода, которая должна сохраниться в воде водоема, г/м³.

Таким образом, приведенное выше уравнение составлено из условия, что весь наличный запас растворенного кислорода должен быть израсходован на окисление органического загрязнения речной и сточной воды. В результате концентрация растворенного кислорода в общей смеси должна быть равна или 4, или 6 мг/л. Допустимая концентрация сточных вод при этом условии

$$L_{ст} = \left(\frac{2,5aQ}{q} \right) \cdot (O_p - 0,4L_p - 4) - 10.$$

Второй способ расчета позволяет учитывать процессы поглощения кислорода сточными водами из речной воды и поверхностную реэрацию. При расчете кислородного баланса по этому способу, кроме указанных выше величин, учитывают среднюю скорость движения воды в водоеме, температуру воды в реке в расчетный период, константы скорости биохимического поглощения кислорода и скорости поверхностной реэрации. При этом величина L_a является средней и устанавливается по формуле

$$L_a = \frac{(L_p aQ + L_{ст} q)}{(aQ + q)},$$

где L_a — БПК_{полн} в начальный момент процесса потребления кислорода, мг/л.

Определение необходимой степени очистки по температуре воды водоема. Расчет производится в соответствии с санитарными требованиями, ограничивающими повышение летней температуры воды за счет поступающих в водоем сточных вод по уравнению

$$T_{ст} = \left(\frac{aQ}{q} + 1 \right) \cdot T_d + T_p,$$

где $T_{ст}$ — температура сточных вод, при которой соблюдается санитарное требование относительно температуры воды в створе пункта водопользования; T_d — допустимое повышение (не более чем на 3 °С) температуры воды водоема; T_p — максимальная температура воды водоема до выпуска сточных вод в летнее время.

Определение необходимой степени разбавления по запаху, окраске и привкусу. В тех случаях, когда имеются анализы сточных вод с указанием степени разбавления, при которой окраска и запах сточных вод исчезают, достаточно сравнения величины разбавления, которое возможно у расчетного створа.

Определение необходимой степени очистки по общесанитарному показателю вредности. При определении необходимой степени очистки сточных вод по санитарно-токсикологическому, общесанитарному и органолептическому показателям вредности пользуются уравнением материального баланса. При этом установлены ПДК на вещества и показатели [3].

Контрольные вопросы

1. Дайте определение сточным водам.
2. Приведите классификацию сточных вод по природе загрязнений.
3. Приведите классификацию примесей сточных вод.
4. Дайте характеристику первичным и вторичным осадкам.
5. Перечислите основные показатели осадков сточных вод.
6. На сколько групп и по какому признаку делятся сточные воды?
7. Опишите сточные воды, относящиеся к категории хозяйственно-бытовых.
8. Приведите основные санитарно-химические показатели сточных вод.
9. Что понимают под окисляемостью?
10. Какие металлы, содержащиеся в сточных водах, являются токсичными?
11. На какие группы, в зависимости от условий формирования и особенностей отделения, делят осадки? Что в них входит?
12. Приведите основные физико-химические показатели осадков сточных вод.
13. Как определяют необходимую степень очистки сточных вод?
14. На основании чего определяется допустимая нагрузка сточных вод на водоем?

2. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Методы очистки сточных вод можно разделить на механические, физико-химические и биохимические.

В процессе очистки сточных вод образуются осадки, которые подвергаются обезвреживанию, обеззараживанию, обезвоживанию, сушке. Если по условиям сброса сточных вод в водоем требуется более высокая степень очистки, то после сооружений полной биологической очистки сточных вод устраивают сооружения глубокой очистки. В соответствии с «Водным кодексом» [2], сточные воды после очистки перед сбросом в водоем подвергают обеззараживанию с целью уничтожения патогенных микроорганизмов.

Сооружения механической очистки сточных вод предназначены для задержания нерастворенных примесей. К ним относятся:

- решетки;
- сита;
- песколовки;
- отстойники;
- фильтры различных конструкций.

Решетки и сита предназначены для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения. Песколовки служат для выделения примесей минерального состава, главным образом песка. Отстойники задерживают оседающие и плавающие загрязнения сточных вод.

Сооружения механической очистки сточных вод являются предварительной стадией перед биологической очисткой. При механической очистке городских сточных вод удается задержать до 60 % нерастворенных загрязнений.

Физико-химические методы очистки городских сточных вод с учетом технико-экономических показателей используют весьма редко. Эти методы в основном применяют для очистки производственных сточных вод. К методам физико-химической очистки производственных сточных вод относятся реагентная очистка, сорбция, экстракция, эвапорация, дегазация, ионный обмен, озонирование, электрофлотация, хлорирование, электродиализ и др.

Биологические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые минерализуют растворенные органические соединения, являющиеся для микроорганизмов источниками питания. Сооружения биологической очистки условно могут быть разделены на два вида. К первому виду относятся сооружения, в которых процесс биологической очистки протекает в условиях, близких к естественным (поля фильтрации и биологические пруды). В сооружениях второго вида аналогичная очистка осуществляется в искусственно созданных условиях — в аэротенках и биофильтрах.

Глубокая очистка сточных вод может потребоваться, если в сточной воде после полной биологической очистки перед сбросом в водоем необходимо снизить концентрацию взвешенных веществ, величину показателей БПК, ХПК и др. При глубокой очистке сточных вод, главным образом от взвешенных веществ, используются фильтры различных конструкций. Для глубокой очистки от растворенных органических веществ применяют сорбционные, биосорбционные, озонаторные и другие установки. Глубокая очистка сточных вод от соединений азота и фосфора может осуществляться физико-химическими и биологическими методами.

Дезинфекция сточных вод является заключительным этапом их обработки перед сбросом в водоем. Цель дезинфекции — уничтожение патогенных микроорганизмов, содержащихся в сточной воде. Наибольшее распространение получил способ дезинфекции путем введения в воду газообразного хлора. Возможно обеззараживание сточных вод озоном, используются бактерицидные ультрафиолетовые лампы.

Обработка осадков сточных вод, образующихся в процессе очистки, заключается в снижении их влажности и уменьшении объема; в процессе обработки осадки обеззараживаются.

Загрязнения, задерживаемые решетками, вывозят с территорий станций очистки либо дробятся и обрабатываются совместно с осадками из отстойников. Песок из песколовков обезвоживается на песковых площадках и также вывозится или отмывается от органических загрязнений, подсушивается и используется в планировочных работах. Осадок из первичных отстойников и уплотненный осадок из вторичных отстойников (активный ил) направляются в метантенки — герметичные резервуары, в которых под действием анаэробных микроорганизмов минерализуются органические вещества. Вместо метантенков может применяться метод анаэробной стабилизации. Дальнейшее снижение влажности осадков может достигаться в аппаратах механического действия — на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах. Иловые площадки устраиваются для обезвоживания в естественных условиях сброженного в метантенках осадка [3].

2.1. Разработка и обоснование технологических схем очистки сточных вод

Выбор методов очистки сточных вод и определение состава сооружений представляют собой сложную технико-экономическую задачу и зависят от многих факторов: расхода сточных вод и мощности водоема; расчета необходимой степени очистки; рельефа местности; характера грунтов; энергетических затрат и др.

Расчет необходимой степени очистки показывает, какой эффект задержания загрязняющих веществ необходимо достичь на очистных сооружениях. Возможен вариант, что необходимый эффект очистки обеспечивается только сооружениями механической очистки. Такие сооружения могут разрабатываться для поселков городского типа, имеющих водоотводящую систему и расположенных на многоводных реках, при расходе сточных вод не более 10 тыс. м³/сут.

Сооружения биологической очистки обеспечивают снижение показателей загрязнений по взвешенным веществам и по БПК₅ до 15—20 мг/л. В технологических схемах биологической очистки применяются биофильтры при расходах сточных вод 10—20 тыс. м³/сут, аэротенки — при расходах от 50 тыс. до 2—3 млн м³/сут. Если расчет необходимой степени очистки сточных вод определяет более высокий эффект, чем могут обеспечить сооружения биологической очистки, то возникает необходимость глубокой очистки сточных вод.

Технология обработки осадков, образующихся в процессе очистки, определяется в зависимости от их свойств, объемов, наличия площадей.

2.2. Технологические схемы очистки сточных вод

Если при расчете необходимой степени очистки сточных вод концентрация взвешенных веществ должна быть снижена на 40—50 %, а величина показателя БПК_{полн} на 20—30 %, то можно ограничиться механической очисткой. Состав сооружений принимается по схеме, приведенной на рис. 2. Расход сточных вод при такой схеме составляет не более 10 тыс. м³/сут.

Сточная вода, поступающая на очистную станцию, проходит через решетки, песколовки, отстойники и обеззараживается при использовании хлора. Отбросы с решеток направляются в дробилку и в виде пульпы сбрасываются в канал перед решеткой или за ней. Возможен вариант вывоза отбросов на полигон. Осадок из песколовки перекачивается на песковые площадки. Из отстойников осадок направляется в метантенки с целью окисления органических веществ. Для обезвоживания сброженного осадка используются иловые площадки, дренажная вода с этих площадок перекачивается в канал перед контактными резервуарами (рис. 2).

При больших расходах сточных вод — от 50 тыс. м³/сут до 2—3 млн м³/сут и более — применяется технологическая схема, приведенная на рис. 3.

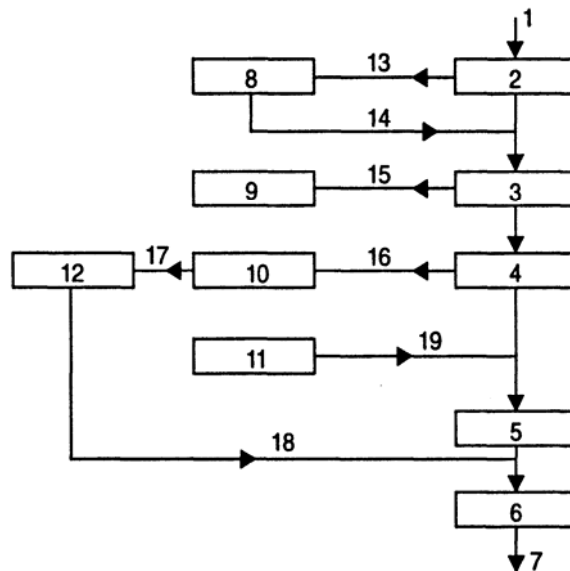


Рис. 2. Технологическая схема очистной станции с механической очисткой сточных вод:
 1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — отстойники; 5 — смесители;
 6 — контактный резервуар; 7 — выпуск; 8 — дробилки; 9 — песковые площадки;
 10 — метантенки; 11 — хлораторная; 12 — иловые площадки; 13 — отбросы;
 14 — пульпа; 15 — песчаная пульпа; 16 — сырой осадок; 17 — сброженный осадок;
 18 — дренажная вода; 19 — хлорная вода

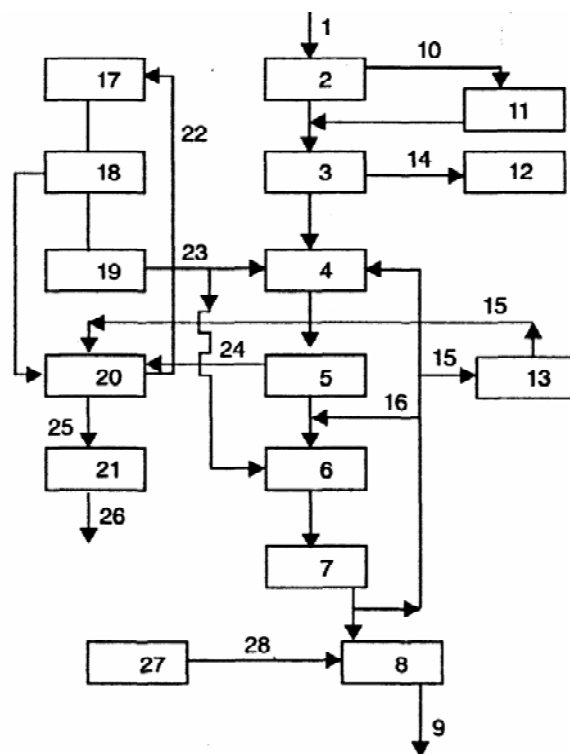


Рис. 3. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках: 1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — преаэраторы; 5 — первичные отстойники; 6 — аэротенки; 7 — вторичные отстойники; 8 — контактный резервуар; 9 — выпуск; 10 — отбросы; 11 — дробилки; 12 — песковые площадки; 13 — илоуплотнители; 14 — песок; 15 — избыточный активный ил; 16 — циркуляционный активный ил; 17 — газгольдеры; 18 — котельная; 19 — машинное здание; 20 — метантенки; 21 — цех механического обезвоживания сброженного осадка; 22 — газ; 23 — сжатый воздух; 24 — сырой осадок; 25 — сброженный осадок; 26 — на удобрение; 27 — хлораторная установка; 28 — хлорная вода [4]

Механическая очистка сточных вод производится на решетках, в песколовках и отстойниках. Сырой осадок из первичных отстойников направляется в метантенки. Биологическая очистка сточных вод по этой схеме осуществляется в аэротенке. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов активного ила в аэротенк должен поступать воздух, который подается воздуходувками, установленными в машинном здании. Смесь очищенной сточной воды и активного ила из аэротенка направляется во вторичный отстойник, где осаждаются активный ил и основная его масса возвращается в аэротенк. Очищенная сточная вода обеззараживается в контактном резервуаре и сбрасывается в водоем. Сброженный осадок из метантенков направляется для механического обезвоживания на вакуум-фильтры или фильтр-прессы. Обезвоженный осадок может подвергаться термической сушке и использоваться в качестве удобрения (рис. 3).

На рис. 4 приведена технологическая схема биологической очистки сточных вод на биофильтрах. Такие схемы используются для расходов сточных вод порядка 10—20 тыс. м³/сут.

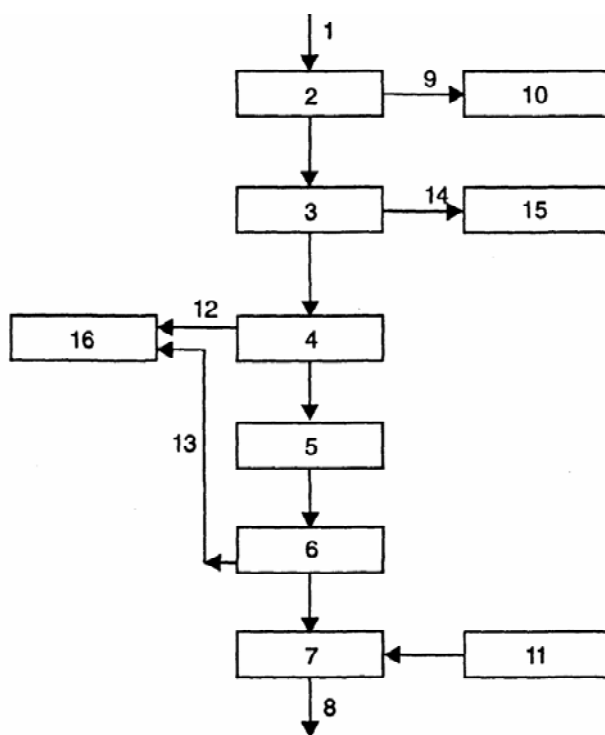


Рис. 4. Технологическая схема очистной станции

с биологической очисткой сточных вод на биофильтрах:

- 1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — первичные отстойники;
 5 — биофильтры; 6 — вторичные отстойники; 7 — контактный резервуар; 8 — выпуск;
 9 — отбросы; 10 — дробилки; 11 — хлораторная установка; 12 — осадок из первичных отстойников; 13 — биопленка из вторичных отстойников; 14 — песок;
 15 — бункер песка; 16 — иловые площадки [4]

После сооружений механической очистки вода поступает на био-фильтры и затем во вторичные отстойники, в которых задерживается биологическая пленка (биопленка), выносимая водой из биофильтров; далее вода направляется в контактный резервуар, дезинфицируется и сбрасывается в водоем.

Физико-химическая очистка городских сточных вод применяется для очистки расходов 10—20 тыс. м³/сут. На рис. 5 приведена технологическая схема физико-химической очистки сточных вод.

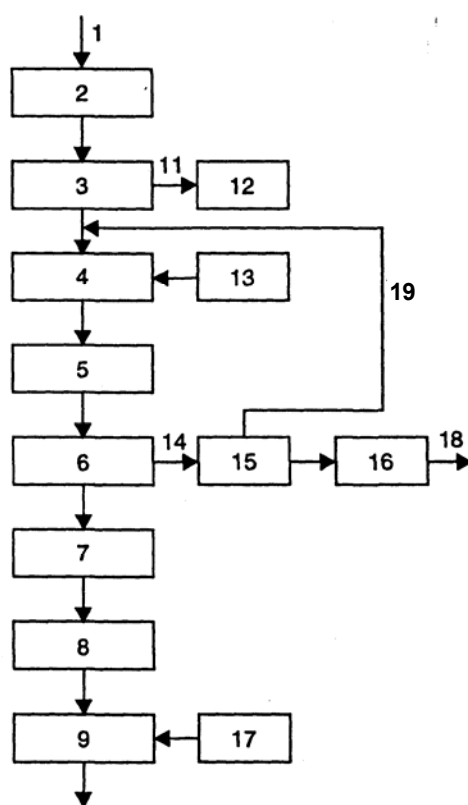


Рис. 5. Технологическая схема очистной станции с физико-химической очисткой сточных вод:

- 1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — смеситель;
 5 — камера хлопьеобразования; 6 — горизонтальные отстойники; 7 — барабанные сетки;
 8 — фильтры; 9 — контактный резервуар; 10 — выпуск в водоем;
 11 — песок; 12 — бункер песка; 13 — приготовление и дозирование реагентов;
 14 — осадок; 15 — осадкоуплотнители; 16 — центрифуги;
 17 — хлораторная; 18 — шлам; 19 — отстоенная вода [4]

Вода, прошедшая решетки и песколовки, направляется в смеситель, куда подаются растворы реагентов — минеральных коагулянтов и органических флокулянтов. После камер хлопьеобразования осадки отделяются от очищенной воды в горизонтальных отстойниках. Для глубокой очистки от взвешенных веществ пользуются барабанные сетки и двухслойные фильтры или фильтры с восходящим потоком воды. Обеззара-

женная хлором вода сбрасывается в водоем. Осадок из отстойников уплотняется и обезвоживается на центрифугах.

Приведенные технологические схемы широко распространены как в отечественной, так и зарубежной практике, при этом имеются станции, работающие по измененным схемам.

Технологические схемы очистки производственных сточных вод могут применяться при использовании самых разнообразных методов очистки, включая физико-химические методы, биологический метод и т. д. Это зависит от специфики загрязняющих сточные воды веществ, их концентрации и ПДК сброса в городскую канализацию [3, 4].

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные методы очистки сточных вод.
2. Назовите предназначение и перечислите сооружения механической очистки.
3. Перечислите методы физико-химической очистки производственных сточных вод.
4. Назовите виды сооружений биологической очистки.
5. При каком расходе сточных вод применяется схема, представленная на рис. 2?
6. Какая стадия очистки сточных вод является предварительной?
7. К какой группе методов очистки относятся ионный обмен, экстракция, электрофлотация и сорбция?
8. В каких случаях требуется глубокая очистка сточных вод?
9. Какой этап является заключительным в очистке вод, перед сбросом в водоем?
10. При каком расходе городской сточной воды применяется физико-химическая очистка?
11. Для чего используются иловые площадки?

3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

3.1. Общие сведения

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^{-2} см/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 фильтрующе-

го 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.

В ряде случаев механическая очистка является единственным и достаточным способом для извлечения из производственных сточных вод механических загрязнений и подготовки их к повторному использованию в системах оборотного водоснабжения. Однако для некоторых производств требуется вода с меньшим содержанием взвешенных веществ, чем содержание, обеспечиваемое механической очисткой, поэтому необходима дополнительная физико-химическая и биологическая очистка, а также еще более глубокая очистка производственных сточных вод. При повторном использовании биологически очищенной сточной воды в соответствии с санитарными нормами требуется применять хлорирование [1].

3.2. Способы и сооружения механической очистки сточных вод

В городских сточных водах содержится большое количество нерастворимых и малорастворимых веществ с размером частиц более 0,1 мкм, которые образуют с водой дисперсные системы — суспензии и эмульсии. Такие системы являются кинетически неустойчивыми и в определенных условиях способны разрушаться — выпадать в осадок или всплывать на поверхность воды.

Механическая очистка — это выделение из сточных вод находящихся в них нерастворенных грубодисперсных примесей, имеющих минеральную и органическую природу. Для этого применяются следующие методы:

– **процеживание** — задержание наиболее крупных загрязнений и частично взвешенных веществ на решетках и ситах;

– **отстаивание** — выделение из сточных вод взвешенных веществ под действием силы тяжести на песколовках (для выделения минеральных примесей), отстойниках (для задержания более мелких оседающих и всплывающих примесей), а также нефтеловушках, масло- и смолоуловителях. Разновидностью этого метода является центробежное отстаивание, используемое в гидроциклонах и центрифугах;

– **фильтрация** — задержание очень мелкой суспензии во взвешенном состоянии на сетчатых и зернистых фильтрах;

При неравномерном образовании производственных сточных вод перед подачей на очистные сооружения их усредняют по расходу и концентрации в усреднителях различной конструкции.

Метод отстаивания вместе со сбрасыванием осадков используется в комбинированных сооружениях для очистки небольших количеств сточной воды — септиках, двухъярусных отстойниках и осветлителях-перегнвателей.

В настоящее время как самостоятельный метод механическую очистку применяют редко. Такая возможность существует, если при использовании только механической очистки по условиям сброса в водоем обеспечивается необходимое качество воды (для производственных сточных вод — повторный возврат в технологический процесс). В основном же механическую очистку используют как предварительный этап перед биологической очисткой или в качестве доочистки стоков.

3.2.1. Решетки

Крупноразмерные отбросы, содержащиеся в сточных водах (остатки пищи, бумага, тряпки, упаковочные материалы и др.), в процессе транспортирования по сетям адсорбируют значительное количество жира, органических соединений и песка. Образуются многокомпонентные органоминеральные составляющие, которые способны значительно осложнить работы песколовков, отстойников, трубопроводов и сооружений по стабилизации осадка. Количество таких крупноразмерных загрязнений, вносимых от одного жителя за сутки, составляет примерно 20 г.

Решетки применяются для задержания из городских сточных вод крупных и волокнистых материалов и являются сооружениями предварительной очистки. Основным элементом решеток является рама с ря-

дом металлических стержней, расположенных параллельно друг другу и создающих плоскость с прозорами, через которую процеживается вода. Для устройства решеток применяют стержни прямоугольной, прямоугольной с закругленной частью, круглой и другой форм (рис. 6).

Стержни прямоугольной формы применяют чаще других. Толщина стержней обычно равна 6—10 мм, ширина прозоров между стержнями обычно принимается равной 16 мм. Решетки с прозорами шириной более 16 мм применяются в насосных станциях и на очистных сооружениях дождевых стоков.

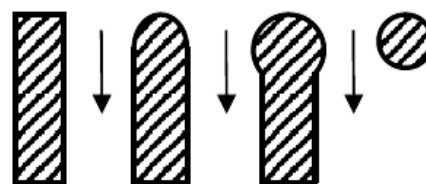


Рис. 6. Профили стержней [7]

Для решеток новых конструкций отечественного и зарубежного производства толщина стержней (пластин) составляет 3—10 мм, ширина прозоров 3—16 мм.

Решетки устанавливаются в расширенных каналах, называемых *камерами*. Движение воды происходит самотеком. Решетки подразделяются на вертикальные и наклонные, а также на подвижные и неподвижные. Решетки очищаются граблями. Для удобства съема загрязнений решетки часто устанавливают под углом к горизонту $\alpha = 60—70^\circ$ (рис. 7).

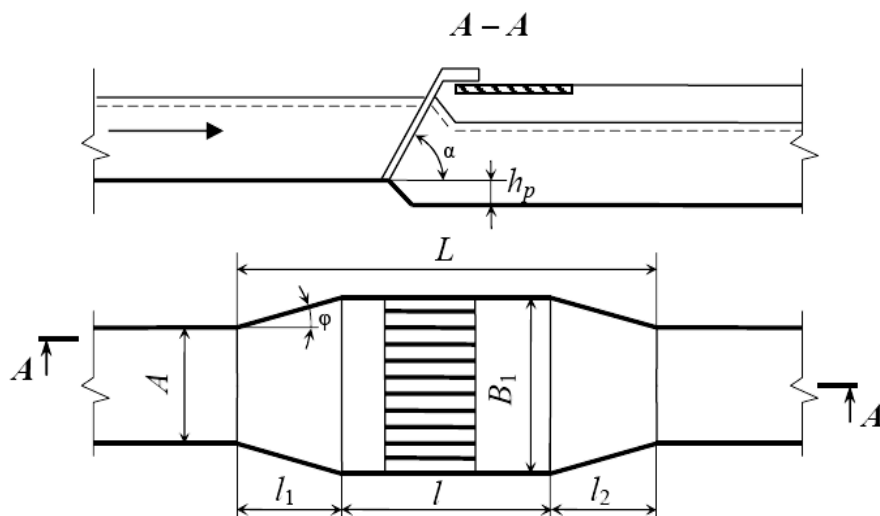


Рис. 7. Решетка с ручной очисткой [7]

При большом количестве улавливаемых отбросов (более $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$) их удаление и подъем из воды механизмуется (рис. 8). Задержанные загрязнения подвергаются дроблению на специальных дробилках, а затем или сбрасываются в поток воды, или транспортируются в метантенки на сбраживание.

Размер решеток определяется из условия обеспечения в прозорах решеток оптимальной скорости $0,8—1,0 \text{ м/с}$ при максимальном расходе

сточных вод. При большей скорости уловленные загрязнения «продавливаются» через решетки. При меньшей скорости в уширенной части канала перед решеткой начинают выпадать в осадок крупные фракции песка.

Исходя из общей ширины решеток, подбирается необходимое количество рабочих решеток, дополнительно устанавливают 1—2 резервные решетки и предусматривают обводной канал для пропуска воды в случае аварийного засора решеток.

Решетки размещают в отапливаемых и вентилируемых помещениях. В месте установки на дне камеры выполняется уступ, равный величине потерь напора в решетке h_p (рис. 6). Между решетками для их обслуживания предусматривают проходы шириной не менее 1,2 м — для механических решеток и 0,7 м — для решеток с ручной очисткой.

Решетки с механизированной очисткой имеют марки МГ (механические грабли), РМУ (решетки механизированные универсальные), РМН (решетки механизированные наклонные), РДГ (решетка дуговая гидравлическая), РСФ (решетка ступенчатая механическая), RS (решетка ступенчатая механическая фирмы MEVA).

Дробление отбросов. Количество отбросов, задерживаемых на решетках, — 16—50 л на 1000 м³ воды, их влажность равна 80 %, зольность — 7—8 %, плотность — около 750 кг/м³.

Удельное количество задерживаемых отбросов зависит от ширины прозоров решеток (табл. 5).

Таблица 5. Удельное количество задерживаемых отбросов

Ширина прозоров, мм	16—20	25—30	40—50	60—80	90—125
Удельное количество отбросов, л/(год · чел.)	8	3	2 3	1,6	1.2

Для дробления отбросов, извлеченных из сточной воды, применяют молотковые дробилки, которые работают при подаче в них технической воды (после первичных или вторичных отстойников) из расчета 40 м³ на 1 т отбросов.

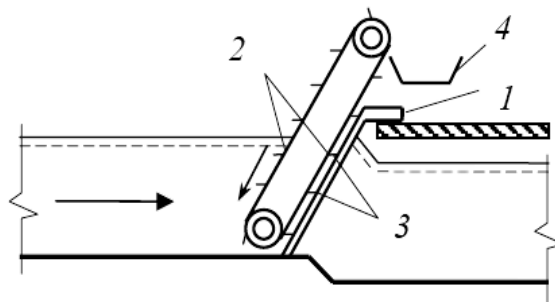


Рис. 8. Решетка с механическими граблями:
1 — решетка; 2 — бесконечная цепь;
3 — грабли; 4 — конвейер [7]

3.2.2. Решетки-дробилки

Существуют конструкции решеток, совмещенные с дробилками — *решетки-дробилки* (комминуторы), в которых измельчение уловленных отбросов происходит под водой. Отечественная промышленность выпускает решетки-дробилки марки РД и круглые решетки-дробилки марки КРД.

Решетки-дробилки типа РД состоят из вращающегося щелевого барабана с режущими пластинами и резцами, неподвижного корпуса с трепальными гребнями и приводного механизма (рис. 9). Измельчение отбросов происходит при взаимодействии пластин и резцов с трепальными гребнями корпуса.

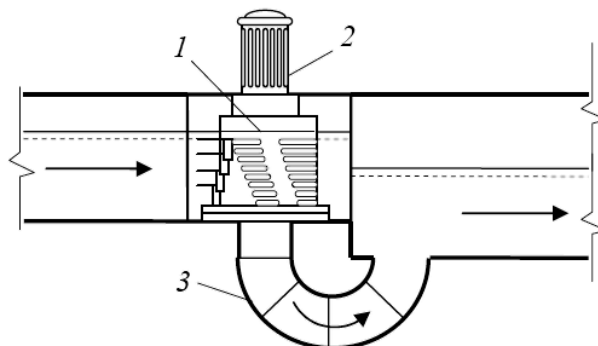


Рис. 9. Решетка-дробилка РД:
1 — щелевой барабан; 2 — приводной механизм;
3 — отводной дюкер [7]

3.2.3. Песколовки

Содержащиеся в сточной воде нерастворимые вещества (например, песок, шлак, стеклянная крошка и др.) крупностью 0,15—0,25 мм могут накапливаться в отстойниках, метантенках, снижая тем самым производительность этих сооружений. Осадок, содержащий песок, плохо транспортируется по трубопроводам.

Для предварительного выделения из сточных вод нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и др.) под действием силы тяжести применяются песколовки. Песколовки предусматриваются в составе очистных сооружений при производительности свыше 100 м³/сут. Количество песколовок или отделений должно быть не менее двух, причем все рабочие.

По направлению движения воды песколовки подразделяются:

- на горизонтальные;
- вертикальные;
- с вращательным движением жидкости.

Последние подразделяются:

- на тангенциальные;
- аэрируемые.

При объеме улавливаемого осадка до 0,1 м³/сут допускается удалять осадок вручную, при большем объеме выгрузка осадка механизмируется.

Горизонтальные песколовки. Представляют собой удлиненные в плане сооружения с прямоугольным поперечным сечением (рис. 10).

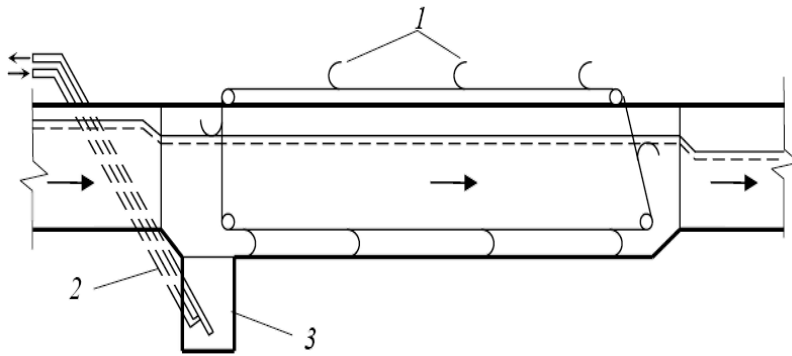


Рис. 10. Горизонтальная песколовка:
1 — цепной скребковый механизм; 2 — гидроэлеватор; 3 — бункер [7]

Важнейшими элементами песколовки являются входной и выходной каналы, бункер для сбора осадка, располагаемый в начале песколовки. Кроме этого, в песколовке имеются механизм для перемещения осадка в бункер и гидроэлеватор для удаления песка. Механизмы применяются двух типов: цепные и тележечные. Цепные механизмы состоят из двух бесконечных цепей, расположенных по краям песколовки, с закрепленными на них скребками (рис. 10). Механизмы тележечного типа состоят из тележки, перемещаемой над песколовкой по рельсам вперед и назад, на которой подвешивается скребок.

Кроме механизмов, для перемещения осадка применяются гидромеханические системы, которые представляют собой смывные трубопроводы со sprysками, уложенными вдоль днища в лотках. Разновидностью этого типа песколовки является песколовка с *круговым движением жидкости*. Она представляет собой круглый резервуар конической формы с периферийным лотком для протекания сточной воды (рис. 11). Весь улавливаемый осадок проваливается через щель в осадочную часть. Для выгрузки осадка достаточно гидроэлеватора.

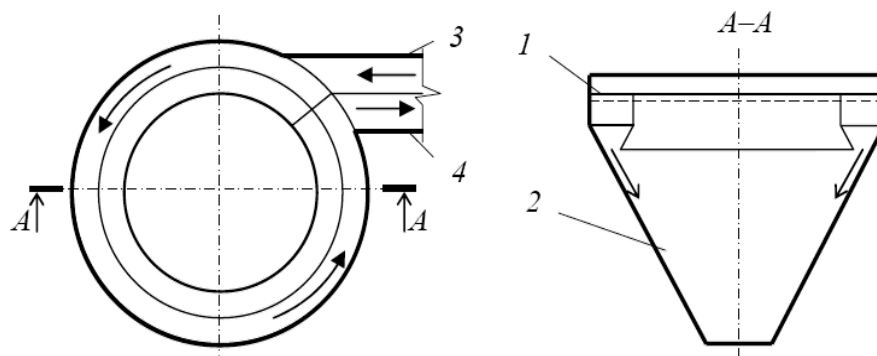


Рис. 11. Горизонтальная песколовка с круговым движением воды:
1 — кольцевой желоб; 2 — осадочный конус; 3 — подводящий канал; 4 — отводящий канал [7]

Оптимальная скорость движения воды в горизонтальных песколовках $v = 0,15—0,3$ м/с, гидравлическая крупность задерживаемого песка $u_0 = 18—24$ мм/с.

Горизонтальные песколовки применяют при расходах стоков свыше $10\,000\text{ м}^3/\text{сут}$, а горизонтальные песколовки с круговым движением — до $70\,000\text{ м}^3/\text{сут}$.

Вертикальные песколовки. Используются в полураздельных системах и на станциях очистки поверхностных вод, поскольку они удобны для накопления большого количества осадка. Максимальный расход сточных вод для вертикальных песколовков составляет $10\,000\text{ м}^3/\text{сут}$.

Песколовки имеют цилиндрическую форму с подводом воды по касательной с двух сторон, а отводом — кольцевым лотком (рис. 12).

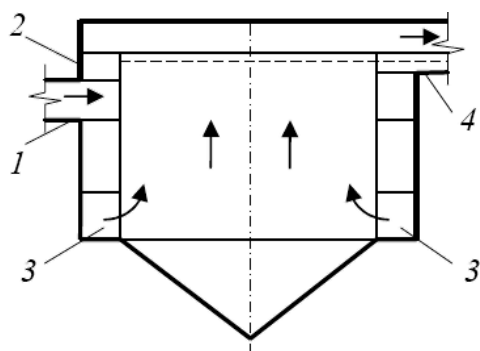


Рис. 12. Вертикальная песколовка с вращательным движением:
1 — подводный канал;
2 — сборный кольцевой лоток;
3 — ввод воды в рабочую зону;
4 — отводной канал [7]

Недостаток этих песколовков заключается в большой продолжительности пребывания воды в сооружении.

Расчет песколовков производится, исходя из условия, что скорость восходящего потока жидкости меньше гидравлической крупности песчинок улавливаемого песка, т. е. $v < u_0$. Гидравлическая крупность песка такая же, как у горизонтальных песколовков.

Тангенциальные песколовки. Они имеют круглую в плане форму и касательный подвод воды, который обеспечивает винтообразное движение жидкости по касательной к стенкам песколовки (рис. 13). На периферии вода движется вниз, а в центре — вверх. Область применения тангенциальных песколовков — при расходах сточных вод до $75\,000\text{ м}^3/\text{сут}$.

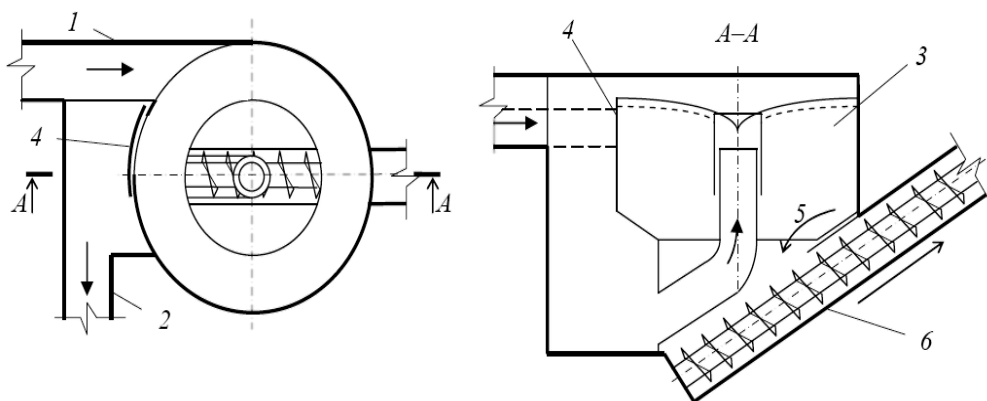


Рис. 13. Тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой:
1 — подводный канал; 2 — отводящий канал; 3 — рабочая часть;
4 — регулируемый водослив; 5 — песок; 6 — шнековый подъемник [7]

Аэрируемые песколовки. Имеют удлиненную форму в плане и прямоугольное, полигональное или близкое к эллиптическому поперечное сечение (рис. 14). Вдоль одной из стенок песколовки прокладывается аэратор из дырчатых труб на глубине 2/3 от общей глубины. Благодаря этому поток приобретает вращательное движение с перемещением его у дна от одной стенки к другой. Суммирование поступательного и вращательного движений приводит к винтовому движению воды вдоль песколовки. Продольная скорость составляет 0,05—0,10 м/с, вращательная скорость — 0,3 м/с.

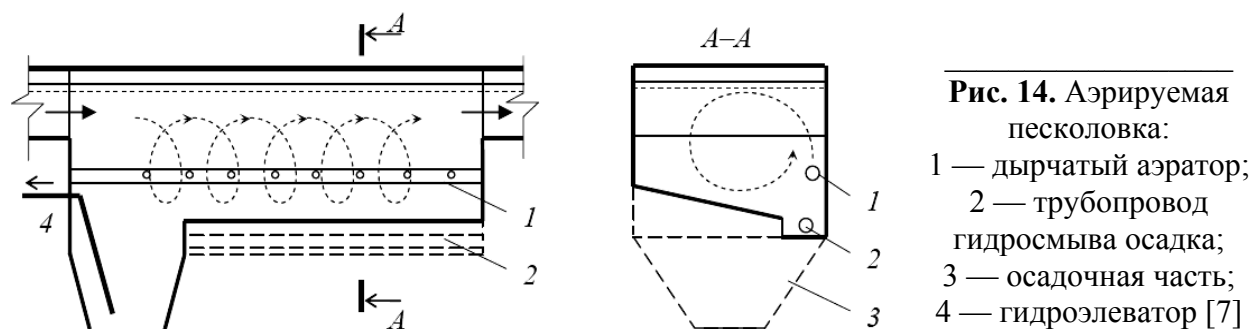


Рис. 14. Аэрируемая песколовка:

- 1 — дырчатый аэратор;
- 2 — трубопровод гидросмыва осадка;
- 3 — осадочная часть;
- 4 — гидроэлеватор [7]

Аэрируемые песколовки используются при расходах свыше 20 000 м³/сут. К достоинствам этой песколовки относится устойчивость работы при изменениях расхода и хорошая отмывка песка от органики.

Также аэрируемые песколовки одновременно могут использоваться для улавливания всплывающих загрязнений (жиров, нефтепродуктов и др.). Для этого вдоль всей песколовки полупогружной перегородкой отделяется специальная зона для выделения и накопления всплывающих загрязнений.

3.2.4. Отстойники

Отстаивание является самым простым, наименее трудоемким и дешевым методом выделения из сточной воды грубодиспергированных примесей, плотность которых отличается от плотности воды. Под действием силы тяжести загрязнения оседают на дно или всплывают на поверхность.

Классификация и виды отстойных сооружений. Отстойные сооружения, используемые на очистных сооружениях канализации, классифицируются:

1) по характеру работы — подразделяются на периодического действия (контактные) и непрерывного действия (проточные):

2) по технологической роли — делятся на первичные (для осветления сточной воды), вторичные (для отстаивания воды, прошедшей био-

логическую очистку) и третичные отстойники (для доочистки), илоуплотнители, осадкоуплотнители;

3) по направлению движения потока воды — бывают вертикальные, горизонтальные, радиальные (разновидности: с центральным, периферийным и с радиальным подвижным впуском воды) и наклонные тонкослойные (в зависимости от схемы движения воды и осадка бывают прямоточными, противоточными и перекрестными);

4) по способу обеспечения флокуляции взвешенных веществ — активная флокуляция (достигается путем аэрации, механического перемешивания или реагентной обработкой) и пассивная флокуляция (разновидности: в свободном объеме или в контактной среде);

5) по способу выгрузки осадка — сооружения со скребковыми механизмами, илососами и гидросмывом.

ПЕРВИЧНЫЕ ОТСТОЙНИКИ. Первичные отстойники располагаются в технологической схеме непосредственно после песколовок и предназначены для выделения взвешенных веществ из сточной воды.

Конструктивные типы первичных отстойников.

Горизонтальные отстойники. Применяются на очистных сооружениях канализации производительностью 15—100 тыс. м³/сут. Представляют собой прямоугольные в плане резервуары, разделенные продольными перегородками на несколько отделений. Поток воды в них движется горизонтально (рис. 15).

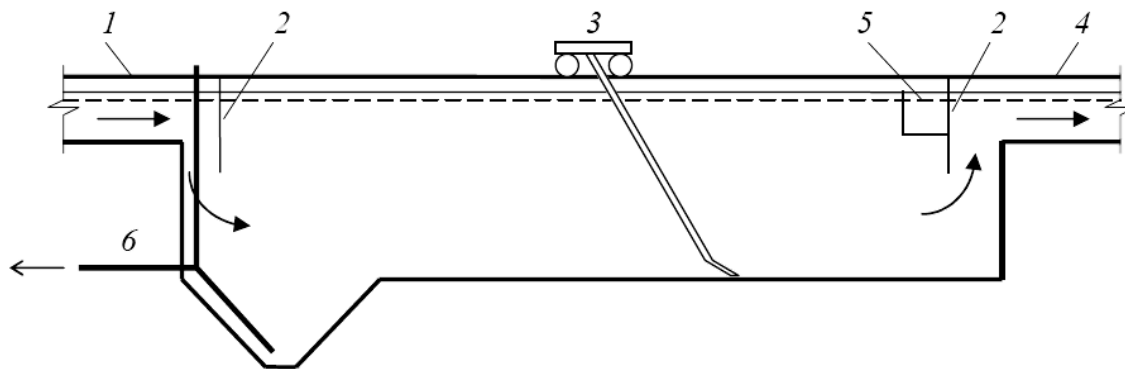


Рис. 15. Горизонтальный отстойник:

- 1 — подводящий лоток; 2 — полупогруженная доска; 3 — скребковая тележка;
4 — отводящий лоток; 5 — жиросборный лоток; 6 — удаление осадка [7]

Выпадающий по длине отстойника осадок перемещается скребком в расположенные на входе прямки, откуда под гидростатическим давлением выдавливается в самотечный трубопровод. Всплывающие нефтепродукты и жировые вещества собираются в конце сооружения в жиросборный лоток, из которого также самотеком отводятся на перекачку.

К достоинствам горизонтальных отстойников относятся: высокий эффект осветления по взвешенным веществам (50—60 %) и возмож-

ность их блокирования с аэротенками. Недостатки — повышенный расход железобетона по сравнению с круглыми отстойниками и неудовлетворительная работа механизмов для сгребания осадка, особенно в зимний период.

Вертикальные отстойники. Вертикальные отстойники применяются на очистных сооружениях производительностью 2—20 тыс. м³/сут. Представляют собой круглые в плане резервуары с коническим днищем, в которых поток осветляемой воды движется в вертикальном направлении. Вертикальные отстойники бывают с *центральной впуском* воды, с *нисходяще-восходящим движением* воды, с *периферийным впуском* воды.

В отстойниках с центральной впуском (рис. 16) сточная вода опускается вниз по центральной раструбной трубе, отражается от конусного отражательного щита и поступает в зону осветления. Происходит флокуляция частиц, причем те из них, гидравлическая крупность которых u_0 превосходит скорость восходящего вертикального потока $u_{\text{верт}}$, выпадают в осадок. Для городских сточных вод скорость восходящего потока составляет 0,5—0,7 мм/с. Осветленная вода собирается периферийным сборным лотком, всплывающие жировые вещества собираются кольцевым лотком. Эффект осветления в таких отстойниках невысок и составляет не больше 40 %.

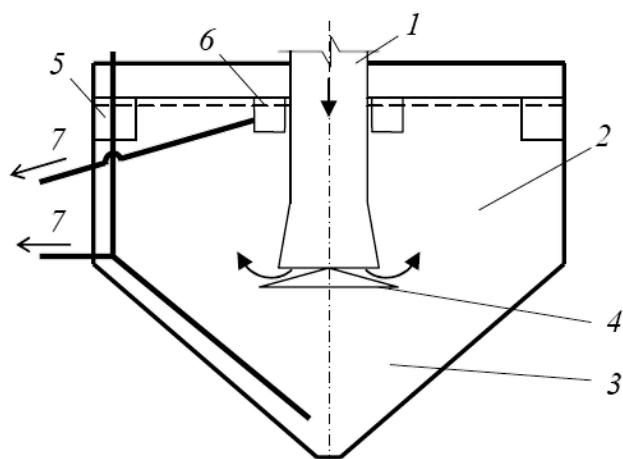


Рис. 16. Вертикальный отстойник с центральной впуском:
 1 — центральная труба;
 2 — зона отстаивания;
 3 — осадочная часть;
 4 — отражательный щит;
 5 — периферийный сборный лоток;
 6 — кольцевой лоток;
 7 — удаление осадка [7]

Более совершенными являются вертикальные отстойники с нисходяще-восходящим движением воды (рис. 17). Сточная вода поступает в центральную часть отстойника и через зубчатый водослив распределяется по площади зоны осветления, где происходит нисходящее движение потока воды. Основная масса взвешенных веществ успевает выпасть до поступления воды в кольцевую зону, где происходит доосветление воды и сбор ее периферийным лотком. Эффект осветления в таких отстойниках составляет 60—65 %.

Разновидностью вертикальных отстойников являются квадратные в плане четырехбункерные отстойники с центральной впуском воды и сбором осветленной воды периферийным лотком.

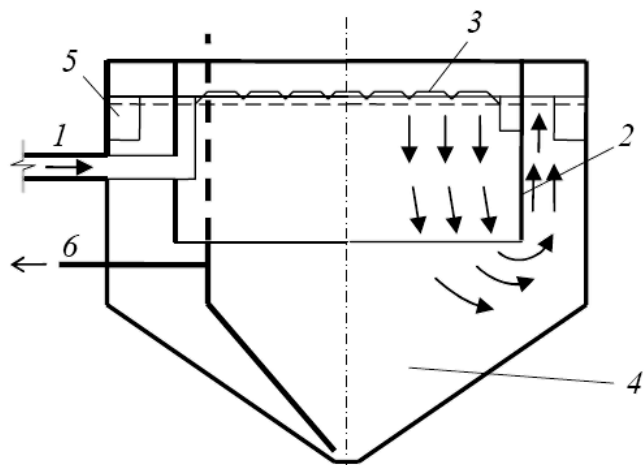


Рис. 17. Вертикальный отстойник с нисходяще-восходящим потоком:
 1 — подающий трубопровод;
 2 — кольцевая перегородка;
 3 — зубчатый водослив;
 4 — осадочная часть;
 5 — периферийный сборный лоток;
 6 — удаление осадка [7]

Достоинствами вертикальных отстойников является простота конструкции и удобство в эксплуатации, недостатком — большая глубина сооружений.

Радиальные отстойники. Имеют круглую в плане форму резервуаров, в которых сточная вода подается в центр отстойника и движется радиально от центра к периферии (рис. 18).

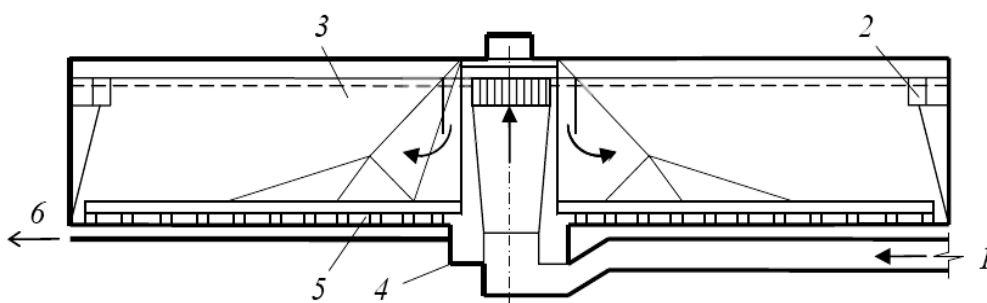


Рис. 18. Радиальный первичный отстойник:
 1 — подача сточной воды; 2 — сборный лоток; 3 — отстойная зона;
 4 — иловый приямок; 5 — скребковый механизм; 6 — удаление осадка [7]

Скорость изменяется от максимума в центре до минимального значения на периферии. Выпавший осадок перемещается в иловый приямок скребками, расположенными на вращающейся ферме. Частота вращения фермы с илоскребами составляет $2\text{—}3\text{ ч}^{-1}$.

Диаметр типовых радиальных отстойников составляет $18\text{—}50\text{ м}$. Они используются на очистных станциях производительностью свыше $20\text{ тыс. м}^3/\text{сут}$. Эффект осветления достигает $50\text{—}55\%$. К достоинствам радиальных отстойников относится простота эксплуатации и низкая удельная материалоемкость, к недостаткам — уменьшение коэффициента объемного использования из-за высоких градиентов скорости в центральной части. Устранение такого недостатка возможно в отстойниках с периферийным впуском сточной воды (рис. 19).

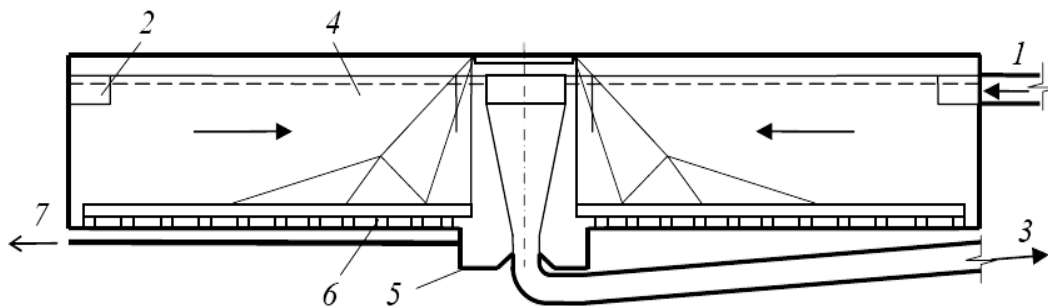


Рис. 19. Радиальный отстойник с периферийным впуском:

- 1 — подача сточной воды; 2 — водораспределительный желоб;
 3 — отводящий трубопровод; 4 — отстойная зона; 5 — иловый приямок;
 6 — скребковый механизм; 7 — удаление осадка [7]

Сточная вода поступает в водораспределительный желоб, расположенный на периферии отстойника, затем направляется в центральную зону и далее к водоотводящему кольцевому в центральную зону и далее к водоотводящему кольцевому желобу. Движение воды происходит более равномерно по всему живому сечению отстойника, при этом местные завихрения практически отсутствуют.

В отстойниках с *вращающимся водораспределительным и водосборным устройством* (рис. 20) основная масса воды находится в состоянии покоя. Подача исходной воды и отвод осветленной воды производятся с помощью свободно вращающегося желоба, разделенного перегородкой на две части. С внутренней стороны лоток ограничен перегородкой, снизу — щелевым днищем и снаружи — распределительной решеткой с вертикальными щелями, снабженной струенаправляющими лопатками.

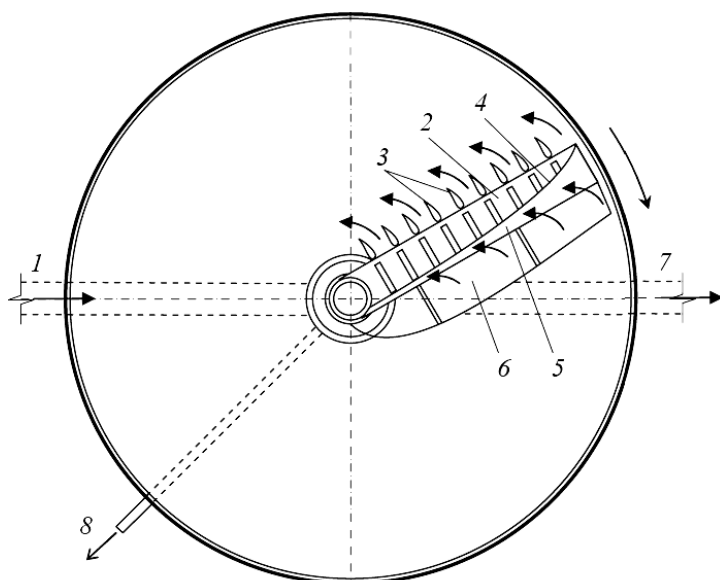


Рис. 20. Отстойник с вращающимся сборно-распределительным устройством:

- 1 — подача сточной воды;
 2 — щелевое днище;
 3 — струенаправляющие лопатки;
 4 — продольная перегородка;
 5 — водосборный лоток;
 6 — направляющий козырек;
 7 — отвод осветленной воды;
 8 — удаление осадка [7]

Вращение желоба происходит под действием реактивной силы вытекающей воды, причем во многих случаях этой силы достаточно не только для вращения собственно лотка, но и скребковой фермы.

Диаметры типовых отстойников с вращающимся сборно-распределительным устройством составляют 18 и 24 м.

Интенсификация первичного осветления сточных вод. Необходимость увеличения эффективности первичного осветления сточной воды возникает по следующим причинам: во-первых, при режиме экономного водопотребления, когда концентрация взвешенных веществ может достигать 300—400 мг/л, необходимый эффект осветления требуется равным 70—75 %; во-вторых, в многокомпонентных городских сточных водах часто возникает трудноосаждаемая тонкодисперсная взвесь.

Различают следующие основные группы методов для интенсификации работы отстойников:

- 1) гидродинамические: совершенствование гидравлической работы сооружений и условий седиментации, а также тонкослойное отстаивание;
- 2) технологические: регулирование уровня осадка и кислородного режима, оптимизация исходной концентрации загрязнений и др.;
- 3) химические: корректировка рН, коагуляция, флокуляция и сорбция;
- 4) физические: флотация, магнитное поле, ультразвук и др.

Из всех этих методов наибольшее распространение получило тонкослойное отстаивание и метод использования биофлокулирующих свойств активного ила.

Отстаивание в тонком слое. Метод состоит в установке в отстойниках блоков из тонкослойных элементов (плоские или рифленые пластины, трубчатые элементы). Повышение эффекта осветления достигается за счет уменьшения времени осаждения взвеси и улучшения гидродинамики осаждения. Существуют три схемы расположения модулей в отстойнике (рис. 21): при перекрестной схеме выделенный осадок движется перпендикулярно движению сточной воды, а при прямоточной и противоточной — соответственно по ходу движения сточных вод или в обратном направлении.

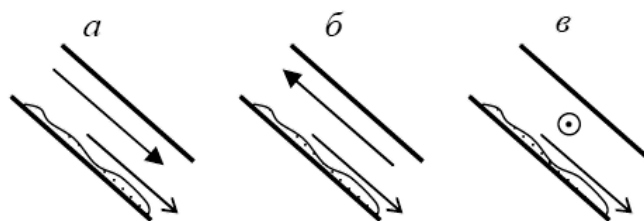


Рис. 21. Схемы движения воды в тонком слое: а — прямоточная; б — противоточная; в — перекрестная; → движение воды; → движение осадка [7]

Тонкослойное отстаивание применяется при необходимости сокращения объема очистных сооружений при неизменном эффекте осветления, или, наоборот, при необходимости повышения эффективности существующих отстойников. В первом случае тонкослойные отстойники являются самостоятельными сооружениями, во втором — существующие отстойники дополняются тонкослойными модулями, располагаемыми в модифицируемом отстойнике.

Тонкослойные блоки могут встраиваться в горизонтальные (рис. 22), вертикальные или радиальные отстойники. Угол наклона пластин блоков составляет $45\text{--}60^\circ$, высота яруса — $2,5\text{--}20$ см. Пластины выполняются в основном из пластмассы.

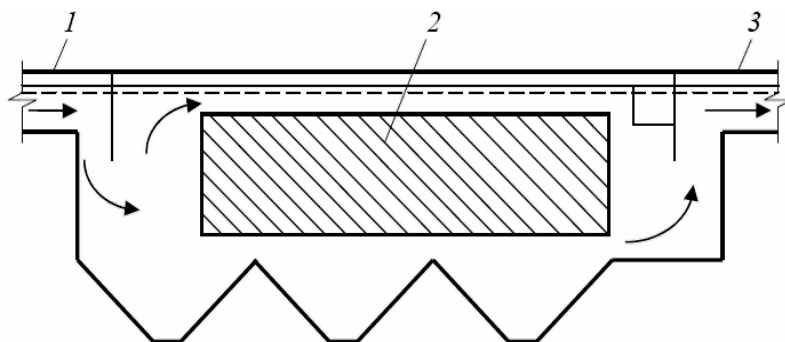


Рис. 22. Горизонтальный отстойник с тонкослойными блоками:
1 — подача стоков; 2 — тонкослойный блок; 3 — отвод осветленной воды [7]

Биофлокуляция. Биофлокуляция — это метод интенсификации процесса отстаивания, заключающийся в добавлении к сточной воде активного ила (био пленки) и аэрации получившейся смеси. При этом эффективность осветления увеличивается до $60\text{--}80\%$, а снижение БПК — на $40\text{--}50\%$. Биофлокуляция осуществляется в таких сооружениях, как преаэраторы и биофлокуляторы.

Преаэраторы выполняются в виде отдельных, встроенных или пристроенных к первичным отстойникам сооружений. Предварительная аэрация увеличивает эффект осветления на $10\text{--}15\%$.

Биофлокуляторы создаются на базе горизонтальных, вертикальных и радиальных отстойников. Для этого в них оборудуются аэраторы, благодаря чему в отстойной зоне образуется взвешенный слон, способствующий осветлению фильтрующейся через него сточной воды.

На рис. 23 изображен блок преаэратор — горизонтальный отстойник, на рис. 24 — вертикальный отстойник со встроенной камерой флокуляции.

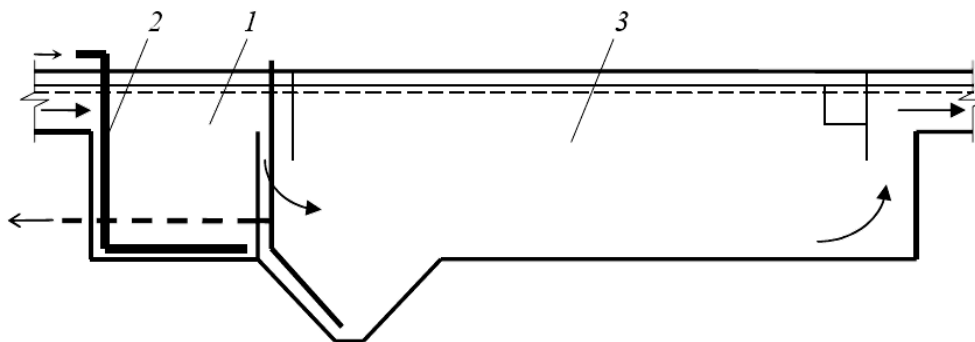


Рис. 23. Блок преаэратор — первичный горизонтальный отстойник:
1 — преаэратор; 2 — подача воздуха; 3 — отстойник [7]

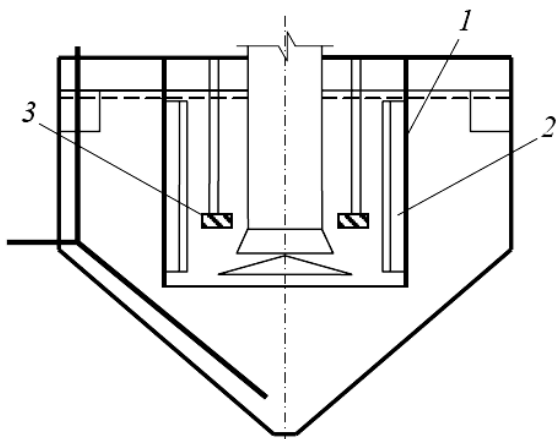


Рис. 24. Биофлокулятор на базе вертикального отстойника:
 1 — кожух преаэратора;
 2 — воздухораспределитель;
 3 — фильтросные аэраторы [7]

Метод биофлокуляции и тонкослойные блоки можно комбинировать, например, в радиальном отстойнике.

ВТОРИЧНЫЕ ОТСТОЙНИКИ. Вторичные отстойники располагаются в технологической схеме после сооружений биологической очистки в искусственно созданных условиях (аэротенки, биофильтры, циркуляционные окислительные каналы, биотенки и др.) и служат для выделения активного ила или отмершей биопленки из очищенной сточной воды. Эффективность осветления во вторичных отстойниках определяет

общий эффект очистки воды и эффективность работы всего комплекса очистных сооружений биологической очистки. Кроме того, для технологических схем с аэротенками вторичные отстойники во многом определяют объем аэрационных сооружений, который зависит, помимо прочего, от концентрации возвратного активного ила и степени его рециркуляции.

Классификация и конструкции вторичных отстойников. Для очистных сооружений небольшой производительности (до 20 тыс. м³/сут) применяются вертикальные вторичные отстойники, для очистных станций средней и большой пропускной способности (более 15 тыс. м³/сут) — горизонтальные и радиальные.

Вертикальные вторичные отстойники по конструкции бывают:

- 1) круглые в плане с конической иловой частью, аналогичные первичным, но с меньшей высотой зоны отстаивания;
- 2) квадратные в плане (12 × 12 м, 14 × 14 м) с четырехбункерной пирамидальной иловой частью.

К достоинствам этого типа отстойников относят удобство удаления осевшего ила под гидростатическим давлением, компактность их расположения и простота конструкции. Основными недостатками являются большая глубина и возможность развития анаэробных процессов в осевшем активном иле.

Горизонтальные вторичные отстойники полностью аналогичны первичным. Вторичный радиальный отстойник показан на рис. 25. Иловая смесь подводится к центральному распределительному устройству — коническому раструбам внутри металлического цилиндра. Осветленная вода собирается в кольцевой желоб по периметру отстойника. Активный ил удаляется самотеком под гидростатическим давлением через щели (*сосунки*) подвижного илососа в иловую камеру с регулируемым водосливом.

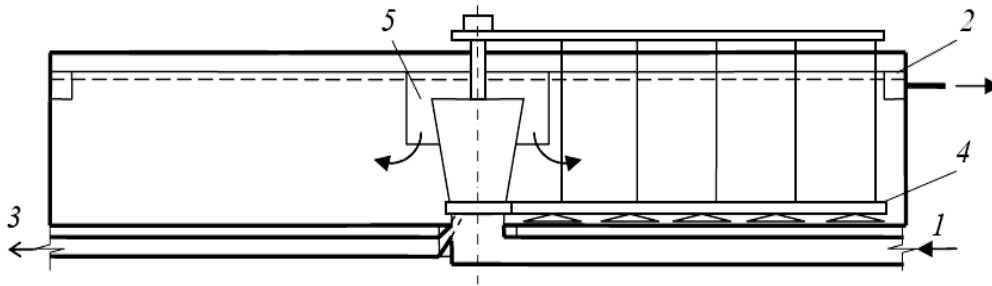


Рис. 25. Вторичный радиальный отстойник:
 1 — подача иловой смеси; 2 — сборный лоток очищенной воды;
 3 — удаление активного ила; 4 — илосос; 5 — распределительный кожух [7]

Недостаток этих отстойников заключается в сложности эксплуатации скребковых механизмов.

Существуют модификации радиальных отстойников, в которых используется принцип низкоградиентного перемешивания и усовершенствованный илосос, что позволяет достичь снижения содержания взвешенных веществ в осветленной воде и повышения концентрации циркуляционного активного ила.

3.2.5. Усреднители

Существенное уменьшение объема очистных сооружений и стоимости очистки достигается с помощью усреднения расхода сточных вод и концентрации загрязнителей. Усреднение позволяет рассчитывать все последующие сооружения технологической цепочки не на максимальные, а на некоторые средние значения параметров стока.

Различают три вида нестационарности потока (рис. 26):

- 1) залповые сбросы высококонцентрированных сточных вод;
- 2) циклические колебания;
- 3) произвольный (случайный) характер колебаний.

Расчет объема усреднителя проводится в зависимости от требований к расходу и концентрации загрязнителей на выходе из усреднителя, а также характера колебаний в потоке. Усреднители обычно устанавливаются после отстойников или оборудуются отстойной частью с целью облегчения эксплуатации.

Типы и конструкции усреднителей. При небольших расходах и периодическом сбросе воды используют *контактные* усреднители. Однако, как правило, применяют усреднители *проточного* типа, которые выполняются в виде многоканальных резервуаров или резервуаров с перемешивающими устройствами.

Усреднители в основном проектируются в составе локальных станции очистки промышленных сточных вод.

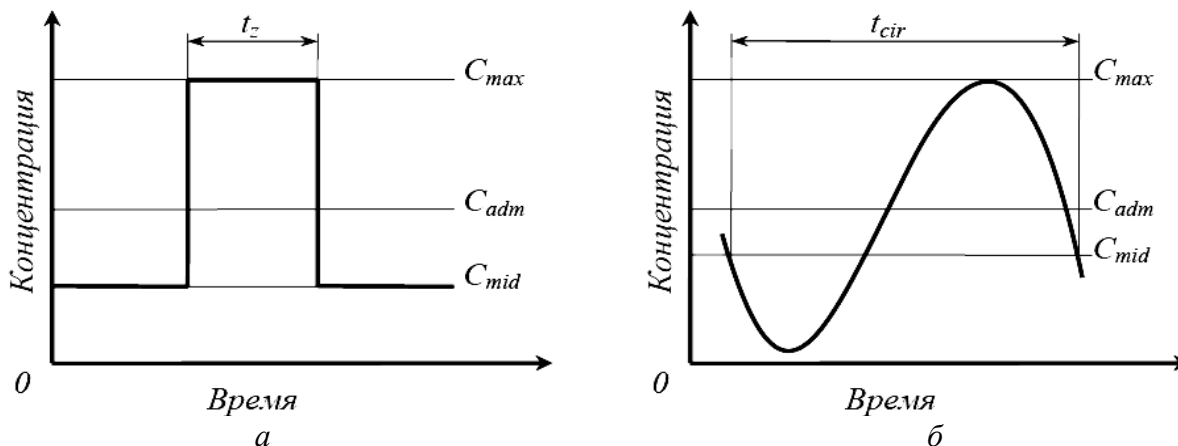


Рис. 26. Динамика состава сточной воды при равных характерах нестационарности: *а* — залповый сброс; *б* — циклические колебания [7]

Различают следующие типы проточных усреднителей:

- многоканальные — прямоугольные (конструкции Д. М. Ванякина) и круглые (конструкции Д. А. Шпилева) в плане, с неравномерным распределением расхода воды по каналам;
- усреднители-смесители (усреднители с перемешивающими устройствами) барботажного типа и с механическим перемешиванием.

Тип усреднителя выбирается в зависимости от характера и количества нерастворенных компонентов (например, взвешенных веществ), а также динамики поступления сточной воды.

Многоканальные усреднители. Многоканальные усреднители применяются для выравнивания залповых сбросов сточных вод с содержанием взвешенных веществ гидравлической крупностью до 5 мм/с при концентрации до 500 мг/л. Усреднение в таких устройствах происходит путем распределения потока воды, который делится на несколько струй, протекающих по коридорам усреднителя. Коридоры имеют разную длину (или ширину), поэтому в сборном лотке смешиваются струи воды с различной концентрацией загрязнителей, поступивших в усреднитель в разное время. На рис. 27 представлены два вида многоканальных усреднителей — прямоугольный и круглый.

Несколько другой принцип усреднения — использование различной ширины каналов — положен в основу конструкции усреднителя, представленной на рис. 28. Распределение сточных вод по каналам осуществляется через донные выпуски расчетного диаметра. Для дорегулирования расходов воды по каналам в стенке распределительного лотка устраивают прямоугольные водосливы с шиберами.

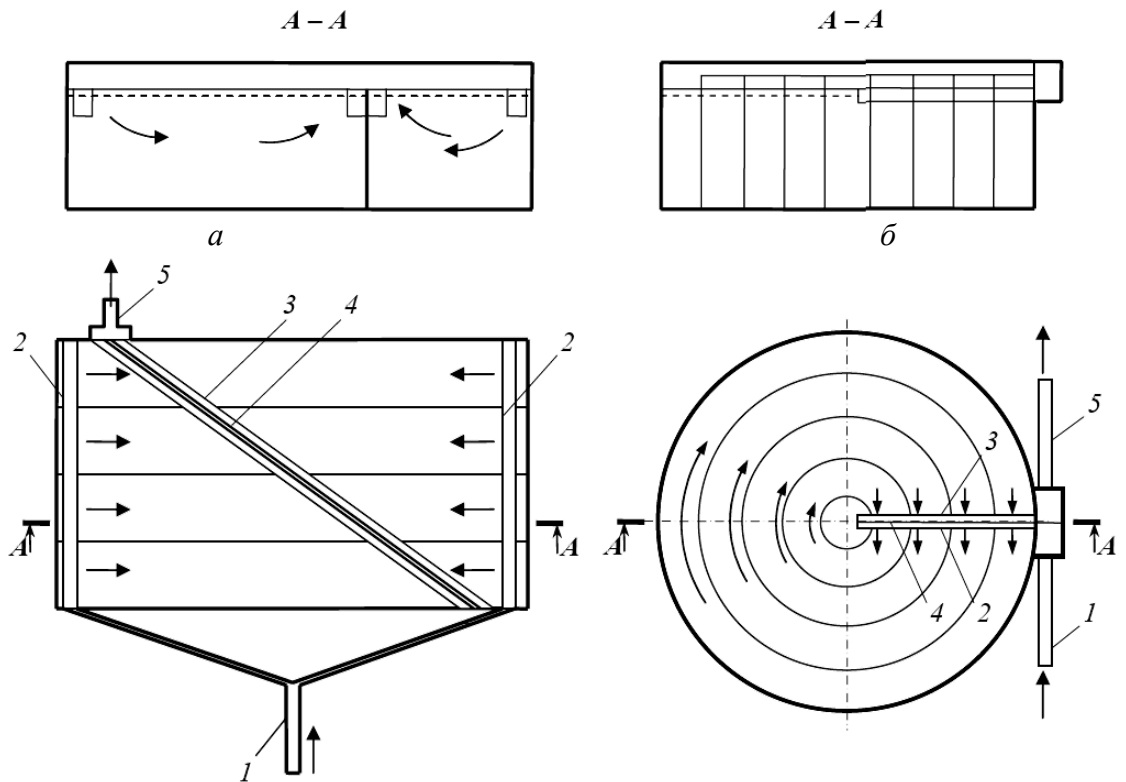


Рис. 27. Многоканальные усреднители с различной длиной каналов:
a — прямоугольный; *б* — круглый; 1 — канал подачи воды; 2 — распределительный лоток; 3 — сборный лоток; 4 — глухая перегородка; 5 — канал отвода воды [7]

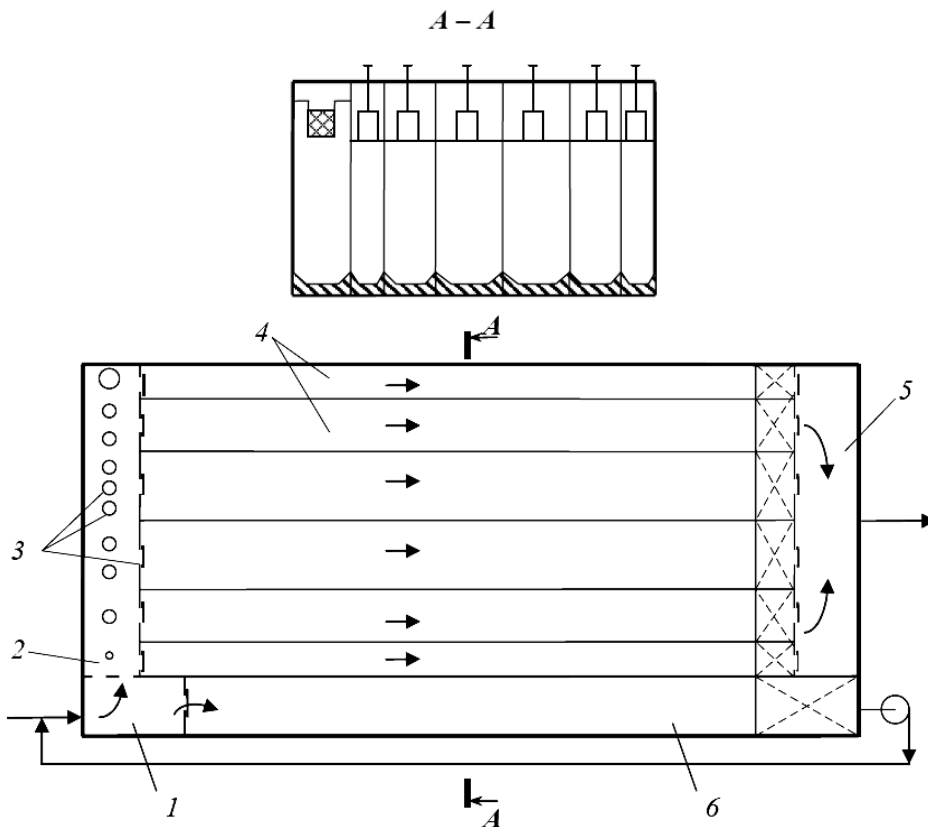


Рис. 28. Многоканальный усреднитель с распределением воды по каналам разной ширины:
 1 — приемная камера; 2 — распределительный лоток;
 3 — донные выпуски и боковой водослив с шибером; 4 — каналы;
 5 — камера усредненных стоков; 6 — аккумулирующая емкость [7]

Усреднитель-смеситель барботажного типа. Усреднитель этого типа следует применять для усреднения состава сточных вод с содержанием взвешенных веществ до 500 мг/л гидравлической крупностью до 10 мм/с при любом режиме их поступления. Усреднение в этом случае достигается с помощью интенсивного перемешивания, обеспечиваемого барботированием сточных вод воздухом (рис. 29).

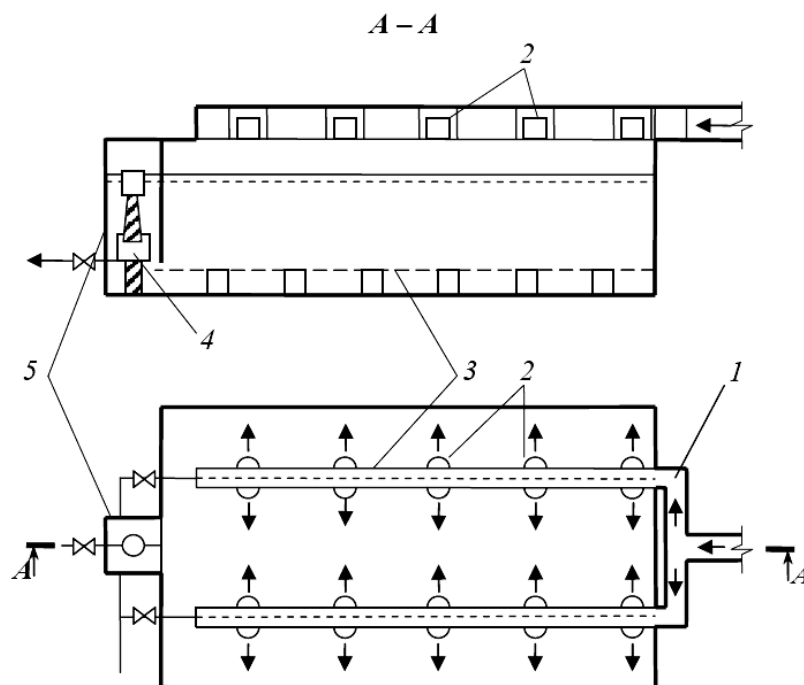


Рис. 29. Усреднитель с барботированием воды:
1 — подающий лоток; 2 — впускные отверстия; 3 — барботер;
4 — выпускное устройство; 5 — выпускная камера [7]

Одним из важных условий эффективного усреднения является максимально равномерное распределение сточных вод по площади усреднителя барботажного типа. Для этого используются системы подающих лотков с придонными водосливными окнами или треугольными водосливами. Наиболее целесообразна самотечная подача стоков, в противном случае (при напорной подаче) перед усреднителем необходимо устанавливать колодец гашения напора.

В качестве барботеров используются перфорированные трубы с отверстиями диаметром 3 мм, прокладываемые горизонтально на подставках высотой 6—10 см. Барботеры бывают пристенные, которые создают один циркуляционный поток, и промежуточные, создающие два циркуляционных потока.

Усреднитель-смеситель с механическим перемешиванием. Такие усреднители применяют для усреднения состава сточных вод с содержанием взвешенных веществ свыше 500 мг/л при любом режиме их поступления. Усреднители оборудуются отстойной зоной.

3.2.6. Нефтеловушки, продуктоловушки

Для очистки производственных сточных вод, содержащих всплывающие грубодиспергированные примеси (нефть, легкие смолы, масла) при концентрации свыше 100 мг/л, применяются специализированные отстойные сооружения, называемые *нефтеловушками*, *смоло-*, *маслоуловителями*. *Продуктоловушки* используются с той же целью для отстаивания из воды некоторых специфических веществ, например, парафина из стоков производства синтетических жирных кислот, а также для осаждения твердых механических примесей.

Конструктивные типы нефтеловушек. Нефтеловушки бывают трех видов:

- 1) горизонтальные;
- 2) многоярусные (тонкослойные);
- 3) радиальные.

Горизонтальные нефтеловушки. Горизонтальная нефтеловушка представляет собой отстойник (рис. 30), разделенный продольными стенками на параллельные секции.

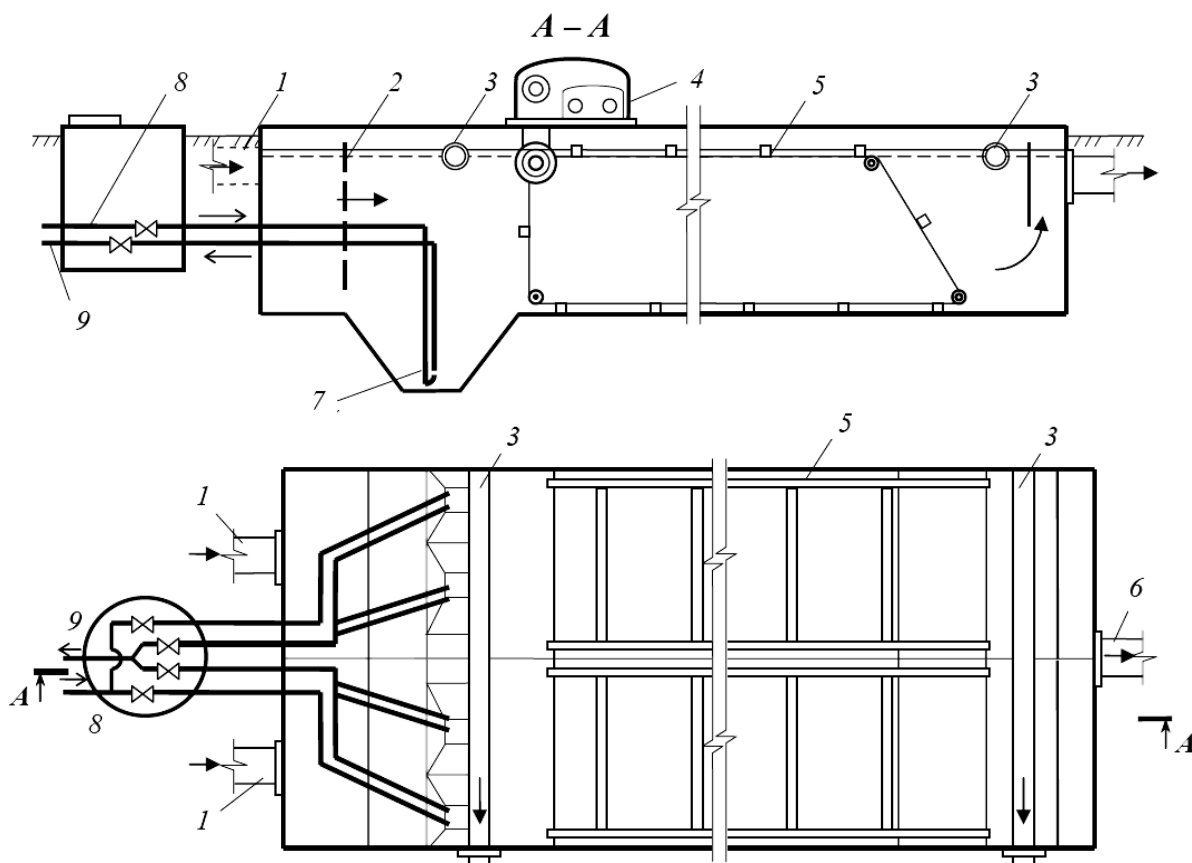


Рис. 30. Горизонтальная нефтеловушка:

- 1 — подводящая труба; 2 — щелевая распределительная перегородка;
3 — нефтесборная труба; 4 — механизм передвижения скребков;
5 — скребковый транспортер; 6 — трубопровод отвода осветленной воды;
7 — гидроэлеватор; 8 — подача воды к гидроэлеватору; 9 — отвод осадка [7]

Сточная вода из отдельно расположенной распределительной камеры поступает по самостоятельным трубопроводам через щелевую перегородку в каждую секцию. Освобожденная от нефти вода в конце секции проходит под затопленной стенкой и через водослив переливается в отводящий трубопровод. Всплывшая нефть сгоняется скребковым механизмом к щелевым поворотным трубам и выводится по ним из секции. Осадок, выпадающий на дно, тем же транспортером сгребается к приемку, откуда его гидроэлеваторами периодически удаляют по илопроводу. Расчетная продолжительность отстаивания должна быть не менее 2 ч, скорость движения воды принимается 3—10 мм/с.

Продуктоловушки устраиваются и рассчитываются по типу горизонтальных нефтеловушек.

Многоярусные нефтеловушки. Многоярусная (тонкослойная) нефтеловушка является усовершенствованной конструкцией горизонтальной ловушки, имеет меньшие габариты более экономична. На рис. 31 представлена схема работы многоярусной нефтеловушки. Сточная вода из отдельно расположенной распределительной камеры поступает по трубопроводам в секции нефтеловушки и через поперечную горизонтальную распределительную трубу с вертикальными патрубками и диффузорами распределяется по ширине и глубине зоны глубокой очистки. Здесь в течение 1—4 мин выделяется основное количество грубодиспергированной нефти и осадка. Затем поток проходит через пропорциональное водораспределительное устройство и поступает в полочный блок. Блок работает по перекрестной схеме. Поток осветленной воды проходит под полупогружной перегородкой и выводится через водослив и водосборный лоток. Всплывшие в зоне грубой очистки нефтепродукты отводятся постоянно через щелевую поворотную трубу, над тонкослойными блоками постоянно сгоняются скребками в направлении потока к концу отстойной зоны и через вторую поворотную трубу периодически выводятся из сооружения. Осадок удаляется с помощью гидроэлеватора.

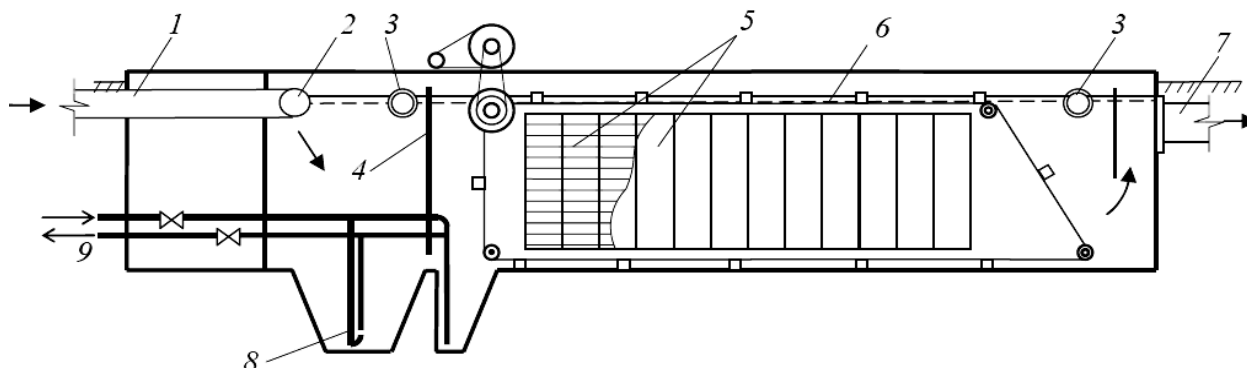


Рис. 31. Многоярусная нефтеловушка:

- 1 — подводящая труба; 2 — водораспределительная труба; 3 — нефтесборная труба;
 4 — пропорциональное водораспределительное устройство; 5 — тонкослойный модуль;
 6 — скребковый транспортер; 7 — трубопровод отвода осветленной воды;
 8 — гидроэлеватор; 9 — отвод осадка [7]

Радиальные нефтеловушки. Радиальные нефтеловушки применяют вместо горизонтальных нефтеловушек и прудов дополнительного отстаивания. Конструкция нефтеловушек этого типа похожа на конструкцию радиальных отстойников (рис. 32). Сточная вода поступает в нижнюю часть радиальной нефтеловушки по трубопроводу, расположенному под ее днищем и переходящему в вертикальный раструб с направляющим цилиндром. Цилиндр обеспечивает заглубленный впуск воды в отстойную зону сооружения и распределяет воду по всему рабочему объему нефтеловушки. Для сбора осветленной воды предусмотрен кольцевой лоток с пропорциональным водосливом. Всплывшие нефтепродукты сгоняются вращающимся скребком к стационарно расположенной нефтесборной трубе. Осевший осадок сгребается вращающимся скребком к центральному приемку, откуда насосом перекачивается в шламонакопитель. Равномерность распределения и малые скорости движения жидкости способствуют всплыванию мелкодисперсных частиц нефтепродуктов размером до 50 мкм.

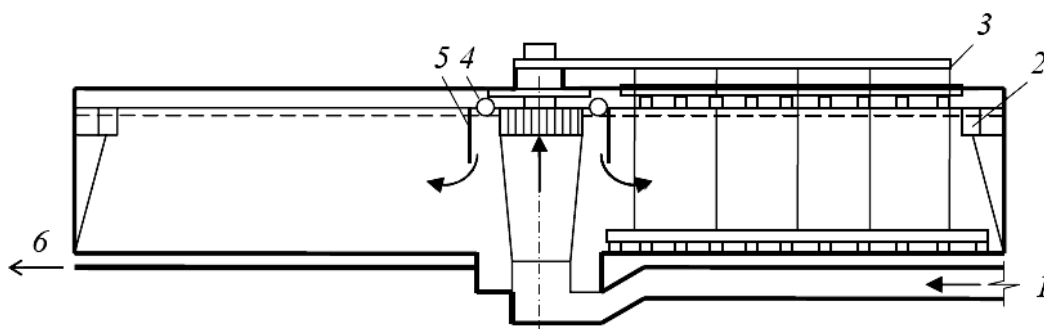


Рис. 32. Радиальная нефтеловушка:

1 — подача сточной воды; 2 — сборный лоток; 3 — скребковый механизм;
4 — нефтесборная труба; 5 — направляющий цилиндр; 6 — удаление осадка [7]

Смолоуловители. Для очистки производственных сточных вод коксохимических заводов, загрязненных в основном смолой и маслами, применяют отстойники-смолоуловители, которые бывают радиальными и прямоугольными.

В радиальные смолоуловители (рис. 33) сточная вода поступает по трубопроводу в центр.

Осветленная вода отводится через утопленные в наружной стене отверстия и кольцевой водослив. Осаждающаяся на дне отстойника смола периодически отводится скребковым устройством в центральный приемок, из которого откачивается насосом. Для уменьшения вязкости смолу перед откачкой подогревают паром до температуры 60 °С. Накапливающиеся на поверхности масла перетекают в радиальные лотки, по которым отводятся в кольцевой сборник, расположенный вокруг центральной трубы. Эффект осветления в радиальных смолоуловителях составляет 80—90 %.

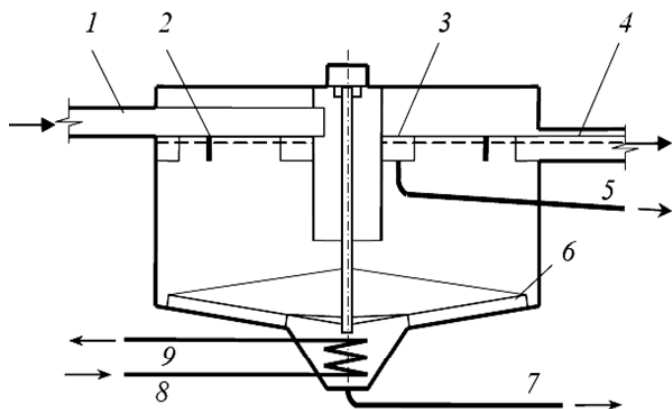


Рис. 33. Радиальный отстойник-смолоуловитель:

- 1 — подводящий лоток;
- 2 — плавающая доска;
- 3 — лоток для сбора легких смол;
- 4 — отвод очищенной воды;
- 5 и 7 — отвод для легких и тяжелых смол; 6 — скребки;
- 5 и 9 — подача пара и отвод конденсата [7]

Прямоугольные смолоотстойники предназначены для очистки фенольных вод только от тяжелых примесей — смол. Отстойник состоит из двух параллельно работающих отделений. Осадочная часть устроена в виде усеченной пирамиды, в которой накапливается смола. Перед откачкой смолу подогревают паром.

3.2.7. Фильтры

Фильтрационные сооружения и установки применяют для глубокой очистки (доочистки) городских и производственных сточных вод, прошедших биологическую или физико-химическую очистку. Они подразделяются на фильтры с зернистой загрузкой и сетчатые барабанные фильтры.

ФИЛЬТРЫ С ЗЕРНИСТОЙ ЗАГРУЗКОЙ. Классифицируются:

1) по направлению потока — бывают с нисходящим (сверху вниз) и восходящим (снизу вверх) потоком, в отдельных случаях — с горизонтальным потоком:

2) по конструкции — различают однослойные, двухслойные, аэрируемые и каркасно-засыпные:

3) по виду фильтрующего материала — природные материалы (кварцевый песок, гравий, гранитный щебень, доменный шлак, керамзит, антрацит, горелые породы, мраморная крошка) или искусственные материалы (полимеры — пенополиуретан, полистирол, полипропилен и др.).

Сетчатые барабанные фильтры, применяемые в качестве самостоятельных сооружений глубокой очистки, называются *микрофильтрами*, а устанавливаемые перед зернистыми фильтрами глубокой очистки — *барабанные сетки*.

В результате доочистки сточных вод в загрузке фильтров задерживаются мелкодисперсные взвешенные частицы и активный ил, выносимые из отстойников или осветлителей, а также некоторые специфические компоненты, характерные для стоков отдельных промышленных предприятий (нефтепродукты, фосфор и др.).

Различают *рабочий режим* и *форсированный режим*, который возникает при выключении отдельных секций фильтров на промывку и ремонт. При форсированном режиме скорость фильтрования увеличивается.

Фильтровальная станция доочистки сточных вод обычно включает в себя приемный резервуар, насосную станцию для подачи воды, фильтровальные установки, резервуар для сбора промывных вод, насосную станцию для их перекачки в начало очистной станции канализации, а также другое оборудование (рис. 34). Регенерацию зернистых фильтрующих материалов производят промывкой водой или водой и воздухом, синтетические материалы обычно отжимают для регенерации. Для промывки фильтров можно использовать водопроводную воду или воду после барабанных сеток и фильтров.

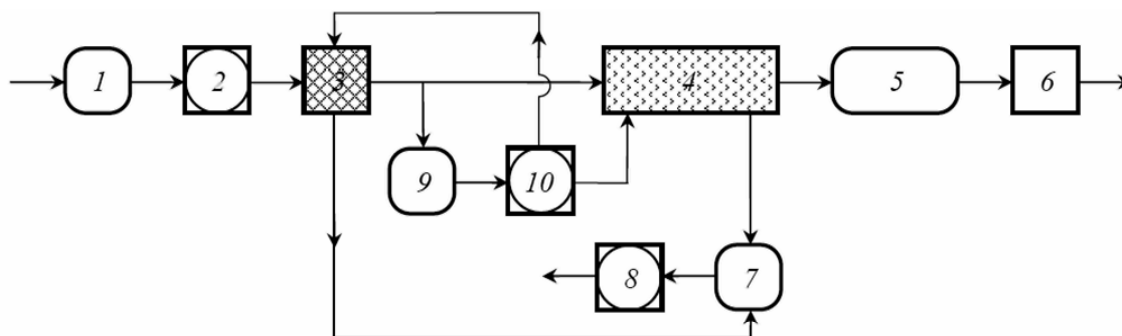


Рис. 34. Станция доочистки сточных вод с фильтрованием:

- 1 — приемный резервуар; 2, 5, 10 — насосные станции; 3 — барабанные сетки;
 4 — фильтровальные сооружения; 5 — контактный резервуар для хлорирования;
 6 — аэратор-быстроток; 7 — резервуар для сбора промывной воды;
 9 — резервуар для промывки фильтров [7]

Конструктивные типы фильтров.

Фильтры с нисходящим потоком. Однослойные фильтры с нисходящим потоком воды используют для доочистки производственных стоков после механической очистки для задержания мелкодисперсных взвешенных частиц, а также биологически очищенных городских сточных вод (рис. 35). Загрузку фильтра составляет кварцевый песок (крупностью до 2 мм и толщиной слоя 1,2—1,3 м) с поддерживающим слоем из гравия (с крупностью зерен 2—40 мм высотой слоя 0,5—0,7 м). При наличии местного гранитного щебня загрузка фильтра может производиться щебнем крупностью 3—10 мм, толщиной слоя 1,2 м.

Для регенерации фильтров предусматривается водо-воздушная или водяная промывка восходящим потоком. Водо-воздушная промывка производится в четыре этапа:

- 1) начальное взрыхление верхнего слоя загрузки механическим или гидравлическим способом;
- 2) продувка воздухом для выравнивания гидравлического сопротивления по всей площади фильтра;
- 3) водо-воздушная совместная промывка;
- 4) дополнительная промывка водой для разрыхления загрузки и восстановления ее первоначальной пористости.

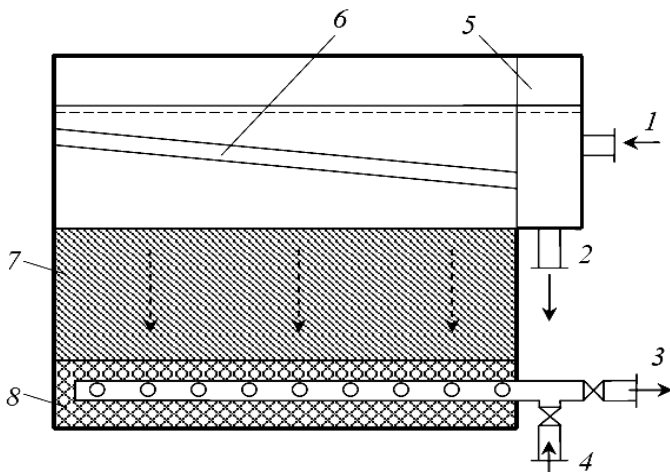


Рис. 35. Зернистый фильтр с нисходящим потоком:

- 1 — подвод воды;
- 2 — отвод промывной воды;
- 3 — отвод фильтрата;
- 4 — подача промывной воды;
- 5 — распределительный карман;
- 6 — желоб для подачи исходной воды;
- 7 — песчаная загрузка;
- 8 — поддерживающий слой [7]

Эффект доочистки для мелкозернистых фильтров по взвешенным веществам составляет 70—75 %, по БПК_{полн} — 50—60 %, для крупнозернистых (с загрузкой из щебня) соответственно 45—50 и 35—40 %. Фильтроцикл составляет 12 ч.

Фильтры с восходящим потоком. Фильтрация воды снизу вверх значительно улучшает условия работы фильтра вследствие реализации принципа убывающей крупности зерен вдоль потока (рис. 36). В результате увеличивается грязеемкость фильтра, продолжительность фильтроцикла, исключается заиливание мелкозернистых слоев. Недостатком фильтров с восходящим потоком является заиливание дренажа, которое приводит к ненадежности их работы и осложнениям в эксплуатации.

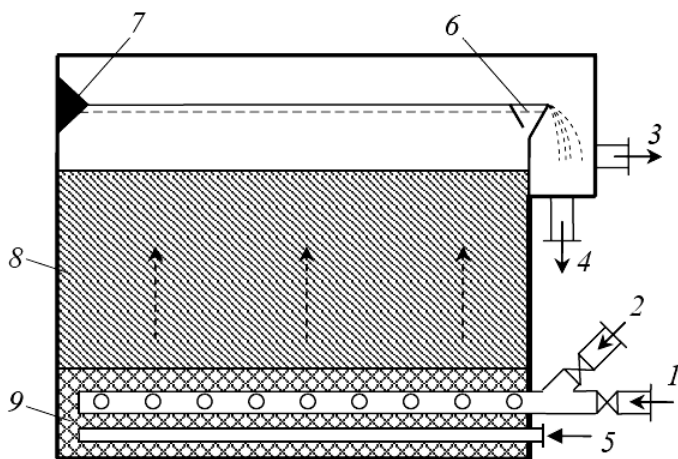


Рис. 36. Фильтр с восходящим потоком воды:

- 1 — подвод воды;
- 2 — подвод промывной воды;
- 3 — отвод фильтрата;
- 4 — отвод промывной воды;
- 5 — подача воздуха;
- 6 — пескоулавливающий желоб;
- 7 — струенаправляющий выступ;
- 8 — загрузка;
- 9 — поддерживающий слой [7]

Фильтрующая загрузка состоит из речного песка крупностью 1,2—2 мм и высотой слоя 1,5—2 м, а также подстилающего слоя гравия толщиной до 0,95 м.

Для регенерации фильтров предусматривается водо-воздушная промывка. Эффект доочистки для таких фильтров по взвешенным веществам составляет 70—85 %, по БПК_{полн} — 50—65 %.

Двухслойные фильтры. В двухслойных фильтрах используется принцип фильтрации в направлении уменьшающейся крупности зерен

загрузки сверху вниз. Верхний слой загрузки толщиной 0,4—0,5 м состоит из кварцевого песка крупностью зерен 1,2—2 мм, нижний слой (кварцевый песок) имеет толщину 0,6—0,7 м и крупность зерен 0,7—1,6 мм. Кроме кварцевого песка, в верхних слоях может быть использован дробленый антрацит или керамзит. Поддерживающий слой высотой 0,55—0,8 м состоит из гравия крупностью 2—400 мм (рис. 37). Двухслойная загрузка обеспечивает более равномерное распределение загрязнений по высоте фильтра, увеличение продолжительности работы. Фильтроцикл равен 24 ч. Промывка фильтров производится током воды снизу вверх.

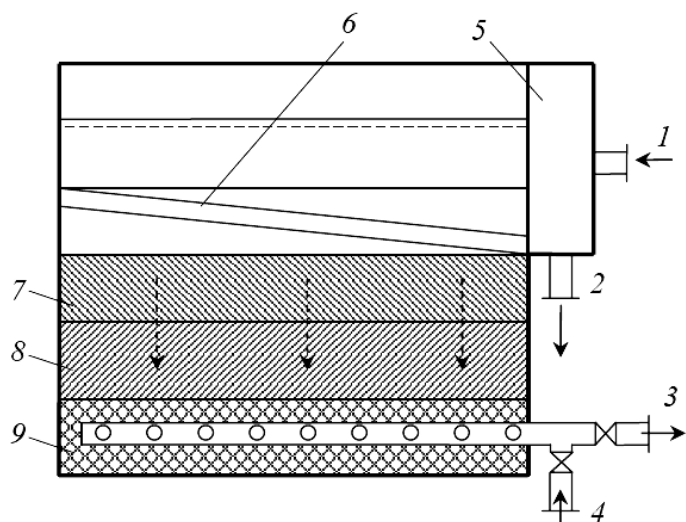


Рис. 37. Двухслойный фильтр:
 1 — подача исходной воды;
 2 — отвод промывной воды;
 3 — отвод фильтрата;
 4 — подача промывной воды;
 5 — распределительный карман;
 6 — желоб для подачи исходной воды; 7 — загрузка из антрацита;
 8 — загрузка из песка;
 9 — поддерживающий слой [7]

К недостаткам таких фильтров относится сложность создания двухслойной загрузки, завышенный строительный объем фильтра, возможность уноса зерен верхнего слоя загрузки.

Эффект доочистки для таких фильтров по взвешенным веществам составляет 70—80 %, по БПК_{полн} — 60—70 %.

Аэрируемые фильтры. В аэрируемом зернистом фильтре в процессе фильтрации вводится и распределяется в толще загрузки сжатый воздух или кислород, что способствует интенсификации биохимического процесса внутри фильтра. Процесс очистки от загрязнений в аэрируемых фильтрах происходит в две ступени, первая служит для удаления взвешенных веществ, вторая — для растворенных и коллоидных органических загрязнений (рис. 38).

В качестве фильтрующей загрузки применяется кварцевый песок крупностью 1—1,8 мм при высоте слоя 1 м и гранитный щебень крупностью зерен 3—6 мм при высоте слоя 1—1,5 м. Поддерживающий слой состоит из гравия крупностью 2—32 мм и высотой 0,45 м. При использовании таких фильтров достигается снижение взвешенных веществ в сточной воде на 80—90 %, БПК_{полн} — на 75—80 %.

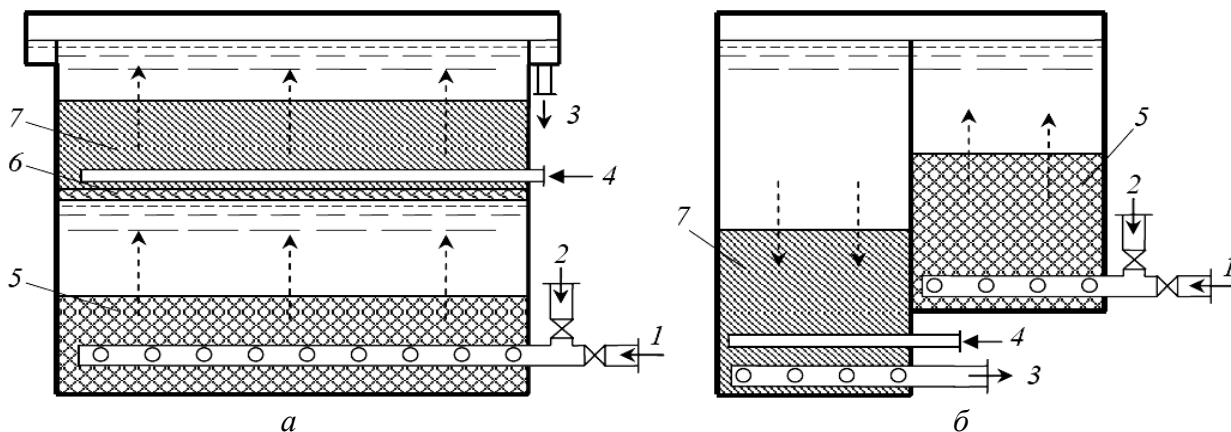


Рис. 38. Аэрируемые фильтры: *а* — двухъярусный, *б* — двухступенчатый;

1 — подача исходной воды; 2 — подача промывной воды;
3 — отвод фильтрата и промывной воды; 4 — подача воздуха; 5 — загрузка первого яруса (ступени); 6 — дырчатая перегородка; 7 — загрузка второго яруса (ступени) [7]

Каркасно-засыпные фильтры. Каркасно-засыпные фильтры (КЗФ) по конструкции представляют собой двухслойный фильтр с нисходящим потоком воды (рис. 39).

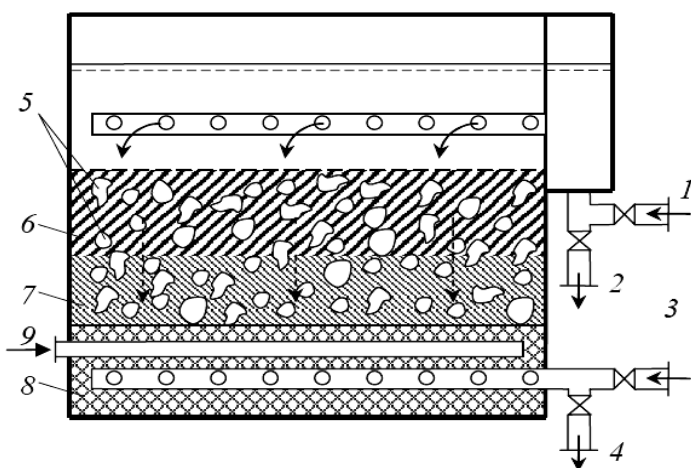


Рис. 39. Каркасно-засыпной фильтр:

1 — подвод воды;
2 — отвод промывной воды;
3 — подача промывной воды;
4 — отвод фильтрата;
5 — гравийный каркас;
6 и 7 — крупно- и мелкозернистая загрузка; 8 — поддерживающий слой; 9 — подача воздуха [7]

Загрузка каркасно-засыпного фильтра состоит из каркаса, в качестве которого используется гравий или щебень с размерами фракций 40—60 мм, и засыпки, состоящей из кварцевого песка крупностью 0,8—1 мм. Очищаемая вода проходит сначала через слой каркаса, где очищается от основной массы загрязнений, а затем поступает для доочистки в нижние слои.

Преимуществами каркасно-засыпного фильтра являются:

1) стабильность очистки воды при значительных колебаниях качества и количества исходной воды;

2) возможность использования контактной коагуляции, которая позволяет при той же скорости фильтрования достичь концентраций взвешенных веществ 3 мг/л и нефтепродуктов 1—1,5 мг/л.

Продолжительность фильтроцикла составляет 20 ч.

Промывка фильтра может быть водо-воздушной или водяной. При водо-воздушной промывке воду в фильтре спускают до уровня песка, подают воздух и воду для промывки, затем следует дополнительная промывка водой.

Эффект доочистки для таких фильтров по взвешенным веществам составляет 70—80 %, по БПК_{полн} — 70 %.

Фильтры с плавающей загрузкой. В последнее время для фильтрования все более широко применяются полимерные материалы с пористостью до 95 %, которые позволяют существенно повысить скорость фильтрования, уменьшить продолжительность фильтроцикла и сократить затраты на очистку.

Преимуществами полимерных фильтров являются:

1) очень высокая грязеемкость, которая составляет 40—200 кг/м³ загрузки;

2) невысокие потери напора;

3) увеличенная продолжительность фильтроцикла;

4) простота конструкции, надежность работы.

Разработано несколько конструкции фильтров с загрузкой из измельченного пенополиуретана с размерами гранул 0,5—12 мм и пор 0,8—1,2 мм, из которых для доочистки сточных вод наиболее эффективными являются фильтры марок ФПЗ-3 и ФПЗ-4 (рис. 40).

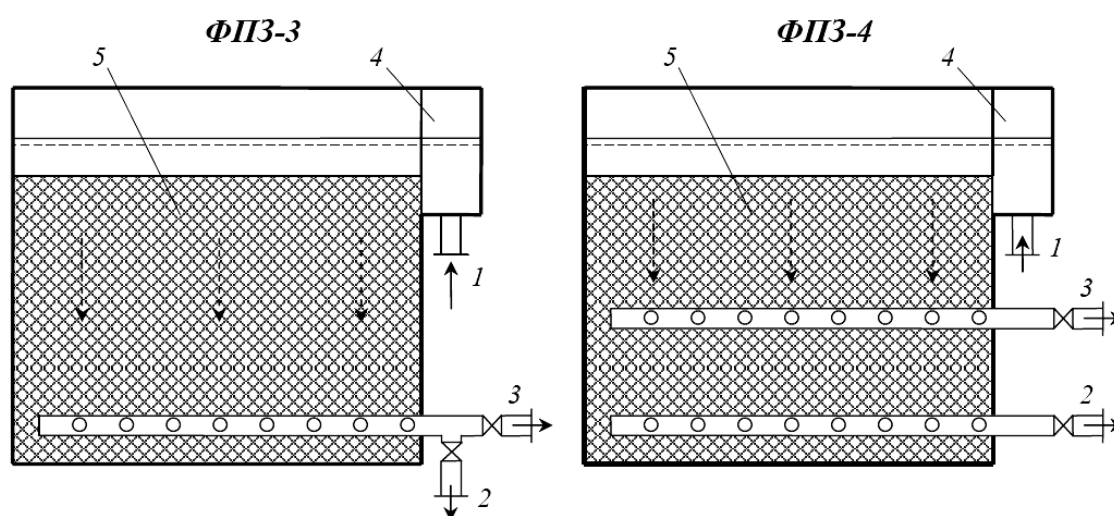


Рис. 40. Фильтры с плавающей загрузкой:

1 — подвод воды; 2 — отвод промывочной воды; 3 — отвод фильтрата;
4 — распределительный карман; 5 — плавающая загрузка [7]

Загрузка фильтров ФПЗ-3 и ФПЗ-4 состоит из гранул, крупность которых уменьшается по направлению движения воды, т. е. сверху вниз. Фильтр ФПЗ-4 работает до полной колюматации загрузки, после чего необходима ее регенерация. Высота слоя загрузки составляет 1,0—1,2 м. Такие фильтры можно использовать для доочистки как механиче-

ски очищенных производственных стоков (металлургическая, химическая и легкая промышленность), так и биологически очищенных городских сточных вод или их смеси с производственными.

Фильтр регенерируется промыванием водой при достижении предельных потерь напора, равных 1,5—2,5 м. Эффект доочистки для таких фильтров по взвешенным веществам составляет 70—85 %, по БПК_{полн} — 65—75 %.

СЕТЧАТЫЕ БАРАБАННЫЕ ФИЛЬТРЫ. Сетчатые барабанные фильтры могут использоваться как самостоятельные сооружения глубокой очистки городских или производственных сточных вод, а также как для выделения крупных примесей из стоков перед фильтрами с зернистой загрузкой. В первом случае они называются *микрофильтрами*, во втором — *барабанными сетками*. Микрофильтры способны снизить содержание взвешенных веществ в сточной воде на 50—60 %, а по БПК_{полн} — на 25—30 %, барабанные сетки — соответственно на 20—25 % и 5—10 %.

Барабанные сетки имеют марку БСБ (с бактерицидными лампами) (рис. 41). Основной частью установки является вращающийся барабан, на поверхности которого находятся фильтрующие элементы. Сточная вода поступает в торцевую часть барабана и выходит радиально, фильтруясь через сетку. Примеси задерживаются как на сетке, так и на слое образующегося осадка. Рабочая сетка делается из нержавеющей стали, латуни или капрона с размерами ячеек (0,3×0,3)—(0,5×0,5) мм. Кроме рабочей сетки, предусматривается поддерживающая сетка с размерами ячеек (2×2)—(8×8) мм. Для предотвращения обрастаний поверхность барабана облучается бактерицидными лампами. Промывка сеток производится периодически 8—12 раз в сутки очищенной на них же водой с помощью промывных пластинчатых устройств.

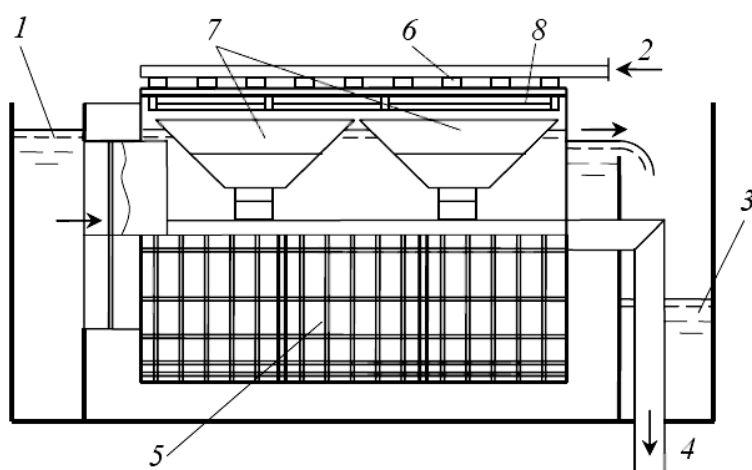


Рис. 41. Сетчатый барабанный фильтр (верхняя часть барабана показана в разрезе)
 1 — канал исходной воды;
 2 — подача промывной воды;
 3 — канал фильтрата;
 4 — отвод промывной воды;
 5 — барабан;
 6 — промывные устройства;
 7 — бункеры для сбора промывной воды;
 8 — бактерицидные лампы [7]

Важным условием применения барабанных сеток является отсутствие в сточной воде веществ, которые могут затруднить промывку, т. е.

смола, масел, жиров, нефтепродуктов и пр. Кроме того, содержание взвешенных веществ в стоках не должно превышать 250 мг/л.

Микрофильтры рекомендуются использовать в тех случаях, когда допустима меньшая степень очистки по сравнению с достигаемой на зернистых фильтрах. В микрофильтрах применяют рабочие сетки галунного сплетения из нержавеющей стали с размером отверстий 35 мкм. Поддерживающая сетка имеет размеры ячеек (2×2) мм. По конструкции микрофильтры аналогичны барабанным сеткам, отличие состоит только в рабочей сетке. Промывка микрофильтров производится постоянно.

Содержание взвешенных веществ в городских сточных водах перед микрофильтрами не должно превышать 40 мг/л.

3.2.8. Гидроциклоны и центрифуги

Гидроциклоны и центрифуги используют принцип осаждения в поле центробежных ускорений, которое позволяет значительно сократить объем и увеличить гидравлическую нагрузку по сравнению с отстойными сооружениями.

Гидроциклоны. Гидроциклоны разделяются на два основных типа: открытые и напорные. Вращательное движение в рабочей зоне гидроциклонов создается тангенциальным подводом воды к цилиндрическому корпусу. В конической (нижней) части гидроциклонов накапливается осадок, который осаждается в результате агломерации взвешенных частиц.

Открытые гидроциклоны применяются для выделения из сточных вод оседающих, преимущественно тяжелых и грубодисперсных всплывающих примесей крупностью свыше 0,2 мм/с, а также скоагулированной взвеси (рис. 42 и 43).

Открытые гидроциклоны применяются пяти типов:

- 1) без внутренних устройств (вставок);
- 2) с конической диафрагмой;
- 3) с конической диафрагмой и внутренним цилиндром (перегородкой);
- 4) многоярусные с центральным выпуском;
- 5) многоярусные с периферийным отводом воды.

Открытые гидроциклоны без внутренних вставок рекомендуются применять для задержания крупно- и мелкодисперсных примесей гидравлической крупностью 5 мм/с и более. Гидроциклоны с конической диафрагмой предназначены для выделения мелкодисперсных взвешенных веществ гидравлической крупностью более 0,2—0,3 мм/с при относительно небольших расходах — до 200 м³/ч. Цилиндрическая перегородка в гидроциклоне способствует возникновению циркуляционного замкнутого потока, который улучшает качество очистки воды.

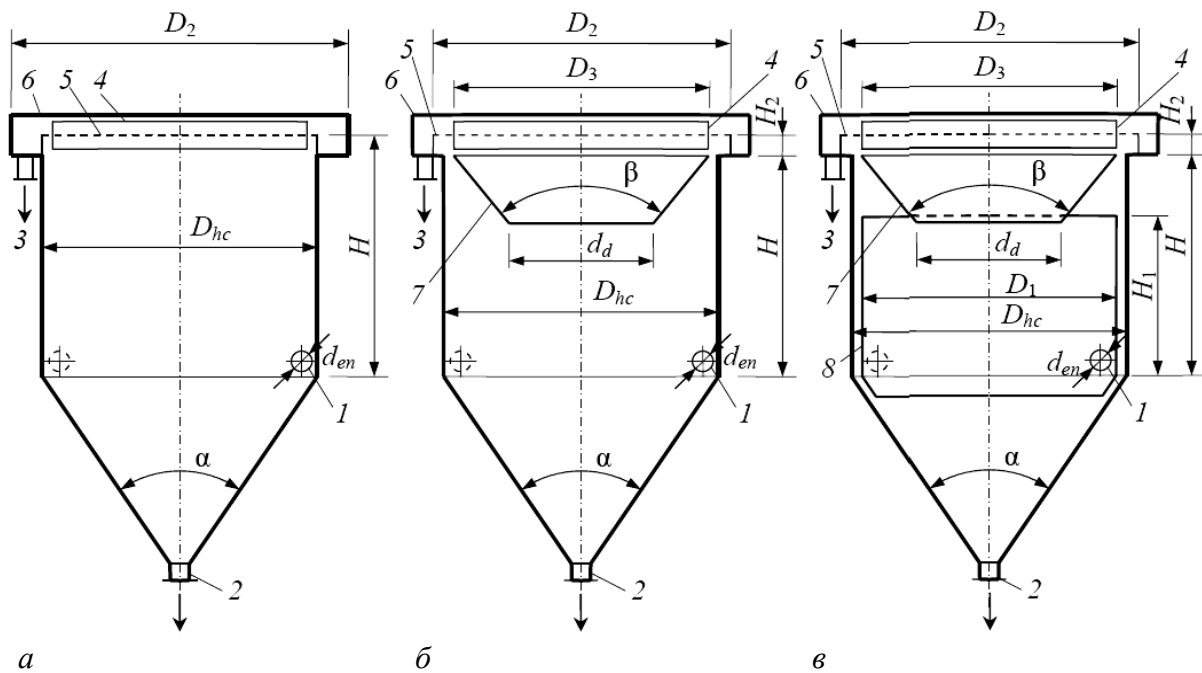


Рис. 42. Схемы открытых гидроциклонов:

a — без внутренних устройств; *б* — с конической диафрагмой;

в — с конической диафрагмой и внутренним цилиндром;

1 — водоподающая труба; 2 — шламоотводящая труба; 3 — водоотводящая труба;
 4 — полупогружная кольцевая стенка; 5 — кольцевой водослив; 6 — водосборный
 кольцевой лоток; 7 — коническая диафрагма; 8 — цилиндрическая перегородка [7]

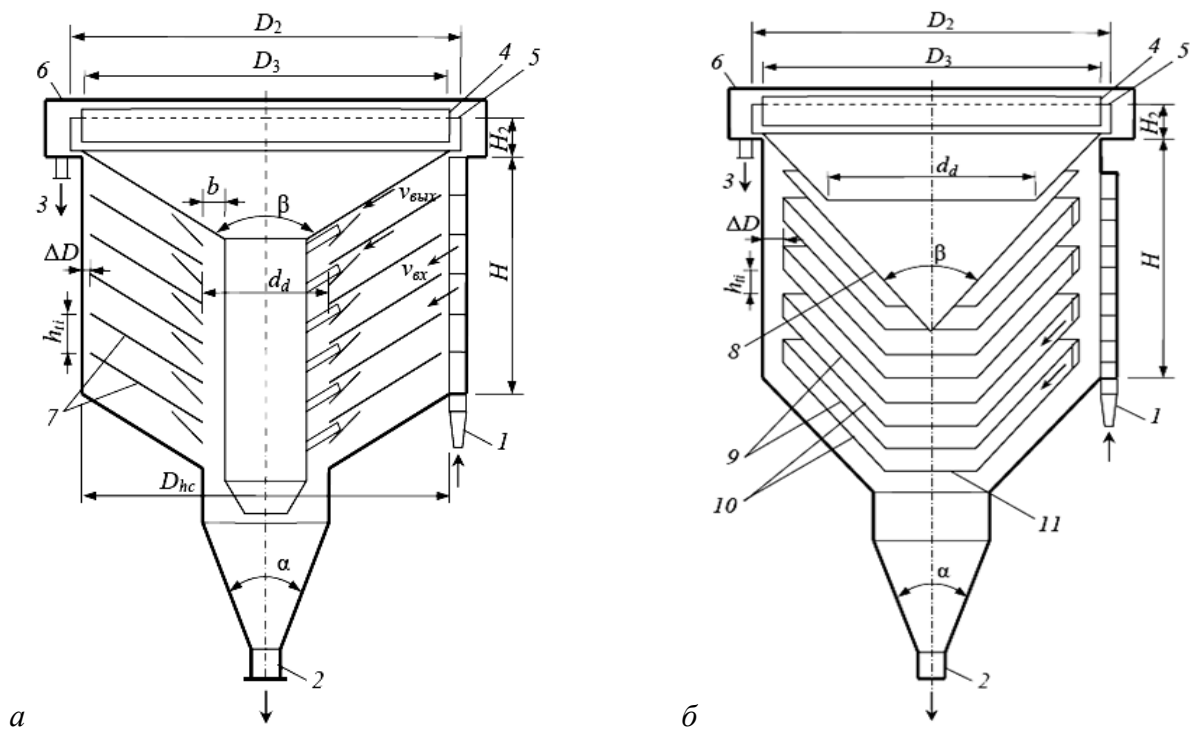


Рис. 43. Схемы многоярусных гидроциклонов:

a — с центральными выпусками; *б* — с периферийным отбором;

1 — водоподающая труба; 2 — шламоотводящая труба; 3 — водоотводящая труба;
 4 — полупогружная кольцевая стенка; 5 — кольцевой водослив; 6 — водосборный
 кольцевой лоток; 7 — конические диафрагмы; 8 — направляющая диафрагма;
 9 — промежуточные диафрагмы; 10 — нижние диафрагмы;
 11 — шламоотводящая шахта [7]

Многоярусный гидроциклон работает по принципу полочного (тонкослойного) отстойника. В такой конструкции конические диафрагмы делят весь объем гидроциклона на отдельные ярусы, работающие независимо друг от друга.

Многоярусный гидроциклон с периферийным отбором осветленной воды имеет конические диафрагмы специальной конструкции, которые направляют движение воды в четных ярусах прямоточно, в нечетных ярусах — противоточно движению осадка (т. е. от центра к периферии). Благодаря этому осадок, сползающий вниз, меньше размывается потоками воды.

Напорные гидроциклоны (рис. 44) следует применять для выделения из сточных вод грубодисперсных примесей главным образом минерального происхождения. Например, для удаления из сточных вод:

- песка, глины и других минеральных компонентов (стеклянные заводы и автохозяйства);

- компонентов формовочной земли (литейное производство);

- жира и твердой фазы минерального и органического происхождения (мясокомбинаты);

- нефтепродуктов и шлама (нефтепромыслы);

- частиц минерального происхождения (свиногородские промышленные комплексы).

Осадок из конической части гидроциклонов откачивают насосами, гидроэлеваторами или удаляют под гидростатическим напором.

В зависимости от особенностей решаемых технологических задач могут использоваться двух- и многопродуктовые напорные гидроциклоны. В последнем случае аппараты имеют несколько сливных трубопроводов, отводящих целевые продукты из различных зон восходящего вихревого потока.

При необходимости более глубокой очистки сточных вод применяют последовательную работу гидроциклонов различных типоразмеров. Аппараты первой ступени удаляют из воды грубые взвеси, а аппа-

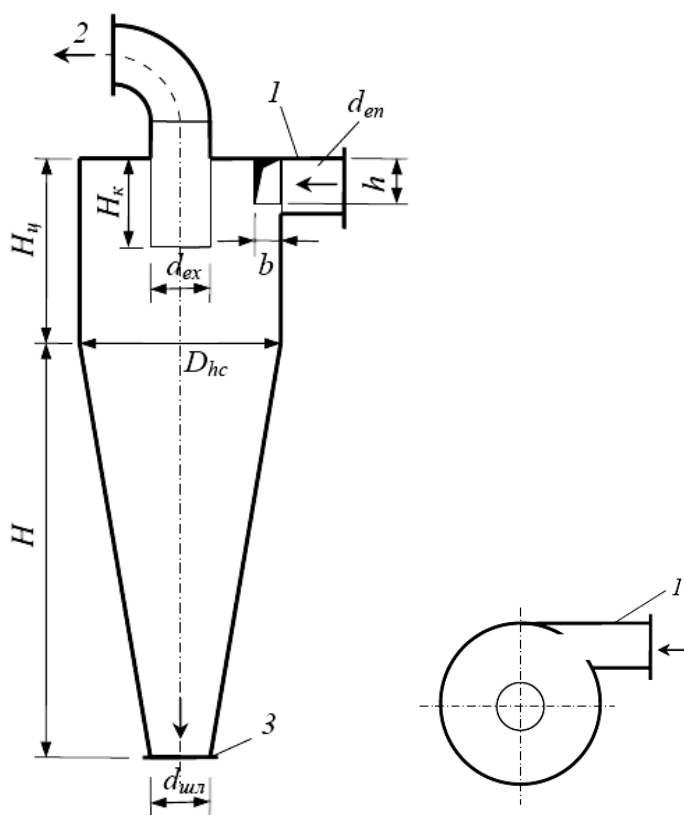


Рис. 44. Сема напорного гидроциклона:
1 — питающий патрубок; 2 — сливной патрубок;
3 — шламный патрубок [7]

раты последующих ступеней используют для выделения более мелких частиц. *Мультигидроциклоны* (батареиные гидроциклоны) включают десятки или сотни единичных напорных гидроциклонов с малым диаметром (8—75 мм), которые имеют общую питающую, сливную и шламовую камеры. Материал — нержавеющая сталь или пластмасса.

Центрифуги. Осадительные центрифуги непрерывного или периодического действия следует применять для выделения из сточных вод мелкодисперсных взвешенных веществ, когда для их выделения не могут быть применены реагенты, а также при необходимости извлечения из осадка ценных продуктов и их утилизации.

Различают центрифуги непрерывного и периодического действия. Первые применяют для очистки сточных вод с расходом до 100 м³/ч, когда требуется выделить частицы гидравлической крупностью 0,2 мм/с (противоточные) и 0,05 мм/с (прямоточные). Второй тип центрифуг применяют для очистки сточных вод, расход которых не превышает 20 м³/ч, а также при необходимости выделения частиц гидравлической крупностью 0,05—0,01 мм/с.

Принцип работы непрерывно действующей осадительной горизонтальной центрифуги со шнековой выгрузкой осадка марки ОГШ следующий (рис. 45).

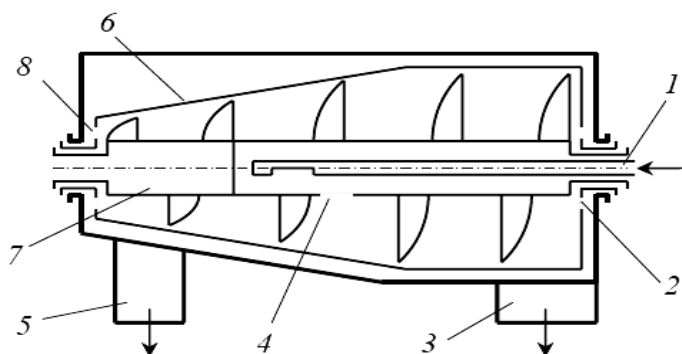


Рис. 45. Схема центрифуги ОГШ:

- 1 — труба подачи;
- 2 — сливные отверстия;
- 3 — сливная труба;
- 4 — отверстие для осадка;
- 5 — труба осадка; 6 — ротор;
- 7 — польный шнек; 8 — окна [7]

Сточная жидкость через трубу подается внутрь вращающегося ротора, при этом наиболее тяжелые частицы осадка отжимаются к внутренней поверхности ротора. Шнек и ротор вращаются с различной частотой, вследствие чего осажденная твердая фаза выгружается из ротора. Фугат (осветленная вода) вытекает через сливную трубу.

Если твердая фаза сточных вод обладает абразивными свойствами, рабочая часть шнека защищается от истирания специальным покрытием, например, металлокерамикой.

Основной характеристикой центрифуг является фактор разделения — критерий Фруда Fr :

$$Fr = \frac{\omega^2 r}{g},$$

где ω — окружная скорость вращения ротора, м/с; r — радиус ротора, м; g — ускорение свободного падения, м/с².

Фактор разделения показывает, насколько процесс разделения фаз в поле центробежных сил протекает быстрее по сравнению с отстаиванием. В промышленных центрифугах фактор разделения изменяется в пределах 200—15 000. Качество очистки в центрифугах можно регулировать, изменяя гидравлическую нагрузку, частоту вращения ротора и диаметр сливного порога.

3.2.9. Комбинированные сооружения

Такие сооружения, как септики, двухъярусные отстойники и осветлители-перегниватели, являются комбинированными устройствами и предназначены для механической очистки сточной воды с одновременным анаэробным сбраживанием образующегося осадка. Область применения комбинированных сооружений ограничивается небольшими и средними расходами сточной воды.

Септики. Применяются при расходах до 25 м³/сут в качестве сооружений механической очистки перед сооружениями естественной механической очистки. Септики представляют собой проточный резервуар, рассчитанный на время пребывания сточной воды 1—3 суток, а выпавшего осадка — 6—12 месяцев. Септики бывают одно-, двух- и трехкамерными (рис. 46).

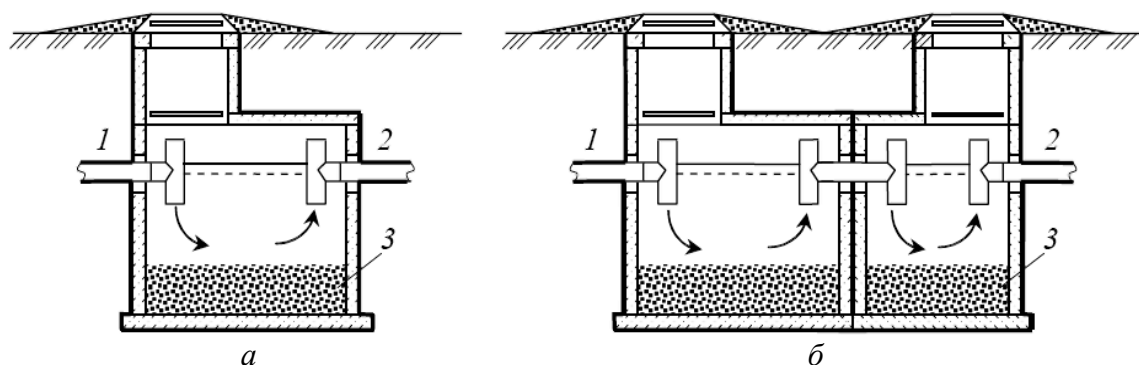


Рис. 46. Септики: а — однокамерный; б — двухкамерный; 1 и 2 — подводящий и отводящий трубопроводы; 3 — осадок [7]

При расходах сточных вод до 1 м³/сут применяют однокамерные септики, при расходах до 10 м³/сут — двухкамерные, при больших расходах — трехкамерные. Осадок в септике уплотняется и частично подвергается сбраживанию. Недостаток септиков заключается во вторичном загрязнении воды частицами осадка, который может подниматься вверх вместе с пузырьками выделяющихся при сбраживании газов. В результате на поверхности образуется корка, которая существенно за-

трудняет выход газа. Для предотвращения забивания труб коркой предусматривают тройники на концах. Осадок из септиков удаляют через иловыжимную трубу насосом или откачкой в ассенизационный транспорт. Септики строят из кирпича, бетона или железобетона, с гидроизоляцией. Эффект очистки сточных вод в септике по БПК_{полн} достигает 35 %, а по взвешенным веществам 70—95 %.

Двухъярусные отстойники (эмшеры). Применяются для механической очистки хозяйственно-бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод при расходах до 10 000 м³/сут.

Двухъярусный отстойник имеет цилиндрическую или прямоугольную форму с коническим или пирамидальным днищем (рис. 47).

В верхней части отстойника располагаются осадочные желоба, в нижней — септическая (иловая) камера. Из осадочных желобов, которые представляют собой горизонтальные отстойники, оседающие частицы через щель проваливаются в септическую часть, где происходит уплотнение и сбраживание осадка. Для исключения попадания в очищенную воды всплывающих частиц осадка нижние грани желоба перекрывают друг друга примерно на 15 см.

Расчет двухъярусного отстойника заключается в определении размеров осадочных желобов и септической камеры. Осадочные желоба задерживают 40—50 % взвешенных веществ.

Осветлители-перегниватели. По сравнению с двухъярусными отстойниками, осадочные желоба в осветлителях-перегнивателях заменены осветлителем с естественной аэрацией. Септическая камера отделена от отстойника и расположена концентрически вокруг него, что способствует подогреву осадка сточными водами (рис. 48).

Естественная аэрация обеспечивается разностью отметок в осветлителе и распределительной чаше, в результате в воду засасывается воздух из атмосферы. Затем вода последовательно поступает в камеру флокуляции и отстойную камеру, проходя через образовавшийся взвешенный слой. Образовавшийся на дне осветлителя осадок по напорному

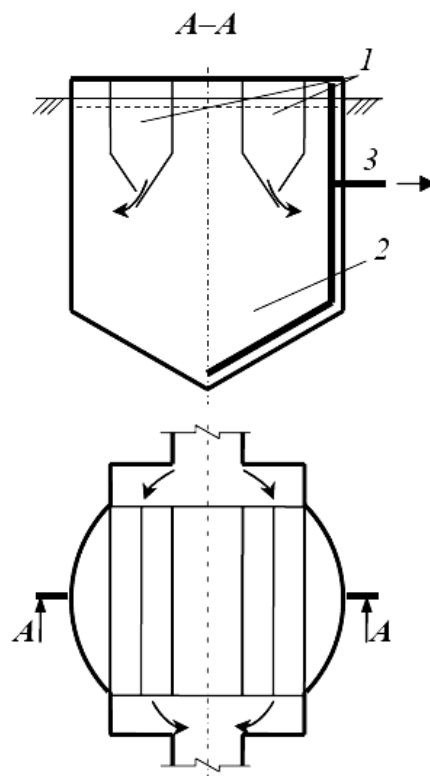


Рис. 47. Двухъярусный отстойник:

- 1 — осадочные желоба;
- 2 — септическая камера;
- 3 — выгрузная камера [7]

трубопроводу подается в верхнюю зону перегнивателя, в которой осадок подвергается сбраживанию.

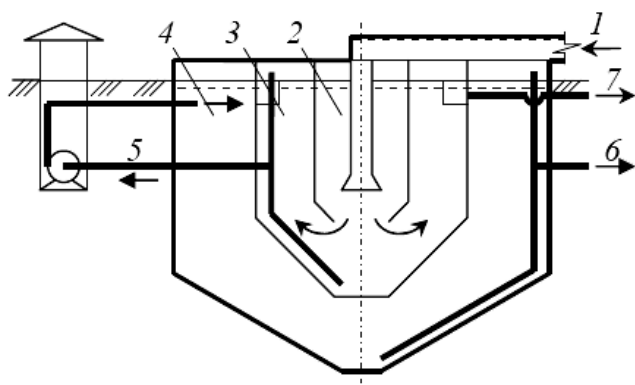


Рис. 48. Осветлитель-перегниватель:

- 1 — подводящий лоток;
- 2 — камера флокуляции;
- 3 — осветлитель;
- 4 — перегниватель;
- 5 — перекачка осадка;
- 6 — удаление сброженного осадка;
- 7 — отвод очищенной воды [7]

Область применения осветлителей-перегнивателей — для осветления бытовых и производственных стоков при расходах не более $10\,000\text{ м}^3/\text{сут}$. Расчет осветлителей-перегнивателей заключается в определении размеров камеры флокуляции, осветлителя и септической камеры (перегнивателя).

Расчетное снижение загрязнений по взвешенным веществам составляет до 70 %, по $\text{БПК}_{\text{полн}}$ — до 15 % [7].

Контрольные вопросы

1. Частицы какого размера удаляются в результате механической очистки?
2. Перечислите методы механической очистки сточных вод.
3. С какой целью в настоящее время применяют механическую очистку?
4. Дайте характеристику каждого сооружения механической очистки.
5. Частицы, какого размера являются коллоидными?
6. Какие методы входят в группу механической очистки?
7. Для чего применяются решетки?
8. Из чего состоят решетки-дробилки?
9. Какова оптимальная скорость движения воды в горизонтальных песколовках?
10. На чем основан принцип действия отстойников?
11. По каким признакам классифицируются отстойники?
12. Приведите способы ускорения процесса отстаивания в отстойниках.
13. Что такое усреднитель и с какой целью его используют?
14. Опишите принцип действия нефтеловушек и продуктоловушек.
15. Где применяют смолоуловители?
16. Какие виды фильтров вы знаете?
17. В чем особенность двухслойных фильтров?
18. Перечислите комбинированные устройства механической очистки.
19. Что такое эмшер?

4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Методы очистки сточных вод, в основе которых лежат процессы, описываемые законами физической химии, называются *физико-химическими*.

Обязательным условием применения физико-химических процессов очистки сточных вод является источник внешней энергии. Для их осуществления используют разнообразные виды энергии: электрическую, химическую, тепловую, механическую и др. Это увеличивает затраты на очистку воды [3].

Физико-химические методы используют для удаления из сточных вод тонкодисперсных взвешенных и коллоидных частиц (коагуляция, флокуляция, флотация), растворимых газов (десорбция), минеральных диссоциированных в воде примесей (ионный обмен, обратный осмос, выпаривание, кристаллизация), органических растворенных веществ (адсорбция, ректификация, экстракция, ультрафильтрация, первапорация, эвапорация).

Применение физико-химических методов позволяет достичь глубокой и стабильной степени очистки, рекуперировать различные вещества, удалить из сточных вод токсичные, биохимически неокисляемые органические загрязнения. Они применяются как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, химическими и биологическими методами и играют значительную роль при очистке производственных сточных вод, а также в водоподготовке.

4.1. Коагуляция и флокуляция

4.1.1. Физико-химические основы процессов

Коагуляцию в очистке воды применяют для ускорения процесса осаждения тонкодисперсных примесей и эмульгированных веществ. *Коагуляцией* называется процесс укрупнения мельчайших коллоидных и диспергированных веществ при их столкновении, происходящий вследствие их взаимного слипания под действием сил молекулярного притяжения и химического сродства. Завершается этот процесс отделением агрегатов слипшихся частиц от жидкой фазы, как правило, осаждением.

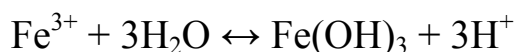
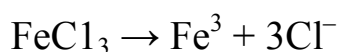
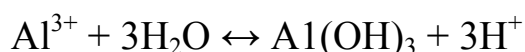
Различают два типа коагуляции:

- 1) в свободном объеме (в камерах хлопьеобразования);
- 2) контактную (в толще зернистой загрузки или в массе взвешенного осадка).

Диспергированные, коллоидные и взвешенные частички примесей воды в большинстве случаев имеют слабый отрицательный заряд, что обуславливает их агрегатную устойчивость в результате возникновения межмолекулярных сил отталкивания. Снижение агрегативной устойчивости примесей достигается добавлением к воде специальных веществ - коагулянтов. Коагулянты в воде образуют хлопья гидроксидов металлов, которые имеют слабый положительный заряд, большую удельную поверхность и высокую адсорбционную способность. Хлопья обладают способностью улавливать коллоидные и взвешенные частицы, агрегировать их и быстро осаждаться в воде.

В качестве коагулянтов обычно используются соли алюминия или железа — сульфаты алюминия, железа (II, III), хлорида алюминия, хлорида железа (III), алюмината натрия, оксихлорида алюминия и др. Могут применяться смешанные коагулянты из указанных солей, а также природные соединения, содержащие указанные соли, например, глинозем ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$). При использовании смесей $Al_2(SO_4)_3$ и $FeCl_3$ в соотношениях от 1:1 до 1:2 достигается лучший результат коагулирования, чем при раздельном использовании реагентов. Происходит ускорение осаждения хлопьев. Кроме этих коагулянтов, могут быть использованы различные глины, алюминийсодержащие и железосодержащие отходы производства (травильные растворы); пасты, смеси, шлаки, содержащие диоксид кремния. Коагуляция в среде с повышенной щелочностью происходит быстрее, поэтому если вода имеет низкую исходную щелочность, в нее добавляют известь, едкий натр, соду и т. п.

При введении в осветляемую воду коагулянтов происходит их гидролиз:



Образующиеся гидроксиды алюминия и железа представляют собой коллоидные вещества, которые сорбируют развитой хлопьевидной поверхностью взвешенные мелкодисперсные и коллоидные загрязнения, а также бактерии, гуминовые вещества и некоторые растворенные соединения, например, ионы тяжелых металлов.

Скорость коагуляции зависит от концентрации смеси электролитов, находящихся в воде и вносимых в воду вместе с коагулянтами. При малых концентрациях эффективность соударения частиц близка к нулю. По мере роста концентрации скорость коагуляции увеличивается, но не все столкновения эффективны, такую коагуляцию называют *медленной*. При

большой концентрации электролита все столкновения частиц заканчиваются образованием агрегатов, тогда наступает *быстрая* коагуляция.

В полидисперсных системах коагуляция происходит быстрее, чем в монодисперсных, так как крупные частицы при оседании увлекают за собой более мелкие.

На процесс коагуляции оказывают влияние также концентрация водородных ионов в воде (рН), анионный состав воды, правильный выбор коагулянта, щелочность воды, температура, условия перемешивания, быстрота смешения коагулянта с водой, содержание в воде естественных взвесей.

Доза коагулянтов при обработке природных вод зависит от цветности или мутности исходной воды и составляет 25—80 мг/л. При очистке сточных вод вид реагента и его дозу надлежит принимать на основании пробного коагулирования, по данным научно-исследовательских организаций или по СНиП 2.04.03-85 «Канализация» [12] для различных отраслей промышленности в зависимости от вида и концентрации загрязняющих веществ. В этом случае доза для солей алюминия и железа составляет 30—700 г/м³, извести — 1000—2500 г/м³.

Применение коагулянтов связано с трудностью регулирования технологического режима работы очистных сооружений в условиях постоянно меняющегося качества воды. Для стабилизации и интенсификации процессов очистки воды с помощью коагулянтов к последним добавляют специальные вещества — *флокулянты*. В качестве флокулянтов используют высокомолекулярные органические и минеральные соединения, хорошо растворимые в воде. Они принадлежат к классу линейных полимеров, для которых характерна цепочная форма макромолекул. Молекулярная масса флокулянтов находится в пределах от десятков тысяч до нескольких миллионов, длина цепочки, состоящей из ряда повторяющихся звеньев, достигает сотни нанометров. В качестве природных флокулянтов используют крахмал, водорослевую крупку, белковые гидролизные дрожжи, картофельную мезгу, жмыхи и др. Наиболее распространенными неорганическими флокулянтами являются активированный силикат натрия (активная кремневая кислота) и активный диоксид кремния ($x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$). Активная кремневая кислота относится к флокулянтам анионного типа. Из синтетических флокулянтов применяют прежде всего органический полимер полиакриламид (ПАА), который является анионным флокулянтом. Выпускают также флокулянты катионного типа (ВА-2, ВА-3), которые в отличие от флокулянта анионного типа ПАА вызывают образование крупных хлопьев без обработки воды коагулянтами. Использование флокулянтов позволяет снизить дозы коагулянтов, уменьшить продолжительность процесса коагулирования, повысить скорость осаждения образующихся хлопьев.

Механизм действия флокулянтов основан на следующих явлениях: адсорбции молекул флокулянта на поверхности коллоидных частиц, образовании сетчатой структуры молекул флокулянта, слипания коллоидных частиц за счет сил Ван-дер-Ваальса. ПАА образует в воде длинные цепочки вытянутой или изогнутой формы. Из-за такой формы молекулы ПАА адсорбция происходит в разных местах с несколькими частицами гидроксида, в результате чего последние связываются полимерными мостиками в тяжелые, крупные и прочные хорошо осаждающиеся агрегаты. ПАА выпускается в виде 7—9 % геля.

Флокулянты обычно применяют в дополнение к основному коагулянту, реже самостоятельно. Доза анионных флокулянтов в дополнение к коагулянтам при очистке промышленных сточных вод — 0,5—3 г/м³, доза катионных флокулянтов при тех же условиях выше и составляет 2,5—20 г/м³. Средние дозы флокулянтов — 0,5—1 г/м³.

Скорость и эффективность процесса флокуляции зависят от состава сточных вод, их температуры, интенсивности перемешивания и последовательности введения коагулянтов и флокулянтов.

4.1.2. Сооружения коагуляции и флокуляции

Процесс очистки сточных вод коагуляцией и флокуляцией состоит из следующих стадий:

- 1) дозирования и смешения реагентов со сточной водой;
- 2) хлопьеобразования;
- 3) осаждения хлопьев.

Приготовление и дозирование коагулянтов производят в виде растворов или суспензий. Растворение коагулянтов осуществляют в растворных баках, концентрация раствора при этом должна составлять 10—17 %. Для перемешивания в растворные баки подают сжатый воздух через перфорированные трубы. Концентрированные растворы коагулянтов перемешивают с водой в расходных баках лопастными мешалками, воздухом или циркуляционными насосами до концентрации 1—10 %, флокулянтов — до 0,1—1 %.

Для смешения сточной воды с коагулянтами применяют смесители: дырчатые, перегородчатые, шайбовые, вертикальные и механические с лопастными или пропеллерными мешалками. В первых четырех типах аппаратов смешение происходит вследствие изменения направления движения и скорости потока воды, они относятся к гидравлическим. Дырчатый и перегородчатый смесители выполняются в виде прямоугольного железобетонного или металлического лотка с перегородками. В первом случае в перегородке имеются отверстия, во втором — проемы в середине или по бокам, примыкающим к стенкам смесителя. Ско-

рость движения воды в лотке — 0,6 м/с, в отверстиях перегородок или проемов — 1 м/с.

Вертикальный (вихревой) смеситель имеет нижнюю коническую и верхнюю цилиндрическую части. Вода с коагулянт поступает в коническую часть со скоростью 1 м/с, при движении ее вверх к цилиндрической части скорость уменьшается до 25 мм/с, за счет чего и происходит перемешивание. В механических смесителях — аппаратах с мешалками, — процесс перемешивания должен быть равномерным и медленным, чтобы образовавшиеся хлопья не разрушались при вращении мешалки. Продолжительность пребывания воды в смесителях 1—2 мин.

После смешения сточных вод с реагентом вода направляется в камеры хлопьеобразования, служащие для образования хлопьев коагулянтов. Используют перегородчатые, вихревые, водоворотные и с механическими мешалками камеры (рис. 49).

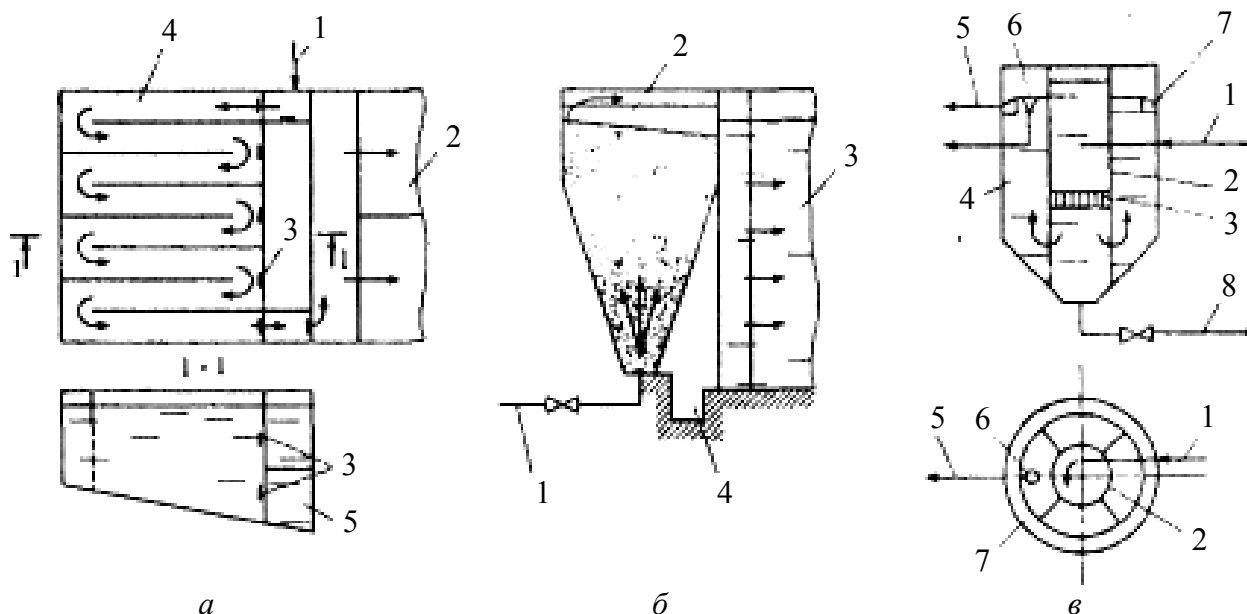


Рис. 49. Камеры хлопьеобразования

а — перегородчатая: 1 — сточная вода; 2 — отстойник;

3 — шиберы; 4 — коридоры; 5 — канал опорожнения;

б — вихревая: 1 — сточная вода; 2 — сборный лоток;

3 — отстойник; 4 — сборный канал осадка;

в — водоворотная: 1 — сточная вода; 2 — водоворотная камера хлопьеобразования;

3 — гаситель турбулентности потока; 4 — вертикальный смеситель;

5 — отвод осветленной воды; 6 — перелив; 7 — сборный лоток; 8 — отвод осадка [9]

Перегордчатая камера представляет собой резервуар, разделенный вертикальными или горизонтальными перегородками на 8—10 коридоров, скорость движения воды составляет 0,2—0,3 м/с, продолжительность пребывания 20—30 мин. Такие камеры конструктивно объединяют с горизонтальными отстойниками. Вихревые камеры работают по принципу вихревых смесителей. Скорость движения воды в нижней ко-

нической части 0,7 м/с, в верхнем сечении 4—5 мм/с, продолжительность пребывания 6—10 мин.

Водоворотная камера хлопьеобразования конструктивно объединяется с вертикальными отстойниками, совмещаясь с его центральной трубой. В верхнюю часть смесителя вводится сточная вода с вращательной скоростью на выходе из сопла 2—3 м/с. В нижней части камеры перед выходом в отстойник находятся гасители вращательного движения воды. Продолжительность пребывания воды в камере 15—20 минут.

Иногда смесители и камеры хлопьеобразования объединяют в одно сооружение. Часто стадии смешения, коагулирования и отстаивания также проводят в одном аппарате.

Осаждение хлопьев происходит в отстойниках и осветлителях. Наиболее целесообразной является двухступенчатая схема отстаивания сточных вод, когда на первой ступени осуществляется простое отстаивание в отстойнике без коагулянта, а на второй — отстаивание после предварительной обработки сточных вод коагулянтами и флокулянтами.

4.2. Флотация

Флотация — один из видов адсорбционно-пузырькового разделения, основанный на формировании всплывающих агломератов загрязнений с диспергированной газовой фазой (флотокомплексов) и последующим их отделением в виде концентрированного пенного продукта (флотошлама).

В соответствии с классификацией загрязнений городских сточных вод флотация позволяет осуществлять извлечение грубодисперсных примесей, характеризующихся показателем «взвешенные вещества», наличием плавающих веществ (нефтепродукты, жироподобные вещества) и ПАВ.

Флотационные установки используются для удаления из сточных вод масел, нефтепродуктов, смол, гидроксидов, ПАВ, полимеров, волокнистых материалов, разделения иловых смесей и др. Флотацию применяют для очистки сточных вод многих производств: нефтеперерабатывающих, искусственного волокна, целлюлозно-бумажных, кожевенных, машиностроительных, пищевых, химических. Ее используют также для выделения активного ила после биохимической очистки.

Достоинствами флотации являются непрерывность процесса, широкий диапазон применения, небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, простая аппаратура, селективность выделения примесей, по сравнению с отстаиванием большая скорость процесса, а также возможность получения шлама более низкой влажности (90—95 %), высокая степень очистки (95—98 %), возможность рекуперации удаляемых

веществ. Флотация сопровождается аэрацией сточных вод, снижением концентрации ПАВ и легкоокисляемых веществ, бактерий и микроорганизмов. Все это способствует успешному проведению последующих стадий очистки сточных вод.

Элементарный акт флотации заключается в следующем: при сближении поднимающегося в воде пузырька воздуха с твердой гидрофобной частицей разделяющая их прослойка воды при некоторой критической толщине прорывается и происходит слипание пузырька с частицей. Затем комплекс «частица — пузырек» поднимается на поверхность воды, где пузырьки собираются, и возникает пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной сточной воде.

4.2.1. Физико-химические основы и способы флотации

Флотация — это процесс, основанный на молекулярном слипании коллоидных и дисперсных примесей с пузырьками воздуха, всплывании комплекса пузырек-частица на поверхность воды с образованием пены. При этом происходит концентрирование частиц в образовавшемся пенном слое, затем пена удаляется с поверхности воды.

Эффект прилипания зависит от смачиваемости частицы, которая характеризуется величиной краевого угла (рис. 50). Чем больше краевой угол смачивания, тем более гидрофобна поверхность частицы, тем больше вероятность прилипания и прочность удержания пузырька воздуха на ее поверхности. Внешним проявлением способности жидкости к смачиваемости является величина поверхностного натяжения ее на границе с газовой фазой, а также разность полярностей на границе жидкой и твердой фаз. Процесс флотации идет эффективно при поверхностном натяжении воды не более 60—65 мН/м.

Интенсификация процесса флотации достигается гидрофобизацией поверхности дисперсных примесей реагентами, которые избирательно сорбируясь на поверхности частичек, понижают их смачиваемость, в результате чего улучшается прилипание частичек примесей к пузырькам воздуха. В качестве таких реагентов используют коагулянты, флокулянты, для создания оптимальной рН среды применяют известь, кислоты, едкий натр.

Флотируемость частиц различной крупности зависит от размеров и количества пузырьков воздуха (лучший эффект достигается при высо-

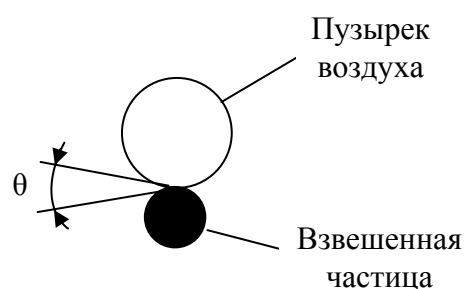


Рис. 50. Схема прилипания пузырька воздуха к взвешенной частице [9]

кой степени насыщения воды пузырьками), поверхностного натяжения воды, присутствия в воде примесей ПАВ, электролитов и др.

Достоинствами флотации является непрерывность процесса, широкий диапазон применения, небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, высокая степень очистки (95—98 %), большая скорость процесса по сравнению с отстаиванием, возможность рекуперации удаляемых веществ.

В зависимости от метода насыщения воды пузырьками воздуха, а следовательно, от их размеров различают следующие способы флотационной обработки сточных вод:

- 1) флотация с выделением воздуха из раствора (вакуумная, напорная, эрлифтная);
- 2) флотация с механическим диспергированием воздуха (импеллерная, безнапорная, пневматическая);
- 3) флотация с подачей воздуха через пористые материалы или перфорированные элементы (барботажная);
- 4) электрофлотация;
- 5) биологическая и химическая флотация.

4.2.2. Флотационные установки

Традиционным признаком классификации флотационных сооружений принят способ получения диспергированной газовой фазы (ДГФ).

Все существующие способы можно разделить на следующие группы:

- дробление газовой фазы (диспергирование) в толще жидкости;
- непосредственное выделение из обрабатываемой воды.

В соответствии с этим составлена классификация флотационных сооружений (рис. 51).

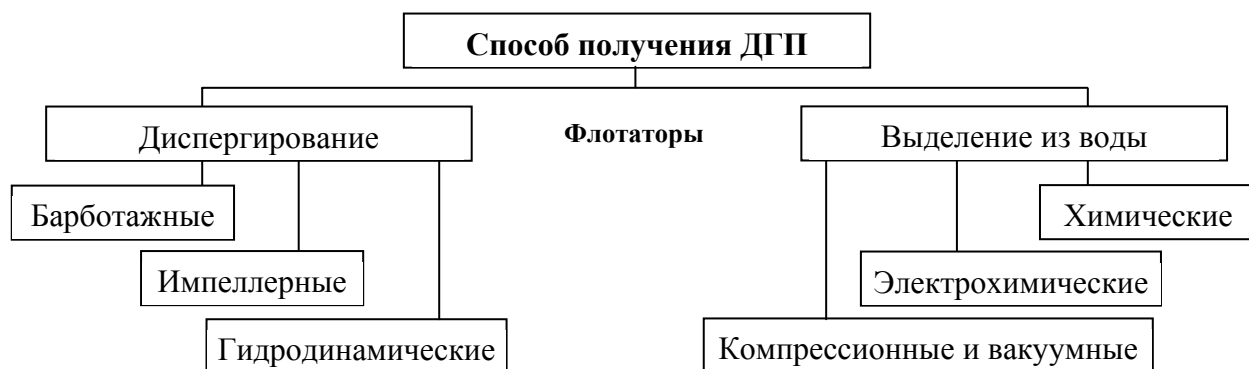


Рис. 51. Классификация флотационных сооружений по способу получения диспергированной газовой фазы (ДГФ) [4]

Барботажное получение ДГФ. Одним из наиболее распространенных методов получения ДГФ в очистных сооружениях является *барбо-*

таж. Диспергируемый газ проходит через поры (отверстия) фильтросного устройства, погруженного в воду, и образует поток газовых пузырьков. Размер образующихся пузырьков определяется условиями отрыва их от кромки пор.

Получение ДГФ механическим диспергированием. Для механического диспергирования газовой фазы используют различного вида устройства, движущиеся части которых попеременно то погружаются в жидкость, то выходят из нее. Однако в чистом виде метод механического диспергирования газовой фазы применяют редко. Чаще всего комбинируют истечение газов в виде пузырей с последующим их дополнительным диспергированием турбинкой. При этом газовая фаза образуется либо при истечении газов из барботера, расположенного ниже мешалки, либо газ подают прямо в мешалку, снабженную отверстиями.

В процессах механического диспергирования газовой фазы энергия тратится на ее дробление и на преодоление сил гидродинамического сопротивления жидкости. Обычно затраты энергии на диспергирование газовой фазы составляют 0,2—2 % от общей затрачиваемой в процессе энергии. Механизм процесса диспергирования пузырьков при механических воздействиях достаточно сложен. Он включает стадии деформирования пузырьков под влиянием касательных или растягивающих напряжений в вытянутые эллипсоиды и последующего их дробления на более мелкие.

Размер частиц газовой дисперсии зависит от интенсивности перемешивания, продолжительности и температуры.

Получение ДГФ из пересыщенных газовых растворов. В компрессионных и вакуумных флотационных установках ДГФ получают из пересыщенных растворов газа. Пересыщенный раствор газа в воде может быть получен или предварительным насыщением или в результате протекания химических, электрохимических, микробиологических и других процессов, сопровождающихся образованием газообразных продуктов реакции. Выделение газовой фазы происходит на границах раздела фаз и, частично, в объеме жидкости. Пузырьки, образующиеся в объеме жидкости, имеют меньший размер, так как период нахождения их в воде вследствие процесса седиментации оказывается меньше. Уменьшение среднего размера пузырьков, полученных из пересыщенных газовых растворов, происходит при воздействии вибрации, ультразвука, понижении давления в сооружении.

По сравнению с другими методами, получение ДГФ из пересыщенных газовых растворов обеспечивает наибольшую дисперсность газовой фазы в воде.

Формирование ДГФ при протекании реакций, сопровождающихся выделением газов. При протекании в очищаемой воде химиче-

ских биохимических и электрохимических реакций, сопровождающихся образованием газов, получают пересыщенные газовые растворы, из которых выделяются пузырьки. Существенное отличие этого метода получения ДГФ от получения ее из пересыщенных газовых растворов — другой характер изменения пересыщения во времени. В начальный период реакции требуется некоторое время до возникновения состояния пересыщения жидкой фазы газовым компонентом. Далее характер пересыщения может быть различным.

При проведении реакции в жидкой фазе степень пересыщения быстро увеличивается, достигает максимума, а затем по мере образования пузырьков и их роста снова уменьшается. Примером этого может служить взаимодействие растворов карбонатов с растворами кислот при их быстром смешении.

Если в реакции используют твердые исходные продукты, то газ выделяется преимущественно на их поверхности. Реакции с использованием твердых веществ являются саморегулирующимися, так как возникающим газовой фазой уменьшается доступ жидкого реагента в зону реакции до установления состояния подвижного равновесия.

Пузырьки газов, образующиеся в электрохимических процессах полидисперсны по размерам, а гистограммы получающихся газовых дисперсий изменяются во времени. Скорость газовой выделения пропорциональна плотности тока и электрохимическому выходу реакции. Размер образующихся пузырьков зависит от поверхностных свойств границы раздела «газ — жидкость — твердое тело», значений электрохимического потенциала, и перенапряжения.

Влияние величины рН на размер пузырьков обусловлено процессами концентрационной деполяризации. При уменьшении концентрации ионов водорода у поверхности катода концентрация электролита в двойном электрическом слое повышается, что вызывает уменьшение краевых углов смачивания и размеров пузырьков. Присутствие в сточных водах ПАВ, ионов тяжелых металлов и других примесей изменяет процессы газообразования, изменяя величину перенапряжения, и также снижает краевой угол смачивания.

Размеры пузырьков образующейся газовой дисперсии непостоянны по высоте флотаторов при любом способе их получения. Кроме условий образования, дисперсный состав пузырьков существенно зависит от гидродинамического режима флотационного сооружения, который оказывает непосредственное влияние на процессы коалесценции и сепарации ДГФ.

Эффективность флотационной очистки сточных вод и ее технико-экономические показатели в значительной мере зависят от правильности выбора вида флотационного сооружения. Определяющим критери-

ем при этом должны являться возможность и условия формирования в очищаемой воде устойчивого флотокомплекса.

Элементарный флотокомплекс может быть трех типов (рис. 52).

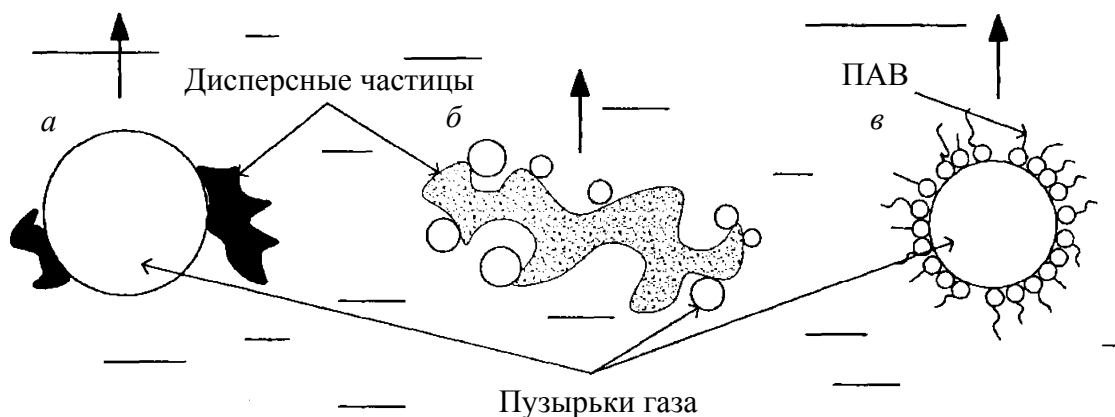


Рис. 52. Основные типы элементарных флотокомплексов:

a — газовой-дисперсный; *б* — дисперсно-газовый; *в* — газовой-молекулярный [4]

Первый тип (рис. 52*a*) образуется в результате столкновений дисперсных частиц загрязнений (твердых или жидких) с движущимися пузырьками воздуха или другого газа. Структура такого флотокомплекса, как правило, состоит из малого числа относительно крупных пузырьков. Условно, этот тип флотокомплекса можно назвать *газово-дисперсным*. Он характерен для ротационных установок с пневматической, гидромеханической или механической системой получения ДГФ.

Второй тип (рис. 52*б*) наблюдается при выделении газа из обрабатываемой воды в условиях уменьшения его растворимости. Поскольку вероятность зарождения пузырьков на межфазной границе во много раз больше вероятности их возникновения в объеме чистой воды, дисперсные частицы загрязнений становятся центрами формирования флотокомплексов. В дальнейшем в результате коалесценции газовой фазы он может трансформироваться в первый тип. Однако при определенных условиях, например присутствие в воде ПАВ, второй тип флотокомплекса достаточно устойчив. Структурно он определяется как *дисперсно-газовый*. Флотокомплексы этого типа преобладают в компрессионных, вакуумных, электрохимических и других установках с получением ДГФ выделением ее из воды.

Многие органические вещества, входящие в систему загрязнения сточных вод, проявляют сорбционные свойства на границе раздела фаз «вода — газ». Контакт всплывающих пузырьков газа с такими веществами приводит к образованию на их поверхности адсорбционного слоя, формируя третий тип флотокомплексов — *газово-молекулярный* (рис. 52*в*). Наличие этого типа в структуре флотационной пульпы обу-

славливается главным образом физико-химическими свойствами системы загрязнений и мало зависит от вида флотационного сооружения. Типичным примером является флотокомплекс, возникающий при контакте пузырьков с молекулами ПАВ.

При гидромеханическом взаимодействии воды, загрязнений и флотокомплексов внутри камеры флотации, наибольшую устойчивость проявляет структура газовой-молекулярного флотокомплекса, а наименьшую газовой-дисперсного.

Основные технологические схемы применения флотационных методов очистки сточных вод приведены на рис. 53. По схеме «а» осуществляют флотационные процессы, в которых используют барботажный, пневмомеханический, электрохимический и другие способы получения ДГФ непосредственно во флотационной камере. Схемы «б» и «в» распространены при компрессионном и вакуумном способах, а схема «г» — при компрессионном и гидромеханическом [4].

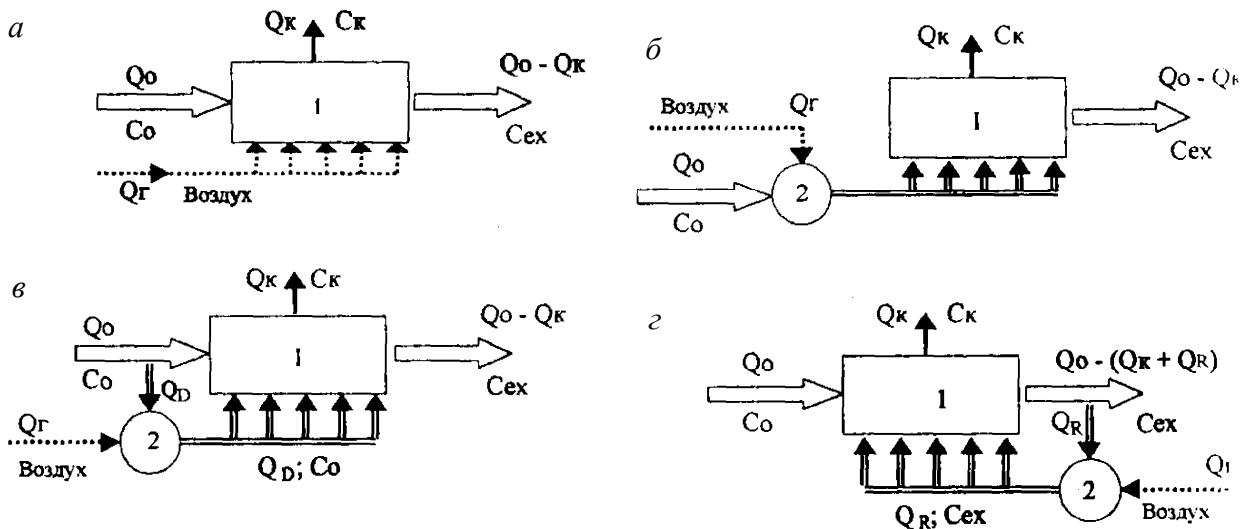


Рис. 53. Технологические схемы флотационных установок:
1 — камера флотации; 2 — сатуратор [9]

Флотационное сооружение состоит из камеры флотации и вспомогательного оборудования (рис. 54). По форме камеры флотации бывают прямоугольные или круглые в плане глубиной не более 3 м. Внутри камеры размещены устройства распределения поступающей на очистку воды и водовоздушной смеси, направляющие перегородки, устройства для поддержания постоянства положения уровня воды в сооружении, сбора и удаления осадков и флотошлама.

В состав вспомогательного оборудования входит установка для насыщения воды воздухом при избыточном давлении 0,3—0,6 МПа.

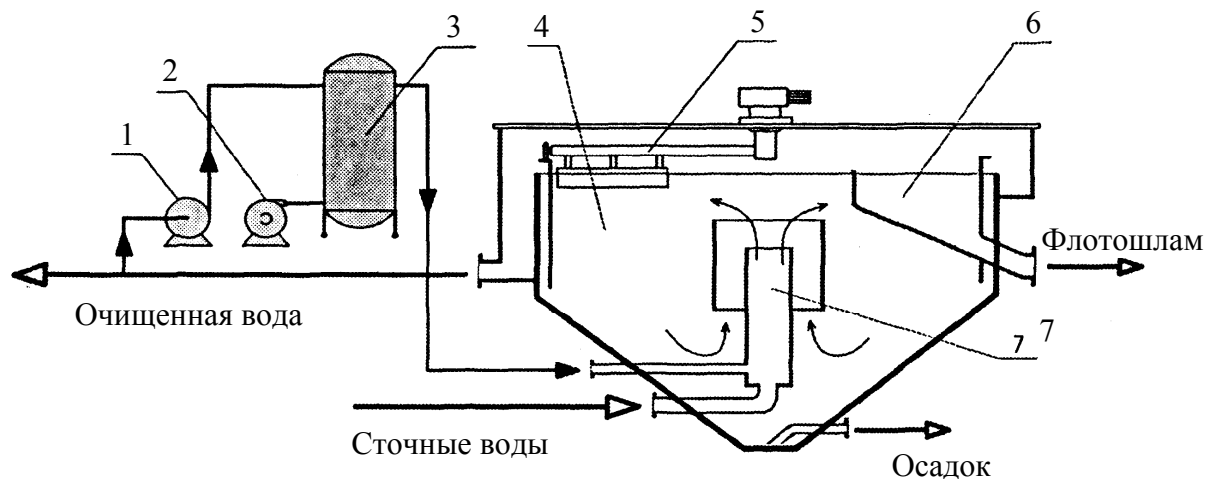


Рис. 54. Схема флотационного сооружения:

- 1 — циркуляционный насос; 2 — компрессор; 3 — напорный бак;
 4 — камера флотации; 5 — скребковый механизм; 6 — сборник флотошлам;
 7 — система распределения воды и водовоздушной смеси [9]

Часть потока очищенной воды под давлением подается в напорный бак (сатуратор). Туда же компрессором подают воздух. Возможна также подача воздуха через водо-воздушный эжектор, установленный на байпасной линии насоса. Количество подаваемого воздуха зависит от начальной концентрации загрязняющих веществ и может изменяться от 40 до 15 дм³ на 1 кг извлекаемых веществ при их начальной концентрации соответственно от 0,2 до 4 г/л. Насыщенная воздухом вода из сатуратора поступает во флотационную камеру, где происходит резкое снижение давления. Выделяющиеся пузырьки воздуха образуют с загрязнениями флотокомплексы, которые всплывают на открытую поверхность флотатора. Всплывающая масса непрерывно удаляется механизмами для сгребания пены в пеносборник.

Применение флотации после сооружений полной биологической очистки городских сточных вод позволяет существенно улучшить многие показатели качества воды.

Среди других сооружений гравитационного отделения загрязнений флотаторы отличаются большей эффективностью, меньшими размерами, технологической гибкостью и управляемостью. Недостатками являются зависимость от электроснабжения и большее потребление электроэнергии.

Наиболее широко в процессах очистки сточных вод используется напорная флотация. Она позволяет очищать сточные воды с концентрацией взвесей до 4—5 г/л. Для увеличения степени очистки в воду добавляют коагулянты. Установки напорной флотации просты и надежны в эксплуатации. Принципиальная схема напорной флотации приведена на рис. 55.

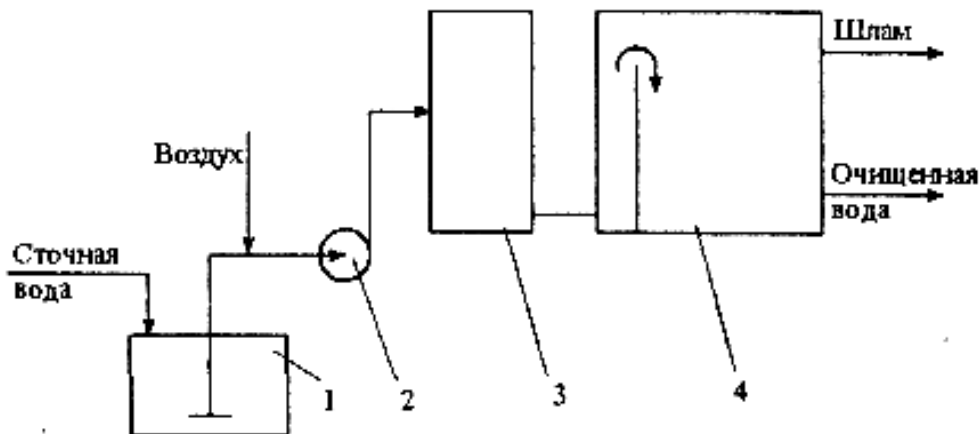


Рис. 55. Схема напорной флотации [9]

Установка для напорной флотации включает резервуар сточной воды, насосы, эжекторы или компрессоры, напорный резервуар для насыщения воды воздухом (сатуратор), флотационную камеру и оборудование для сбора и удаления пены с загрязнениями.

Из резервуара вода перекачивается насосом, во всасывающий трубопровод которого засасывается воздух. Образующаяся водо-воздушная смесь направляется в напорную емкость, где при повышенном давлении (0,15—0,4 МПа) воздух растворяется в воде. При поступлении водо-воздушного раствора во флотатор, который работает при атмосферном давлении, воздух выделяется в виде пузырьков и флотирует взвешенные частицы. Таким образом, образование пузырьков газа происходит вследствие уменьшения растворимости воздуха в воде при снижении давления. Количество растворяющегося в сатураторе воздуха должно составлять 1,5—5 % объема обрабатываемой сточной воды. Рассмотренная схема является прямоточной.

Имеются и другие схемы напорной флотации: с рециркуляцией, когда в сатуратор подается 20—50 % очищенной воды; с частично прямоточной схемой, когда в сатуратор направляется 30—70 % неочищенной воды, а остальная часть — сразу же во флотатор; с рабочей жидкостью (рис. 56).

Флотаторы представляют собой отстойники радиального типа с встроенной флотационной камерой глубиной не менее 3 м, имеющей механизм для сгребания пены. Могут быть прямоугольные многокамерные флотаторы, их глубина 1—1,5 м. Первые применяются при расходе воды более 100 м³/ч, вторые — до 100 м³/ч. Продолжительность пребывания воды во флотационной камере при напорной флотации составляет от 5—7 до 20 мин.

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

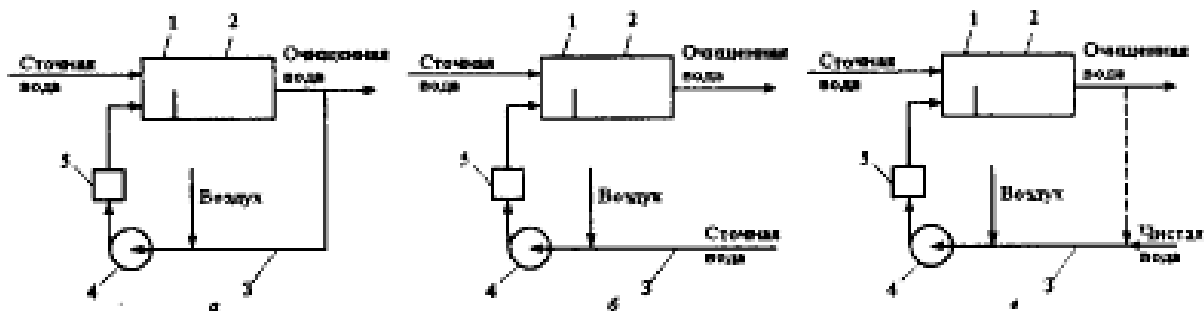


Рис. 56. Схемы подачи воды при напорной флотации:

а — с рециркуляцией; б — с частично прямоточной схемой; в — с рабочей жидкостью
 1 — приемное отделение; 2 — флотатор; 3 — линия всасывания; 4 — насос;
 5 — напорный бак [9]

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.

Эрлифтные (поднимающие воздух) установки применяют для очистки сточных вод в химической промышленности. При эрлифтной флотации затраты энергии в 2—4 раза меньше, чем при напорной, но конструкция установки требует значительного перепада отметок по высоте между питательным резервуаром со сточной водой, аэратором и флотационной камерой (до 20—30 м), что значительно сужает область применения этого метода (рис. 57).

Флотация с механическим диспергированием воздуха осуществляется *импеллерами* — турбинками насосного типа. При вращении импеллера в жидкости возникает большое число мелких вихревых потоков, которые разбиваются на пузырьки определенной величины. Такие установки применяют для очистки сточных вод, с высоким содержанием взвешенных частиц (более 2 г/л).

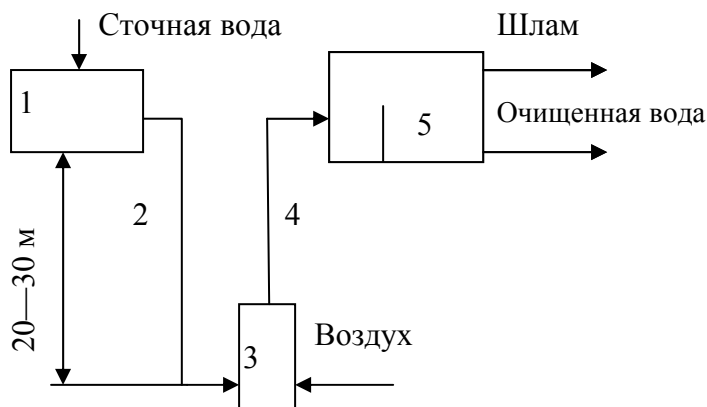


Рис. 57. Схема эрлифтной флотационной установки:
 1 — емкость; 2 — трубопровод; 3 — аэратор;
 4 — труба эрлифта; 5 — флотатор [9]

Эффективность очистки импеллерной флотацией зависит от скорости вращения импеллера. Схема флотационной машины с импеллером показана на рис. 58. Сточная вода поступает в приемный карман флотационной машины и по трубопроводу попадает в импеллер, который вращается на нижнем конце вала. Вал заключен в трубку, через которую

засасывается воздух, так как при вращении импеллера образуется зона пониженного давления. Обычно флотационная машина состоит из нескольких последовательно соединенных камер. Скорость вращения импеллера 12—15 м/с, диаметр импеллера 600—700 мм.

При пневматической флотации измельчение пузырьков воздуха достигается путем впуска воздуха во флотационную камеру через специальные сопла на воздухораспределительных трубках, укладываемых на дно флотационной камеры. Такие установки применяются при очистке сточных вод, содержащих растворенные примеси, агрессивные по отношению к механизмам, имеющим движущиеся части (насосы, импеллеры).

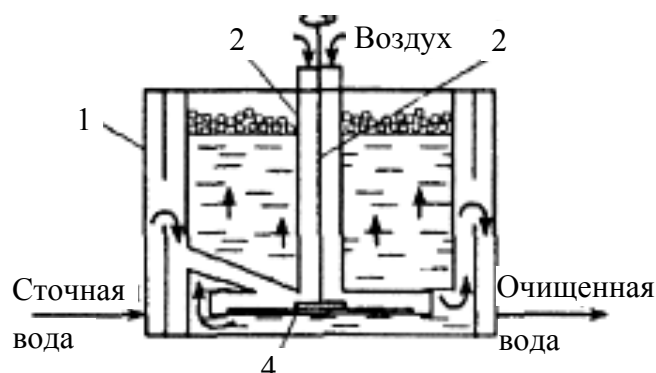


Рис. 58. Импеллерный флотатор
1 — камера; 2 — труба;
3 — вал; 4 — импеллер [9]

Диспергирование воздуха в безнапорных установках происходит за счет вихревых потоков, создаваемых рабочим колесом центробежного насоса. Схема флотации аналогична напорной, но в ней отсутствует сатуратор, что и является преимуществом безнапорной флотации.

Флотация воздуха через пористые материалы (барботажная) отличается простотой аппаратного оформления процесса и относительно малыми расходами энергии. Однако происходит частое зарастание и засорение отверстий пористого материала, а также имеются трудности в подборе материала с одинаковыми отверстиями пор, обеспечивающими образование мелких и равных по размерам пузырьков.

Химическая флотация заключается во введении в сточную воду химических реагентов, которые выделяют пузырьки газа: O_2 , CO_2 , Cl_2 и др. Пузырьки этих газов при некоторых условиях могут прилипать к нерастворимым взвешенным частицам и выносить их в пенный слой. Такое явление, например, наблюдается при обработке сточных вод хлорной известью с введением коагулянтов.

Биологическая флотация применяется для уплотнения осадка из первичных отстойников. При этом осадок подогревается паром в специальной емкости до 35—55 °С и при этих условиях выдерживается несколько суток. В результате деятельности микроорганизмов выделяются пузырьки газа, которые уносят частицы осадка в пенный слой, где они уплотняются и обезвоживаются. Таким путем за 5—6 суток влажность осадка можно понизить до 80 % и тем самым упростить его дальнейшую обработку.

Ионной флотацией извлекают из воды ионы. В сточную воду вводят воздух, разбивая его на пузырьки каким-либо из вышеописанных способов, и собиратель (поверхностно-активное вещество, которое сорбируясь на частицах, понижает их смачиваемость, т. е. делает гидрофобными). Собиратель образует в воде ионы, которые имеют заряд, противоположный заряду извлекаемого иона. Ионы собирателя и загрязнений концентрируются на поверхности газовых пузырьков и выносятся ими в пену. Этот процесс можно использовать для удаления из сточных вод таких металлов, как Mo, W, V, Pt, Re и др.

Для удаления из воды ПАВ используют пенную сепарацию или пенное фракционирование, основанные на селективной адсорбции одного или нескольких растворенных веществ на поверхности газовых пузырьков, которые поднимаются вверх. Образовавшаяся пена обогащается адсорбированным веществом, что и обеспечивает фракционирование компонентов раствора. Процесс аналогичен адсорбции на твердых сорбентах. При пенной сепарации одновременно с ПАВ происходит удаление из воды суспендированных или эмульгированных частиц, а также частично растворенных веществ. Для барботажа чаще применяют мелкопористые аэраторы.

4.3. Адсорбция

Адсорбционные методы широко применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биохимической очистки, а также в локальных установках, если концентрация этих веществ в воде невелика, и они биологически не разлагаются или являются сильно-токсичными. Применение локальных установок целесообразно, если вещество хорошо адсорбируется при небольшом удельном расходе адсорбента.

Адсорбцию используют для обезвреживания сточных вод от фенолов, гербицидов, пестицидов, ароматических нитросоединений, ПАВ, красителей и др. Достоинством метода является высокая эффективность, возможность очистки сточных вод, содержащих несколько веществ, а также рекуперации этих веществ.

Адсорбционная очистка может быть:

- 1) регенеративной, т. е. с извлечением вещества из адсорбента и его утилизацией;
- 2) деструктивной, при которой извлеченные из сточных вод вещества уничтожаются вместе с адсорбентом.

Эффективность адсорбционной очистки достигает 80—95 % и зависит от химической природы адсорбента, величины адсорбционной по-

верхности и ее доступности, от химического строения вещества и его состояния в водном растворе.

4.3.1. Физико-химические основы процесса

Адсорбция растворенных веществ — результат перехода молекулы растворенного вещества из раствора на поверхность твердого сорбента под действием силового поля поверхности. При этом наблюдается два вида межмолекулярного взаимодействия: молекул растворенного вещества с молекулами поверхности сорбента и с молекулами воды в растворе (гидратация). Разность этих двух сил и определяет возможность удерживания вещества на поверхности сорбента. Чем больше энергия гидратации молекул растворенного вещества, тем большее противодействие испытывают эти молекулы при переходе на поверхность сорбента и тем слабее адсорбируется вещество из раствора.

В качестве сорбентов могут служить различные искусственные и природные пористые материалы, прежде всего активированные угли различных марок, силикагели, зола, шлак, торф и др. Минеральные сорбенты — глины, силикагели, алюмогели, гидроксиды используются мало, так как энергия взаимодействия их с молекулами воды велика и нередко превышает энергию адсорбции. Наиболее универсальными сорбентами являются активные угли.

Активированные угли, предназначенные для очистки сточных вод, должны быть:

- относительно крупнопористыми, чтобы они могли улавливать большие и сложные органические молекулы;
- обладать небольшой удерживающей способностью при регенерации;
- не подвергаться истиранию;
- не быть катализаторами по отношению к реакциям, могущим протекать в водной среде;
- легко смачиваться водой;
- иметь низкую стоимость.

Для адсорбции из жидких сред применяют порошкообразные (размеры частиц менее 0,25 мм) и гранулированные (размеры частиц более 1 мм) активные угли БАУ, КАД-молотый, КАД-иодатный АГ-2 АР-3, СКТ и др.

В процессе адсорбционной доочистки активный уголь удаляет из воды биохимически неокисляемые органические вещества, микроколичества ионов тяжелых металлов, радиоактивных изотопов, хлоридов ртути и золота, солей серебра, остаточный хлор, аммонийный азот, бактериальные и другие загрязнения.

Одним из основных критериев оценки адсорбционных свойств сорбентов является изотерма сорбции, которая аналитически в случае разбавленных растворов, что имеет место при очистке сточных вод, описывается уравнением Ленгмюра в следующем виде:

$$a = K_{\text{адс}} \cdot C_p,$$

где a — количество поглощенного адсорбата единицей объема или веса адсорбента (удельная адсорбция), кг/кг; $K_{\text{адс}}$ — адсорбционная константа распределения сорбата между сорбентом и раствором, зависящая от температуры; C_p — равновесная концентрация адсорбируемого вещества в жидкости, кг/кг.

Вещества, хорошо адсорбируемые из водных растворов активными углями, имеют выпуклую изотерму адсорбции, плохо адсорбируемые — вогнутую. Изотермы адсорбции в статических и динамических условиях приведены на рис. 59.

Скорость процесса адсорбции зависит от концентрации, природы и структуры растворенных веществ, температуры воды, вида и свойств адсорбента.

В общем случае процесс адсорбции складывается из трех стадий:

- 1) перенос вещества из сточной воды к поверхности адсорбента (внешнедиффузионная область);
- 2) перенос вещества внутрь зерен адсорбента (внутридиффузионная область);
- 3) собственно адсорбционный процесс.

Скорость собственно адсорбции невелика, следовательно, лимитирующей стадией может быть внешняя либо внутренняя диффузия, либо обе вместе.

Во внешнедиффузионной области скорость массопереноса в основном определяется интенсивностью турбулентности потока, т. е. скоростью жидкости. Во внутридиффузионной области скорость массопереноса зависит от вида и размеров пор адсорбента, от формы и размеров его зерен, от размера молекул адсорбирующихся веществ. Рекомендуемые для ориентировочных расчетов значения скорости воды $V = 1,8$ м/ч, диаметра зерна адсорбента $d_j = 2,5$ мм. При меньших значениях процесс

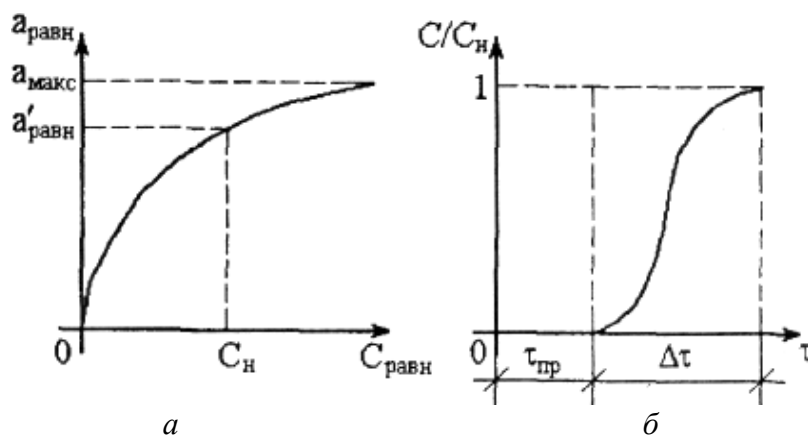


Рис. 59. Изотермы адсорбции в статических (а) и динамических (б) условиях [9]

лимитируется по внешнедиффузионной области, при больших — во внутридиффузионной.

4.3.2. Статическая адсорбция

Процесс сорбции может осуществляться в статических или динамических условиях. При статической адсорбции жидкость не перемещается относительно частицы сорбента, а движется вместе с последней. При этом проводят интенсивное перемешивание, используя активный уголь с размерами частиц 0,1 мм и менее, в одну или несколько ступеней. Затем сорбент отделяется от воды отстаиванием или фильтрованием. Статическая одноступенчатая адсорбция применяется, когда адсорбент дешев или является отходом производства.

Более эффективно процесс протекает при использовании многоступенчатых установок, осуществляемых в прямоточном и противоточном вариантах. Схемы прямоточной установки с последовательным введением сорбента и с противоточным введением сорбента приведены на рис. 60.

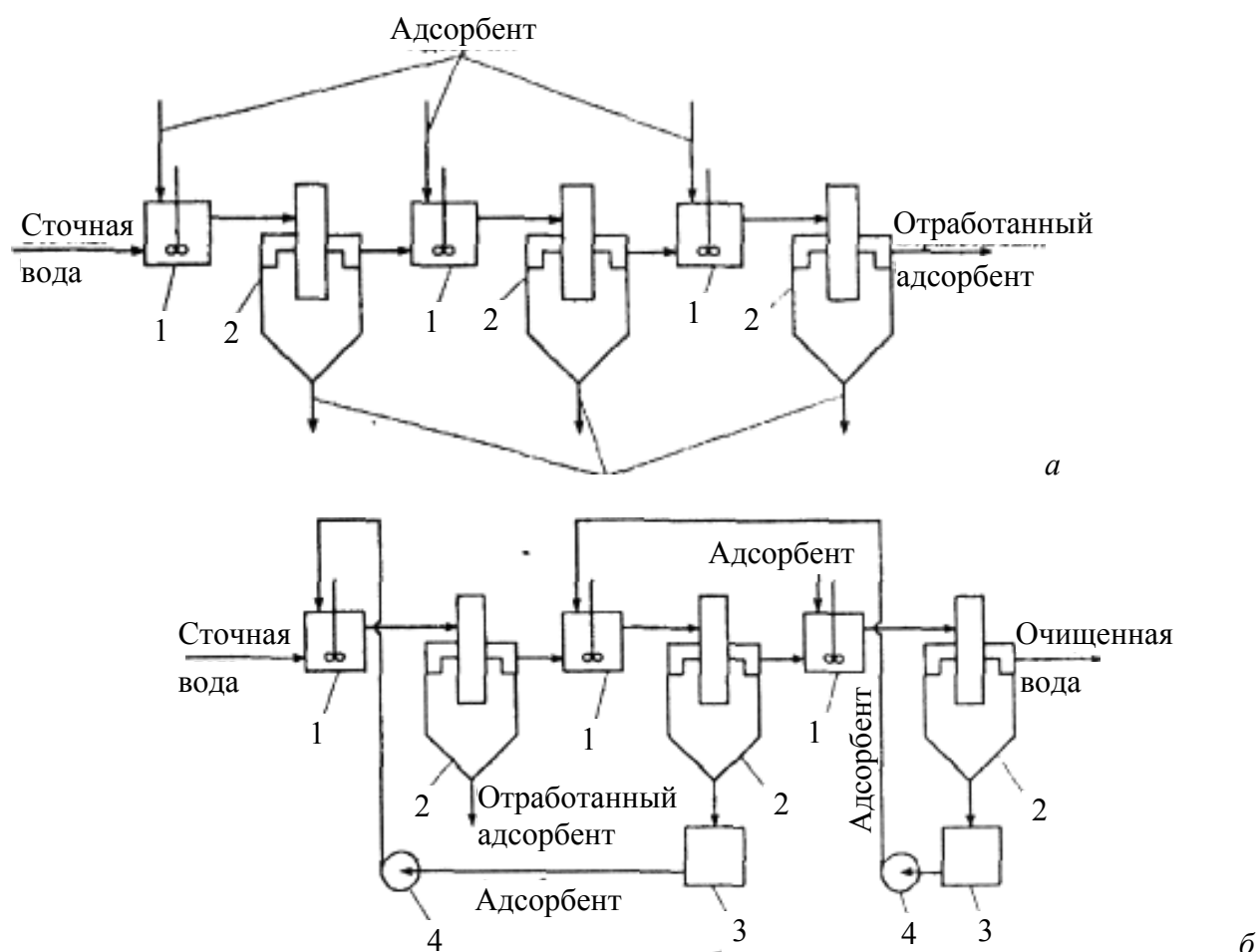


Рис. 60. Схема адсорбционных установок:

а — с последовательным введением сорбента; б — с противоточным введением сорбента
 1 — смесители; 2 — отстойники; 3 — приемники адсорбента; 4 — насосы [9]

При последовательном введении сорбента его подают в каждую ступень и из нее же отводят отработанный сорбент. В противоточной схеме адсорбент вводят однократно в последнюю ступень и он движется навстречу сточной воде. Противоточные сорбционные установки применяются значительно шире благодаря более экономичному расходованию адсорбента.

4.3.3. Динамическая адсорбция

Наибольшее практическое применение до настоящего времени получили установки полупериодического действия (непрерывного по воде и периодического по углю), в которых осуществляется процесс адсорбции в динамических условиях. Вода фильтруется через слой сорбента высотой 1—2 м и крупностью, зерен 0,8—5 мм. Скорость фильтрования зависит от концентрации растворенных в воде веществ и составляет 1—12 м/ч. Наиболее рациональное направление фильтрования снизу вверх для равномерного заполнения всего сечения колонны и вытеснения пузырьков воздуха из пор сорбента. Потери напора составляют до 0,5 м на 1 м слоя загрузки. Слои адсорбента обрабатываются постепенно, в одной колонне процесс ведут до проскока, затем адсорбент выгружают на регенерацию. При непрерывной организации процесса используют несколько колонн (рис. 61). По такой схеме две колонны работают последовательно, третья находится на регенерации.

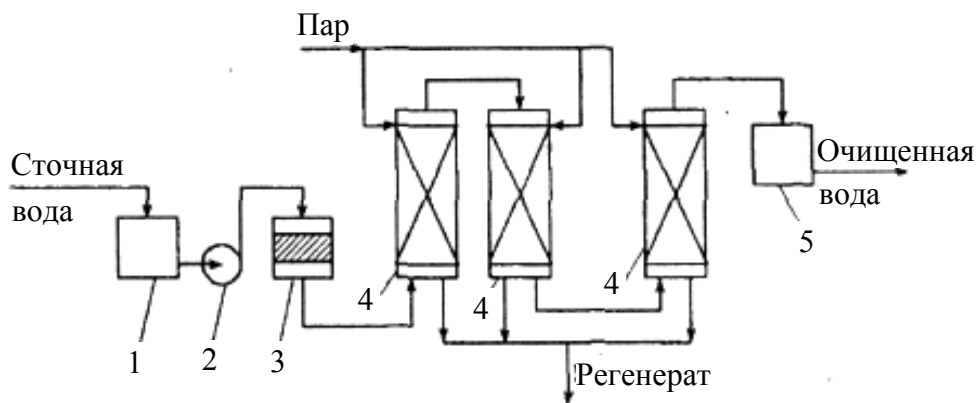


Рис. 61. Схема непрерывной адсорбционной установки
1 — усреднитель; 2 — насос; 3 — фильтр;
4 — адсорбционные колонны (фильтры); 5 — емкость [9]

По мере насыщения адсорбента первый по ходу движения воды адсорбер отключается на регенерацию, а прошедший регенерацию, включается последним по ходу движения воды.

Адсорбция в динамических условиях в стационарном слое позволяет более полно использовать емкость сорбента, получить устойчивые, надежные результаты, провести автоматизацию процесса.

При инженерных расчетах адсорбции из водных сред часто используют формулу для определения продолжительности защитного действия насыпного фильтра T :

$$T = k_{з.д} \cdot H - \tau,$$

где $k_{з.д}$ — коэффициент защитного действия, определяемый экспериментально; H — высота слоя загрузки; τ — потеря времени защитного действия.

При относительно высоком содержании в сточной воде мелкодиспергированных взвешенных частиц, заиливающих сорбент, а также в случае, если равновесие устанавливается медленно, рационально применять процесс с псевдооживленным слоем сорбента. Псевдооживление слоя наступает при повышении скорости потока сточной воды, проходящей сверху вниз, до такой величины, при которой зерна расширившегося слоя начинают интенсивно и беспорядочно перемешиваться в объеме слоя, сохраняющего постоянную для данной скорости высоту. При размерах частиц активированного угля 0,25—1 мм скорость потока воды составляет 10—20 м/ч, при крупности зерен 1—2,5 мм — 30—40 м/ч.

Гидравлическое сопротивление в кипящем слое по сравнению с неподвижным меньше, а скорость массообмена выше в результате использования более мелких частиц адсорбента. Однако в кипящем слое уменьшается адсорбционная емкость и коэффициент защитного действия из-за интенсивности перемешивания частиц по высоте слоя, велик унос сорбента, сложнее конструкция адсорберов.

Если из колонны с неподвижным слоем сорбента отводить отработанный, или так называемый мертвый, слой и одновременно вводить в нее такое же количество свежего сорбента, то колонна будет работать непрерывно. В таких установках с движущимся слоем адсорбента процесс адсорбции и регенерации идет непрерывно, что позволяет значительно интенсифицировать процесс очистки.

4.3.4. Адсорбционные аппараты и схемы адсорбционных установок

Чаще всего в практике водоочистки используются аппараты с неподвижным, плотно движущимся, псевдооживленным слоем поглотителя (сорбция в динамических условиях), а также аппараты, в которых обеспечивается интенсивное перемешивание воды с порошкообразным сорбентом (сорбция в статических условиях).

В качестве адсорберов применяют конструкции безнапорных открытых и напорных фильтров с загрузкой в виде плотного слоя гранулированного угля высотой до 2,5—2,7 м. Различают горизонтальные и

вертикальные фильтры, последние могут быть кольцевыми. Вода в таких аппаратах движется снизу вверх, заполняя все сечение. Диаметры сорбционных фильтров от 1,0 до 3,4 м, высота принимается конструктивно. Условием применимости таких аппаратов является практически полное отсутствие взвесей в очищаемой воде, не более 5 мг/л, во избежание забивки адсорбента. Используются они при регенеративной очистке локальных сточных вод с целью утилизации выделенных веществ. В них осуществляется собственно адсорбция, десорбция (чаще всего водяным паром) и охлаждение.

В установках с движущимся слоем адсорбента снизу вверх идет очищаемая вода, сверху вниз под действием силы тяжести — адсорбент. При этом колонна делится на несколько зон: адсорбционную, ректификационную, десорбционную. В адсорбционной зоне сточная вода взаимодействует со слоем, активного угля, при этом поглощаемые компоненты извлекаются, а очищенная вода отводится из установки. В десорбционной и ректификационной зонах происходит соответственно выделение поглощенных компонентов и регенерация адсорбента.

Установки с псевдооживленным слоем могут быть периодического и непрерывного действия. В промышленности обычно применяются непрерывно действующие многокамерные адсорберы с кипящим слоем. Кипящий слой не заиливается взвешенными веществами, имеет меньшее гидравлическое сопротивление по сравнению с неподвижным слоем, а скорость массообмена выше в результате использования менее крупных частиц активного угля.

Схемы адсорберов непрерывного действия с кипящим слоем адсорбента приведены на рис. 62.

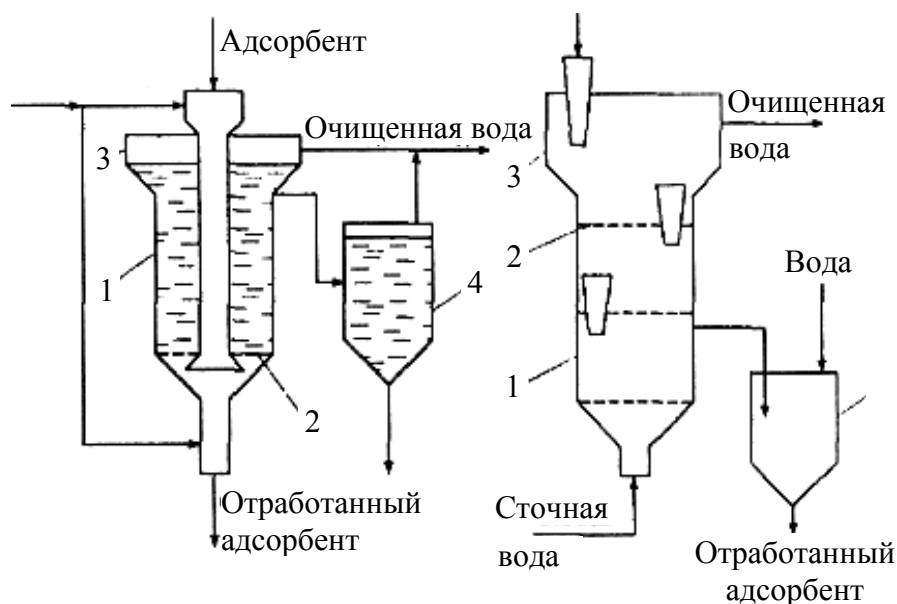


Рис. 62. Схемы адсорберов с псевдооживленным слоем сорбента:
а — цилиндрический одноярусный; *б* — трехярусный;
 1 — корпус аппарата; 2 — решетка; 3 — отстойная зона; 4 — сборник [9]

Показателем работы адсорберов с псевдооживленным слоем является относительное расширение слоя H/H_0 (H — высота псевдооживленного, H_0 — высота неподвижного слоя). Оптимальное значение $H/H_0 = 1,4—1,6$, что регулируется скоростью подачи воды.

Простейший однокамерный адсорбер представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, в котором жидкость движется снизу вверх, поддерживая слой адсорбента во взвешенном состоянии. Очищенная вода удаляется через циклонное устройство, служащее для выделения из жидкости захваченных ею мелких частиц адсорбента.

Активированный уголь подается в адсорбера в виде 15—20 % суспензии с водой, в одноярусном адсорбере под решетку, в многоступенчатом — на верхний ярус. Ступени (ярусы, секции) соединены между собой переточными коническими трубками, по которым избыток угля с вышележащего яруса перетекает на нижележащий. Оптимальное число секций 3—4. Отработанный уголь отводится на регенерацию.

На рис. 63 приведена непрерывно действующая схема адсорбционной установки с аппаратами кипящего слоя.

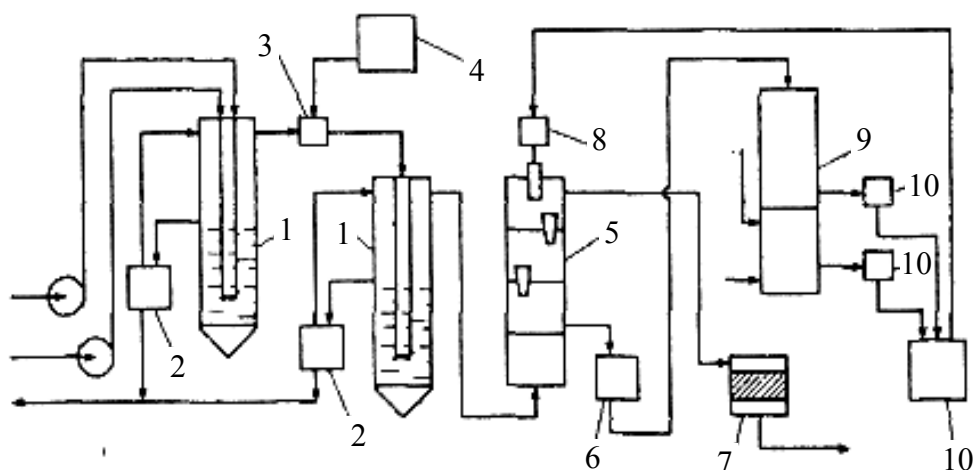


Рис. 63. Схема очистки сточных вод анилинокрасочного производства адсорбцией
 1 — осветлители со слоем взвешенного осадка; 2 — осадкоуплотнители; 3 — смеситель;
 4 — бак известкового молока; 5 — многоярусный противоточный адсорбер;
 6 — углеуплотнитель; 7 — фильтр; 8 — дозатор активного угля;
 9 — печь регенерации и активации угля в псевдооживленном слое;
 10 — сборники регенерированного и активированного угля [9]

4.3.5. Методы регенерации адсорбентов

Регенерация адсорбента (активного угля) является важнейшей стадией адсорбционной очистки. Цель регенерации — с одной стороны, десорбция адсорбированных из воды примесей или деструктивное их разрушение и, с другой стороны, восстановление адсорбционной способности активного угля.

Методы регенерации:

- 1) деструктивные;
- 2) регенеративные.

К первым относятся термические и химические окислительные процессы, ко вторым — десорбция насыщенным или перегретым водяным паром, нагретым инертным газом, экстракция органическими растворителями. Выбор того или иного способа регенерации зависит от конкретных условий и оказывает влияние на стоимость адсорбционной очистки. Часто указанные способы комбинируются друг с другом.

Чаще всего для десорбции активных углей применяют насыщенный или перегретый водяной пар с температурой 200—300 °С при избыточном давлении 0,3—0,6 МПа. Так, например, регенерируются легколетучие органические вещества. Расход пара 2,5—3 кг на 1 кг отгоняемого вещества, для высококипящих в 5—10 раз больше. После десорбции пары конденсируются и вещество извлекается из конденсата, объем которого составляет 5—7,5 % от объема сточных вод.

При использовании воздуха его температура не превышает 120—140 °С, инертных или дымовых газов — 300—500 °С. Их пропускают через насыщенный летучими соединениями активный уголь с последующим резким охлаждением газов в теплообменнике. Сконденсированный продукт направляют на утилизацию, а десорбирующий газ вновь используют для очистки активированного угля.

При термической регенерации прокаливанием отработанные активные угли нагревают при температуре 500—1000 °С без доступа воздуха в специальных печах. При термической регенерации перегретым водяным паром процесс ведут при температуре 700—800 °С в бескислородной среде. Термическая регенерация связана с потерей 5—10 % адсорбента.

В качестве десорбентов могут быть использованы легкоперегоняющиеся с водяным паром органические растворители (жидкофазная десорбция экстракцией) — бензол, толуол, бутилацетат, дихлорэтан, метиловый спирт и др. Процесс десорбции осуществляют при нагревании или на холоде, по окончании десорбции растворитель отгоняют из сорбента острым водяным паром или другим теплоносителем.

Для десорбции слабых органических электролитов химической регенерацией их переводят в диссоциированную форму. При этом ионы переходят в раствор, заключенный в порах угля, откуда они вымываются горячей водой или раствором кислот (для удаления органических оснований) или раствором щелочей (для удаления кислот).

При биологической регенерации адсорбент загружают в рециркулируемую суспензию активного ила, которую непрерывно аэрируют. При этом происходит биохимическое окисление адсорбированных веществ. Биологическая регенерация позволяет продлить срок использования сорбента в десятки раз.

В том случае, когда адсорбированные вещества не представляют ценности, проводят деструктивную регенерацию химическими реагентами — хлором, озоном и др. [9].

4.4. Ионный обмен

Ионный обмен применяют для глубокой очистки сточных вод от ионов цветных и тяжелых металлов, корректировки минерального состава очищенных сточных вод (умягчения, снижения общего содержания), удаления ряда органических (фенолов, кислот, ароматических и алифатических аминов, ПАВ и др.) и неорганических (цианидов, мышьяка, радиоактивных веществ) веществ. Метод позволяет извлекать и утилизировать ценные вещества и очищать сточную воду до предельно допустимых концентраций с последующим ее использованием в технологических процессах или в системах оборотного водоснабжения.

Ионный обмен широко распространен при обессоливании в процессе водоподготовки.

4.4.1. Физико-химические основы процесса

Сточные воды, подаваемые на установку, не должны содержать свыше 3 г/л солей и 8 мг/л взвешенных веществ и ХПК.

Ионитами называют вещества, способные в эквивалентных количествах обменивать свои ионы на ионы, содержащиеся в растворе. В зависимости от знака заряда обменивающихся ионов, иониты делят на катиониты, аниониты и амфолиты. Катиониты обмениваются с раствором катионами, аниониты — анионами, а амфолиты в зависимости от условий могут обмениваться либо катионами, либо анионами. Реакция ионного обмена между ионитом и раствором возможна потому, что ионы в ионите находятся в диссоциированном состоянии.

Ионы, способные вступать в реакцию ионного обмена, получили название *противоионов*. Заряд противоионов компенсируется противоположно заряженными фиксированными ионами, которые химически связаны с трехмерной матрицей или каркасом ионита.

В основу классификации ионитов могут быть положены разные признаки. По степени диссоциации иониты делят на *сильноэлектролитные* и *слабоэлектролитные*. Сильноэлектролитные иониты диссоциированы практически нацело, слабоэлектролитные — в небольшой степени. Промежуточное положение между сильно- и слабоэлектролитными ионитами занимают *среднеэлектролитные*.

Иониты могут быть природные (некоторые пески, глинистые минералы, почвы) и синтетические (например, синтетические смолы). По методу получения синтетические иониты делят на *полимеризационные* и *поликонденсационные* [5].

Ионный обмен представляет собой процесс взаимодействия раствора с твердым веществом — ионитом, обладающим способностью обменивать ионы, содержащиеся в нем, на ионы, присутствующие в растворе. Иониты, обладающие кислотными свойствами (катиониты), способны поглощать из растворов электролитов положительные ионы, а щелочными свойствами (аниониты) — отрицательные ионы. Если иониты обменивают катионы и анионы, их называют *амфотерными*.

Поглотительная способность ионитов характеризуется обменной емкостью, которая определяется числом эквивалентов ионов, поглощаемых единицей массы или объема ионита. Различают полную, статическую и динамическую обменные емкости:

- полная обменная емкость — это количество вещества, поглощенного до полного насыщения ионита;
- статическая (равновесная) емкость — количество вещества, поглощенное при равновесии в данных рабочих условиях;
- динамическая емкость ионита до «проскока» ионов в фильтрат, определяемая в условиях фильтрации.

Динамическая емкость меньше статической, последняя меньше полной.

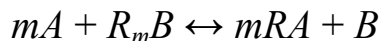
Характерной особенностью ионитов является их обратимость, т. е. возможность проведения реакций в прямом и обратном направлениях, что лежит в основе их регенерации.

Процесс переноса вещества при ионном обмене может быть представлен в несколько стадий:

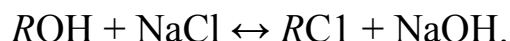
- 1) диффузия ионов из раствора через пограничную пленку жидкости к поверхности ионита;
- 2) диффузия ионов внутрь зерна ионита;
- 3) химическая реакция обмена ионов;
- 4) диффузия вытесненных противоионов из объема зерна к его поверхности, диффузия противоионов от поверхности ионита в раствор.

Скорость ионного обмена определяется самой медленной из этих стадий — диффузией в пленке жидкости и зерне ионита. Химическая реакция ионного обмена протекает быстро и не определяет суммарную скорость процесса.

Реакции ионного обмена проходят вследствие разности химических потенциалов обменивающихся ионов и в общем виде могут быть представлены следующим образом:



или соответственно для катионитов и анионитов:



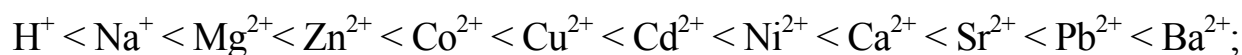
Слабоосновные аниониты обменивают анионы сильных кислот и не способны к обмену анионов слабых минеральных кислот. Сильноосновные аниониты обменивают анионы слабых кислот только при отсутствии в воде сильных кислот и их солей. Учитывая более высокую их стоимость, их следует применять преимущественно для извлечения анионов слабых кислот.

Процесс регенерации ионитов состоит из трех стадий: взрыхления ионита, собственно регенерации и отмывки ионита от продуктов регенерации и избытка регенерирующего вещества. Объем промывных вод обычно составляет 75—100 % объема регенерационных растворов.

Регенерация катионита осуществляется промывкой его 7—10 % растворами сильных кислот — соляной, азотной, серной (H-форма) или концентрированными растворами натриевых солей (Na-форма).

Регенерация слабоосновных анионитов осуществляется 4—6 % водными растворами NaOH, Na₂CO₃ или 5—10 % раствором NH₄OH. Регенерацию сильноосновных анионитов проводят 6—8 % раствором NaOH. После регенерации ионитов осуществляют их отмывку обессоленной водой.

Иониты в контакте с водой не растворяются, но поглощая некоторое количество воды, набухают, увеличивая свой объем в 1,5—3 раза. Набухаемость влияет на полноту и скорость обмена ионов, а также на селективность ионита. Установлены ряды ионов по энергии их вытеснения из сильно- и слабокислотных катионитов. Например, для сильнокислотного сульфокатионита КУ-2 получен следующий ряд:



для слабокислотного катиона КБ-4:



Для большинства анионов характерен следующий ряд:



Иониты выпускают в виде порошков, зерен, волокнистого материала, листов, плиток.

4.4.2. Установки ионного обмена

Процессы ионообменной очистки сточных вод, включающие стадии извлечения примесей и регенерации ионитов, осуществляются в аппаратах периодического (фильтрах) или непрерывного действия.

Фильтр периодического действия представляет собой закрытый цилиндрический резервуар с расположенным у дна щелевым дренажным устройством для равномерного отведения воды по всему сечению фильтра (рис. 64а).

Высота слоя загрузки ионита 1,5—3,0 м. Сточная вода может подаваться сверху или снизу, а регенерирующий раствор сверху. Скорость фильтрования от 8 до 25 м/ч в зависимости от содержания ионов в очищаемой воде.

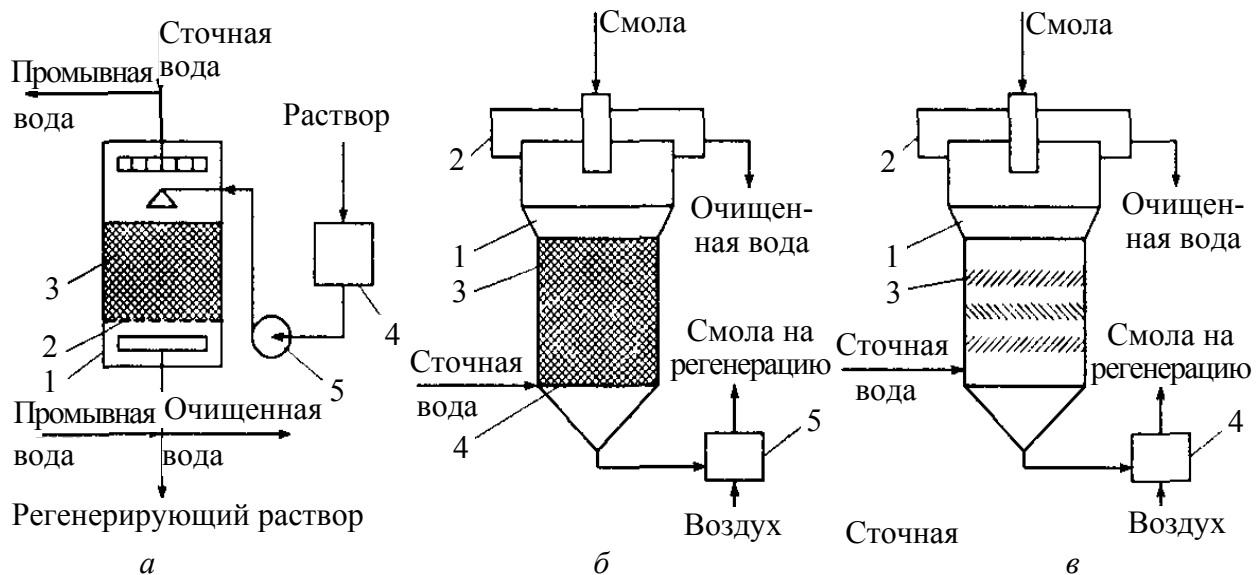


Рис. 64. Схемы ионообменных установок:

- а — периодического действия: 1 — корпус; 2 — решетка;
- 3 — слой ионита; 4 — бак с регенерирующим раствором; 5 — насос;
- б — с движущимся слоем ионита: 1 — корпус; 2 — разделительная зона;
- 3 — слой смолы; 4 — тарелка; 5 — эрлифт,
- в — с псевдооживленным слоем ионита: 1 — корпус;
- 2 — разделительная зона; 3 — тарелки; 4 — эрлифт

На продолжительность фильтроцикла большое влияние оказывает наличие взвешенных веществ, поэтому перед подачей воды на установку следует обеспечить их максимальное удаление.

При очистке сточных вод, загрязненных взвешенными веществами, применяют ионообменные колонны с псевдооживленным слоем ионита, в которых процесс осуществляется непрерывно. При этом уменьшаются затраты смолы, реагентов для регенерации, промывной воды, используемое оборудование более компактно (рис. 64в).

К аппаратам непрерывного действия относятся также колонны с движущимся слоем ионита. Сточная вода в них подается снизу, смола — сверху (рис. 64б).

На рис. 65 приведена технологическая схема ионообменной очистки сточных вод производства хлоранилина на катионите КУ-2 в водородной форме.

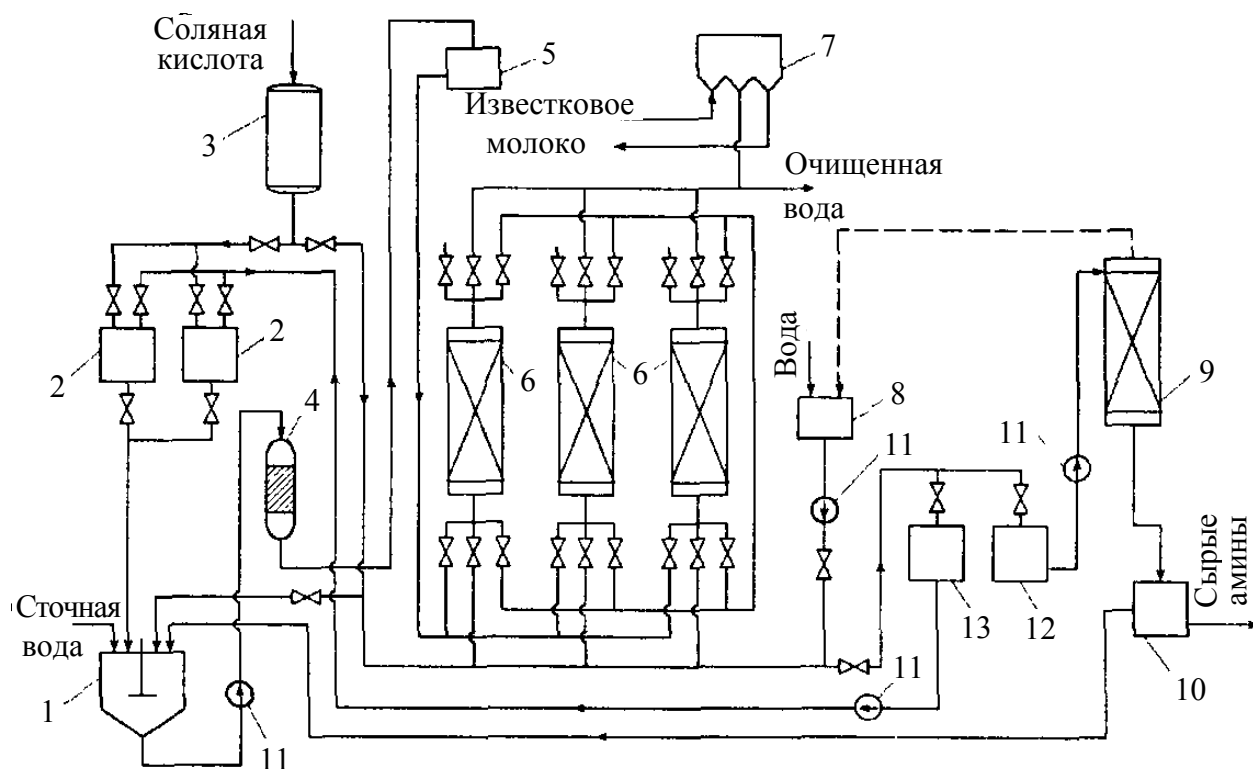


Рис. 65. Схема ионообменной очистки сточных вод производства хлоранилина
 1 — резервуар сточной воды; 2 — мерники HCl; 3 — сборник HCl; 4 — фильтр,
 5 — напорный бак; 6 — ионообменные колонны; 7 — дозатор известкового молока;
 8 — мерник регенерационного раствора; 9 — ректификационная колонна;
 10 — отстойник-разделитель; 11 — насосы; 12 — приемник регенерационного раствора;
 13 — емкость отработанной HCl

Подкисленная сточная вода из резервуара 1 насосом 11 подается на фильтр 4, где из нее выделяются выпавшие при подкислении примеси. Фильтрат через напорный бак 5 поступает в блок последовательно расположенных ионообменных колонн 6. Обычно две колонны работают в режиме ионного обмена, а одна регенерируется. Из мерника 8 регенерационный аммиачно-метанольный раствор подается в регенерируемую колонну снизу вверх, через тот же мерник поступает подогретая до 35—40 °С вода для промывки отрегенированной колонны. Отработанный регенерационный раствор выпускается в приемник 12, откуда подается в ректификационную колонну 9 для отгонки метанола и аммиака. Дистиллят представляет собой аммиачно-метанольный раствор, возвращаемый на регенерацию катионита, кубовый продукт направляется в от-

стойник-разделитель фаз 10; водный слой возвращается в резервуар сточной воды 1, а слой сырых аминов направляется на разгонку и утилизацию. После регенерации водно-метанольным раствором аммиака катионит для перевода в водородную форму промывают 8—10 % раствором соляной кислоты, поступающей из емкости 3. Кислота, вытекающая из колонны, собирается в емкость 13 и оттуда подается в мерники 2 для регулирования рН сточной воды.

Очищенная сточная вода имеет слабокислую реакцию и должна перед сбросом нейтрализоваться известковым молоком, которое подается из дозатора 7.

4.5. Экстракция

4.5.1. Физико-химические основы процесса

Жидкостная экстракция применяется для очистки производственных сточных вод, содержащих фенолы, масла, органические кислоты, анилин, ионы металлов и другое при относительно высоком их содержании, что позволяет компенсировать затраты на извлечение. Для большинства продуктов применение экстракции целесообразно при концентрации их выше 3—4 г/л. Наиболее широко методы экстракции используются для очистки сточных вод предприятий по термической переработке твердых топлив (каменного и бурых углей, сланцев, торфа), содержащих значительное количество фенолов. Эффективность извлечения фенолов из сточных вод достигает 92—98 %.

Экстракционный метод основан на распределении загрязняющего вещества между взаимонерастворимыми жидкостями соответственно его растворимости в них. Извлеченное вещество распределяется между водой и добавленным растворителем согласно закону равновесного распределения:

$$K_p = \frac{C_э}{C_в},$$

где K_p — коэффициент распределения, характеризует динамическое равновесие при экстракции и зависит от природы компонентов системы, наличия примесей в воде и экстрагенте и температуры; $C_э$ и $C_в$ — концентрации извлекаемого вещества соответственно в экстрагенте и в воде при установившемся равновесии.

При достижении равновесия концентрация экстрагируемого вещества в экстрагенте значительно выше, чем в сточной воде. Сконцентрированное в экстрагенте вещество отделяется от растворителя и может

быть утилизировано. Экстрагент после этого возвращается в технологический процесс очистки.

В ряде случаев процесс экстракции усложняется вследствие химической реакции, протекающей в объеме или на поверхности раздела фаз, в результате чего молекулы растворенного вещества реагируют с компонентами растворителя. Химическая реакция приводит к образованию новых химических соединений, влияет на скорость экстракции. Это, например, имеет место при экстрагировании кислых органических соединений — уксусной и бензойной кислот, фенола из водных растворов.

В качестве экстрагентов для извлечения примесей из воды используют различные органические растворители: простые и сложные эфиры (бутил- и изобутилацетаты, диизопропиловый и диэтиловый эфиры), спирты, четыреххлористый углерод, бензол, толуол, хлорбензол. Применяется экстракция смесью растворителей. В качестве экстрагентов экономически выгодно использовать различные технические продукты и отходы производства.

К экстрагенту для очистки сточных вод предъявляются следующие требования: высокий коэффициент распределения, селективность, он должен иметь наибольшую растворяющую способность по отношению к извлекаемому компоненту и низкую растворимость в воде, значительно отличаться по плотности от плотности воды, иметь большую разницу в температурах кипения с экстрагируемым веществом, не взаимодействовать с экстрагируемым веществом, быть безвредным, взрыво- и огнебезопасным, не вызывать коррозию материалов аппарата, иметь низкую стоимость.

4.5.2. Методы экстрагирования

Очистка сточных вод экстракцией состоит из нескольких стадий:

- 1) смешение сточной воды с органическим экстрагентом;
- 2) разделение образующихся жидких фаз;
- 3) регенерация экстрагента из экстракта и рафината.

Методы экстрагирования по способу контакта экстрагента и сточной воды подразделяются на перекрестноточные (одно- и многократная обработка воды свежими порциями экстрагента), ступенчато-противоточные (перемешивание воды и экстрагента в ряде аппаратов, работающих по принципу противотока) и непрерывно-противоточные (перемешивание воды и экстрагента в одном аппарате по принципу противотока с последующим разделением). Практическое применение получили два последних метода.

При многоступенчатой перекрестноточной схеме процесс происходит в статических условиях, требует большого расхода экстрагента, поэтому неэкономичен и в практике водоочистки не применяется. При

ступенчато-противоточной экстракции (рис. 66а) вода и экстрагент движутся навстречу друг другу, при этом достигается высокая эффективность очистки. Каждая ступень включает смеситель фаз и отстойник для их гравитационного разделения.

При непрерывно-противоточной экстракции (рис. 66б) вода и экстрагент движутся навстречу друг другу в одном аппарате, обеспечивающем диспергирование экстрагента в воде, при этом примеси сточной воды непрерывно переходят в экстрагент.

Удельный расход экстрагента составит

$$B = \frac{C_n - C_k}{K_p C_n},$$

где C_n и C_k — начальная и конечная концентрации извлекаемого вещества в воде; K_p — коэффициент распределения.

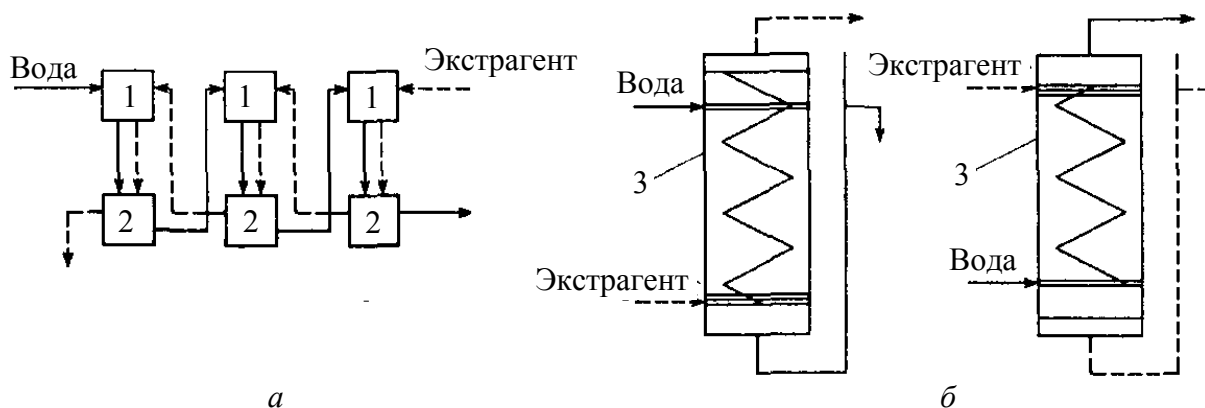


Рис. 66. Схемы экстракции:

а — ступенчато-противоточная; б — непрерывно-противоточная;
1 — смеситель; 2 — отстойник; 3 — колонна

Применение противоточных экстракционных колонн непрерывного действия целесообразно при многоступенчатой экстракции.

4.5.3. Технологические схемы и аппаратура для процессов экстракции

Технологическая схема очистки производственных сточных вод экстракцией зависит от количества и состава сточных вод, свойств экстрагента, способов его регенерации и других факторов и обычно включает:

1) Установки подготовки воды перед экстракцией (отстойники, флотаторы, фильтры для механической очистки, нейтрализаторы, охлаждающие устройства).

2) Собственно экстракционные установки, колонны для улавливания паров экстрагента, сборники экстрагента. Конструкции экстракци-

онных колонн зависят от способа контакта сточной воды и экстрагента. Используются распылительные и инжекторные колонны. Часто применяются насадочные колонны, где в качестве насадки используются блочные конструкции из керамики, металла, пластических масс, а также засыпные элементы, выполненные из керамики, металла (кольца Рашига, кольца Палля, седла Берля и др.). Для повышения интенсивности и эффективности перемешивания применяют также тарельчатые колонны, колонны с пульсацией потоков или с движущимися сетчатыми тарелками. Выбор типа колонны определяется необходимым числом ступеней экстракции и допустимыми затратами энергии. Схемы некоторых типов экстракционных колонн приведены на рис. 67. Высокая скорость экстрагирования достигается в центробежных экстракторах, в которых для создания развитой межфазной поверхности жидкости дробятся на капли при движении через отверстия контактных элементов. Тяжелую жидкость вводят в центр ротора через полость, легкую — в периферическую часть его. Разделение жидкостей центральной и периферической частях ротора ускоряется под влиянием центробежных сил.

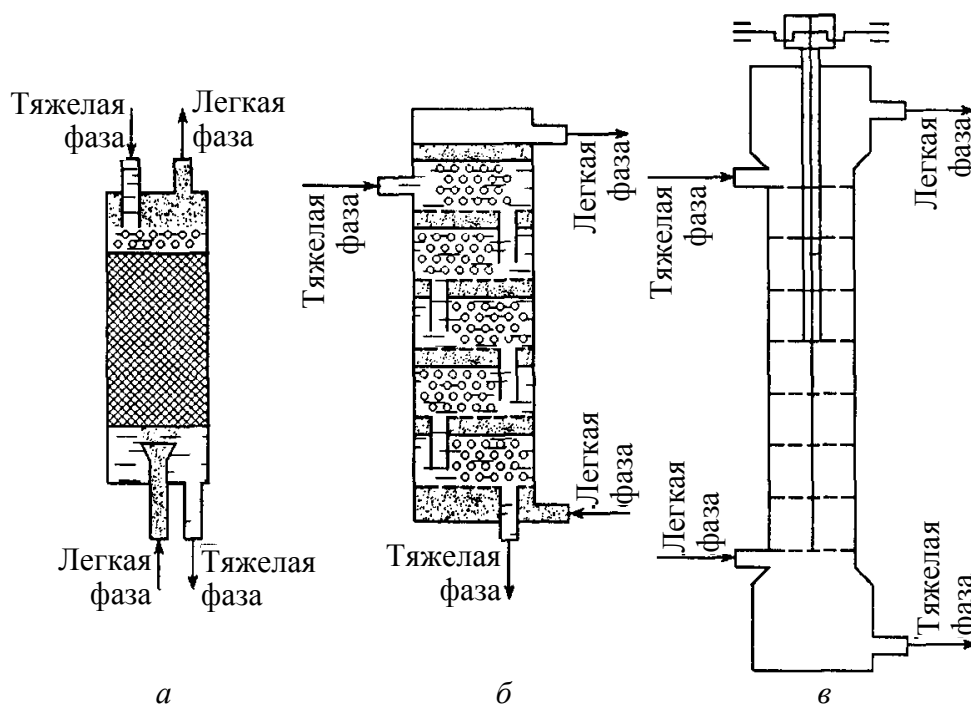


Рис. 67. Схемы экстракционных колонн:
a — насадочная; *б* — с перфорированными сетчатыми тарелками;
в — с подвижными сетчатыми тарелками

3) Установки регенерации растворителя из очищенной воды. Растворенный в воде экстрагент обычно регенерируют путем отгонки, которая осуществляется в насадочной колонне. Сверху колонны подают подогретую воду, а снизу — острый пар. Растворители, имеющие высокое давление паров, могут быть регенерированы путем отдувки воздухом или дру-

гими газами. Это позволяет снизить расход тепла на подогрев воды, а также уменьшить потери растворителя, вызванные гидролизом при повышенной температуре. Для легкогидролизуемых растворителей может быть целесообразным применение метода рекстракции, когда растворитель из воды экстрагируется другим более дешевым растворителем, который затем может быть легко удален из воды методом перегонки.

4) Установки регенерации растворителя из экстракта. Они включают теплообменник-подогреватель, одно- или двухступенчатую регенерационную (ректификационную) колонну, охлаждающие устройства, сепараторы, сборники регенерированного экстрагента и экстрагированных веществ. На рис. 68 приведена схема установки экстракционного обесфеноливания сточных вод.

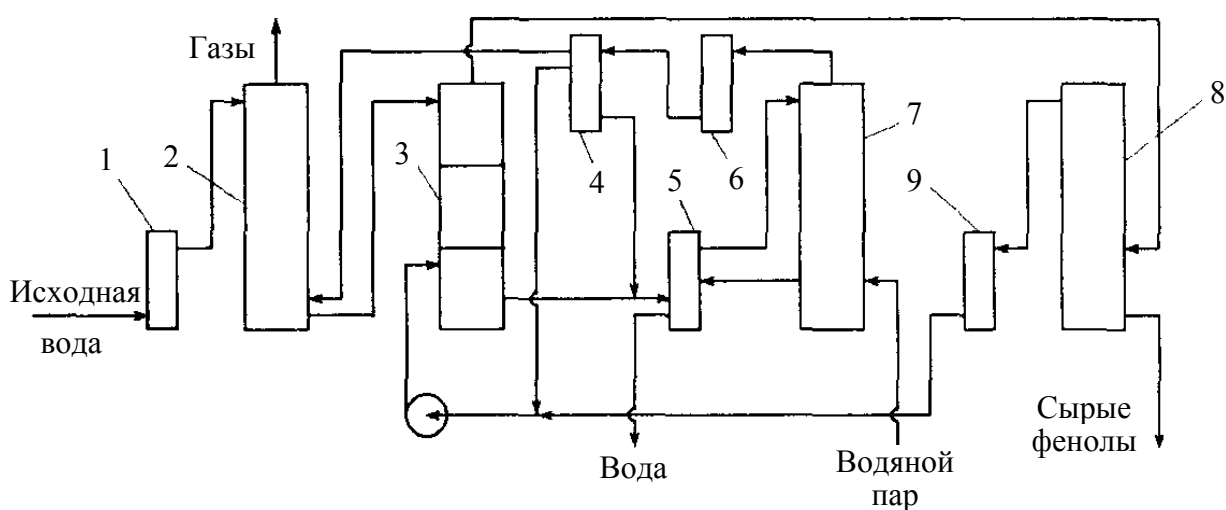


Рис. 68. Схема экстракционного обесфеноливания сточных вод коксохимических производств феносольваном:

1 — холодильник; 2 — оросительная колонна; 3 — экстрактор; 4 — сепаратор; 5 — конденсатор; 6 — теплообменник; 7 — отгонная колонна; 8 — дистилляционная колонна; 9 — конденсатор

Предварительно очищенная от смол, масел и взвешенных веществ вода поступает через холодильник 1 в оросительную колонну 2, где поглощается экстрагент, отогнанный вместе с газами и парами в дистилляционной колонне 7. Из колонны 2 нагретая отходящими газами до 30—35 °С вода подается в верхнюю часть противоточного экстрактора 3, в который снизу поступает из сборника 10 феносольван (смесь уксуснокислых и сложных эфиров). Из нижней части экстрактора обесфеноленная вода подается через теплообменник 6 в верхнюю часть отгонной колонны 7, где нагревается выходящей из нее очищенной водой. В нижнюю часть этой колонны подается острый пар для отгонки феносольвана. Пары феносольвана и воды, выходящие из колонны 7, конденсируются в конденсаторе 5 и затем разделяются в сепараторе 4. Верхний фе-

носольванный слой сепаратора направляется в сборник 10, нижний, представляющий собой насыщенный раствор фено сольвана в воде, присоединяется к обесфеноленной воде, подаваемой в колонну 7. Пары фено сольвана и воды, выходящие из сепаратора 4, поглощаются в оросительной колонне 2. Выходящий из экстрактора 3 обогащенный фенолами фено сольван регенерируется с применением вакуума в дистилляционной колонне 8. Пары фено сольвана, выходящие из этой колонны, конденсируются в конденсаторе 9 и направляются в сборник фено сольвана 10, куда добавляется свежий фено сольван. Фенолы остаются в кубовом остатке и периодически удаляются.

4.6. Мембранные методы

4.6.1. Физико-химические основы процессов

К мембранным методам разделения, с помощью которых можно проводить очистку воды от различных видов загрязнений, относятся ультрафильтрация, обратный осмос, первапорация (диффузионное испарение через мембрану), электродиализ. В любом из этих процессов водный раствор приводится в соприкосновение с полупроницаемой мембраной с одной ее стороны. Вследствие особых свойств полупроницаемых мембран прошедшая через них смесь обогащается одним из компонентов, иногда она вообще не содержит примесей компонентов, задерживаемых мембраной.

Для очистки воды, прежде всего, могут быть использованы обратный осмос и ультрафильтрация, которые заключаются в фильтровании растворов под давлением через полупроницаемые мембраны, пропускающие растворитель и полностью или частично задерживающие молекулы либо ионы растворенных веществ. При обратном осмосе отделяются частицы (гидратированные ионы, реже молекулы), размеры которых не превышают размеры молекул растворителя (молекулярная масса меньше 500). При ультрафильтрации размер отдельных частиц на порядок больше, как правило, это высокомолекулярные соединения с молекулярной массой более 500. Давление, необходимое для проведения обратного осмоса (1—10 МПа), значительно больше, чем для ультрафильтрации (0,1—0,7 МПа), это связано с тем, что осмотические давления высокомолекулярных соединений малы по сравнению с осмотическими давлениями солевых растворов.

Внешне обратный осмос и ультрафильтрация аналогичны фильтрованию, однако при фильтровании продукт откладывается в виде осадка

на фильтре, а при обратном осмосе и ультрафильтрации образуются два раствора, один из которых обогащен растворенным веществом.

Движущей силой рассматриваемых процессов является разность рабочего (избыточного) давления P над исходным раствором и осмотического давления раствора Π_1 :

$$\Delta P = P - \Pi_1.$$

На практике мембраны не обладают идеальной проницаемостью, поэтому движущая сила определяется с учетом осмотического давления фильтрата Π_2 , прошедшего через мембрану:

$$P = P - (\Pi_1 - \Pi_2) = P - \Delta \Pi.$$

Наиболее перспективны обратный осмос и ультрафильтрация для обессоливания воды в системах водоподготовки ТЭЦ и других предприятий, при локальной обработке небольших количеств сточных вод для концентрирования и выделения относительно ценных компонентов и очистки воды. Достоинствами этих методов являются:

- отсутствие фазовых переходов при отделении примесей, что позволяет вести процесс при небольшом расходе энергии;
- возможность проведения процесса при комнатной температуре;
- простота конструкции аппаратуры;
- выделение ценных продуктов;
- одновременная очистка воды от органических, неорганических и бактериальных загрязнений.

Установка включает два основных элемента: устройство для создания давления жидкости (насос) и разделительную ячейку с закрепленными в ней полупроницаемыми мембранами, а в промышленных установках — многосекционный аппарат, обеспечивающий необходимую поверхность (рис. 69).

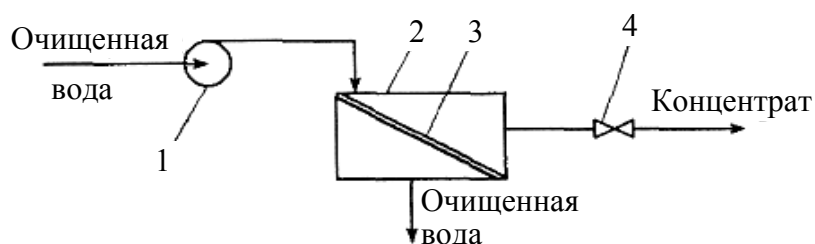


Рис. 69. Схема установки обратного осмоса:

- 1 — насос высокого давления; 2 — модуль обратного осмоса;
3 — мембрана; 4 — выпускной клапан

Недостатки методов: повышенное давление в системе, явление концентрационной поляризации (увеличение концентрации растворенного вещества у поверхности мембраны вследствие преимущественного

переноса растворителя через мембрану). Это приводит к уменьшению производительности, степени разделения и срока службы мембраны, а также вызывает необходимость специальных уплотнений аппаратуры. Полупроницаемые мембраны, используемые для проведения обратного осмоса и ультрафильтрации, изготавливают из различных полимерных материалов, пористого стекла, металлической фольги и др. Наибольшее распространение получили мембраны на основе различных полимеров: полиамидов, полиуретанов, полиакрилонитрила, эфиров целлюлозы и др. Применение в практике нашли листовые, трубчатые и в виде полых волокон мембраны из ацетатцеллюлозы и ароматических полиамидов.

Эффективность процесса мембранного разделения зависит от свойств применяемых мембран. Они должны обладать высокой разделяющей способностью (селективностью), большой удельной производительностью (проницаемостью), устойчивостью к среде, неизменностью характеристик при эксплуатации, механической прочностью.

Селективность φ (%) определяют по формуле:

$$\varphi = \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{C}{C_0} \right) \cdot 100,$$

где C_0 и C — концентрации растворенного вещества в исходной сточной воле и фильтрате.

Величину φ называют также коэффициентом солезадержания мембраны или эффективностью разделения.

Проницаемость (удельная производительность) G при данном давлении определяется количеством фильтрата V , получаемого в единицу времени τ , с единицы рабочей поверхности мембраны F :

$$G = \frac{V}{F \cdot \tau}.$$

Селективную проницаемость мембран в процессе ультрафильтрации объясняет чисто ситовой механизм разделения — частицы примесей, имеющие больший размер, чем размеры пор мембраны, через мембрану не проходят, через нее профильтровывается только вода.

Для объяснения механизма задержания примесей мембраной в процессе обратного осмоса лучше всего подходит капиллярно-фильтрационная модель селективной проницаемости. Согласно ей ионы растворенных в воде веществ образуют гидратную оболочку, размеры которой вместе с гидратированным ионом, а также наличие в порах мембраны связанной воды определяют причину проходимости через мембрану растворенных веществ. Если диаметр пор мембраны с учетом толщины слоя связанной в мембране воды меньше размера гидратиро-

ванного иона, то через такие поры будет проходить только вода, что и обуславливает селективность данных мембран. Чем выше гидратирующая способность ионов электролитов, тем больше и прочнее гидратная оболочка ионов, что затрудняет их переход через мембраны.

4.6.2. Влияние внешних факторов на процессы мембранного разделения

Основными факторами, влияющими на скорость и селективность процессов обратного осмоса и ультрафильтрации, являются рабочее давление, гидродинамические условия в аппарате, природа и концентрация разделяемого раствора, температура.

С повышением давления удельная производительность мембран увеличивается, так как растет движущая сила процесса. Однако при высоких давлениях происходит уплотнение материала мембран, что может вызвать снижение проницаемости. Высокое давление вызывает в полимерном материале мембраны значительные остаточные деформации, влияя на ее структуру особенно сильно в первые часы работы. В течение всего срока службы мембраны наблюдается замедленное, но непрерывное снижение проницаемости именно из-за указанного явления.

Концентрация растворенных веществ определяет не только характеристики процесса обратного осмоса и ультрафильтрации, но и саму возможность использования этих методов разделения. Увеличение концентрации растворенных веществ приводит к повышению осмотического давления раствора, что снижает эффективную движущую силу процесса, возрастанию вязкости раствора, росту концентрационной поляризации. Все это вызывает снижение проницаемости. С увеличением концентрации на поверхности и в порах мембраны уменьшается толщина слоя связанной воды, ослабевают силы взаимодействия между ионами и молекулами воды в растворах неорганических веществ, что приводит к снижению селективности. Кроме того, возможно смещение рН раствора в кислую или щелочную среду, что ускоряет гидролиз полимерных мембран, а также вызывает обезвоживание, растворение мембраны, выпадение на ней в осадок малорастворимых солей.

Обратный осмос рекомендуется использовать при концентрациях электролитов, не превышающих для одновалентных солей 5—10 %, для двухвалентных — 10—15 %, для многовалентных — 15—20 %. Для органических веществ указанные пределы несколько выше.

Влияние концентрационной поляризации связано с повышением концентрации растворенного вещества в приграничном слое мембраны. При этом снижается эффективное давление вследствие увеличения осмотического давления раствора, определяемого концентрацией именно

в приграничном слое, что приводит как к снижению селективности, так и скорости процесса.

Со стороны мембраны, обращенной к раствору, возникают условия, способствующие осаждению на мембране слаборастворимых солей (CaCO_3 , CaSO_4) или высокомолекулярных соединений, что приводит к закупориванию пор мембраны и уменьшению ее эффективной площади. Сокращается срок службы полимерной мембраны, который в значительной мере зависит от концентрации растворенного вещества.

Для уменьшения влияния концентрационной поляризации можно турбулизовать раствор у поверхности мембраны (механическое перемешивание или перекачивание раствора), что нередко приводит к резкому повышению расхода энергии на циркуляцию раствора.

Природа растворенного вещества в некоторой степени влияет на селективность и в меньшей степени на проницаемость мембран. Это влияние заключается в следующем:

- неорганические вещества задерживаются мембранами лучше, чем органические с той же молекулярной массой;
- среди родственных соединений, например гомологов, лучше задерживаются вещества с большей молекулярной массой;
- вещества, образующие связи с мембраной, например водородную, задерживаются мембраной тем лучше, чем менее прочна эта связь;
- селективность задержания высокомолекулярных соединений ультрафильтрацией тем больше, чем больше молекулярная масса растворенного вещества.

С ростом температуры уменьшается вязкость и плотность раствора, что способствует росту проницаемости, однако при этом повышается осмотическое давление, которое уменьшает проницаемость. При повышении температуры начинается усадка и стягивание пор мембраны, что также приводит к уменьшению проницаемости. Однако если работать при температурах, близких к комнатным, то практически температура на процесс мембранного разделения влияния не оказывает.

4.6.3. Аппаратура для обратного осмоса и ультрафильтрации, схемы установок

Конструкции аппаратов для проведения процессов обратного осмоса и ультрафильтрации должны соответствовать следующим требованиям:

- большая поверхность мембран в единице объема;
- простота сборки и монтажа;
- механическая прочность;
- герметичность.

Классификация оборудования по способу укладки мембран (рис. 70):

- 1) фильтр-пресс с плоскокамерными фильтрующими элементами;
- 2) с трубчатыми фильтрующими элементами;
- 3) с рулонными или спиральными фильтрующими элементами;
- 4) с мембранами в виде полых волокон.

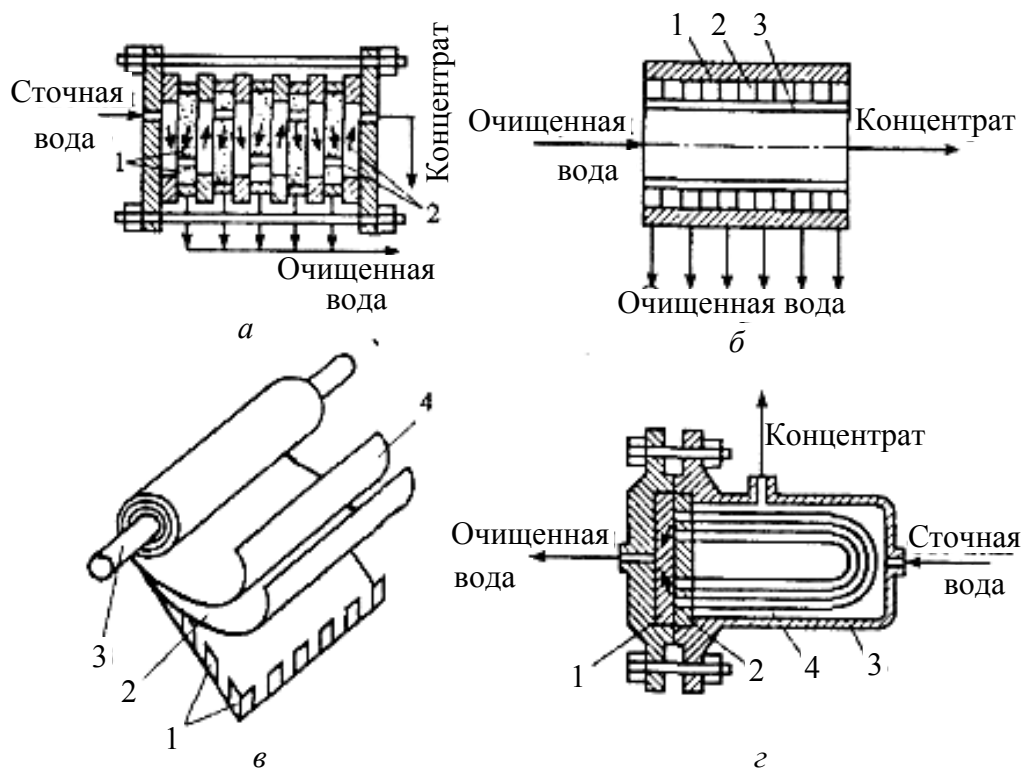


Рис. 70. Аппараты для обратного осмоса и ультрафильтрации
а — фильтр-пресс: 1 — пористые пластины; 2 — мембраны;
б — трубчатый фильтрующий элемент: 1 — трубка; 2 — подложка; 3 — мембрана;
в — рулонный фильтрующий элемент: 1 — дренажный спой; 2 — мембрана;
 3 — трубка для отвода очищенной воды; 4 — сетка-сепаратор;
г — элемент с полыми волокнами: 1 — подложка;
 2 — шайба с вмонтированными концами волокон; 3 — корпус; 4 — полые волокна

Указанные аппараты обычно собираются из отдельных элементов или модулей, конструкция которых полностью характеризует конструкцию аппарата в целом.

Аппараты с плоскокамерными фильтрующими элементами (рис. 70*а*) применяется в установках сравнительно небольшой производительности. В этих аппаратах мембраны уложены с двух сторон плоских пористых дренажных пластин, которые расположены на расстоянии 0,5—5,0 мм друг от друга, образуя межмембранное пространство для потока разделяемого раствора. Пакет фильтрующих элементов зажимается двумя фланцами и стягивается болтами. Сточная вода последовательно проходит через все элементы, концентрируется и удаляется

из аппарата. Прошедший через мембрану фильтрат уходит через дренажные слои в радиальном направлении. Такие аппараты отличаются простотой изготовления, удобством монтажа и эксплуатации, возможностью быстрой замены мембран, но имеют невысокую удельную поверхность мембран ($60\text{—}300\text{ м}^2/\text{м}^3$ объема аппарата).

Аппараты с трубчатыми фильтрующими элементами (рис. 70б) состоят из полупроницаемой мембраны и дренажного каркаса, выполненного в виде трубки диаметром $6\text{—}30$ мм, где мембрана может находиться на ее внутренней или наружной поверхности, а также с обеих сторон. Основным достоинством таких аппаратов является малая концентрационная поляризация и незначительное загрязнение поверхности мембран ввиду высокой скорости потока ($0,9\text{—}12$ м/с). Кроме того, они обладают малой материалоемкостью, незначительным гидравлическим сопротивлением, механической прочностью, простотой конструкции. Основным недостатком — малая удельная рабочая поверхность мембран ($200\text{—}300\text{ м}^2/\text{м}^3$), более сложная их замена.

Аппараты с фильтрующими элементами рулонного типа отличаются большой плотностью упаковки мембран ($300\text{—}800\text{ м}^2/\text{м}^3$). Каждый рулонный элемент (рис. 70в) представляет собой прикрепленный к водоотводящей трубке и накрученный на нее пакет, состоящий из двух мембран и расположенных между ними дренажного слоя и сетки-сепаратора. Трубка для отвода фильтрата имеет продольные прорезы. Исходный раствор движется по межмембранным каналам рулонного фильтрующего элемента в продольном направлении. Проникающий через мембраны фильтрат по спирально расположенному дренажному слою поступает в фильтроотводящую трубку и отводится из аппарата. Рулонные аппараты имеют малую металлоемкость, механизированную сборку. К недостаткам их относится сложность монтажа и смены мембран, необходимость замены всего пакета при повреждении мембраны, трудность обеспечения герметизации аппарата.

Аппараты с фильтрующими элементами в виде полых полупроницаемых волокон (рис. 70г) имеют очень высокую плотность укладки мембран в единице объема аппарата — до $20\text{—}30$ тыс. $\text{м}^2/\text{м}^3$. Волокна с наружным диаметром $45\text{—}200$ мкм, и стенками толщиной $10\text{—}50$ мкм, способны выдержать необходимое рабочее давление. Фильтрат в этих элементах собирается с наружной поверхности волокон или отводится по капилляру полых волокон. Поэтому такие аппараты не требуют поддерживающих дренажных устройств, что значительно снижает капитальные затраты, упрощает их сборку и эксплуатацию. Они компактны и высокопроизводительны. Недостатки — трудность замены поврежденных волокон, большое сопротивление, необходимость тщательной предварительной очистки от механических примесей.

Аппараты с полыми волокнами выполняют чаще всего в виде кожухотрубчатого теплообменника с линейным (концы закрепляются в двух трубных решетках) или U-образным (с одной решеткой) расположением волокон. Раствор движется вдоль наружной или внутренней поверхности волокон. Концы волокон с помощью эпоксидной смолы и уплотнений закреплены в трубных решетках.

Мембранные установки состоят из большого числа элементарных модулей, которые соединяют либо по параллельной схеме (для увеличения производительности), либо последовательно (для повышения эффективности очистки).

Обратноосмотические и ультрафильтрационные установки представляют собой самостоятельно действующие системы, состоящие из мембранных аппаратов и оборудования, обеспечивающего их бесперебойную работу.

Установки с мембранными аппаратами можно классифицировать по нескольким признакам. Они могут быть непрерывного и периодического действия, проточные и циркуляционные, каждая из которых может быть одно- или многоступенчатой. Проточные установки работают только непрерывно, циркуляционные бывают непрерывными и периодическими. Технологическая схема установки определяется ее назначением и зависит от исходной концентрации растворов, производительности установки и условий ее эксплуатации. На рис. 71 приведена схема очистки сточных вод гальванических производств на обратноосмотической мембранной установке.

Фильтрат после первой ступени мембранной установки возвращается на промывку деталей, выносимых из гальванической ванны, последовательно в промывные ванны II и I ступени. Более загрязненный фильтрат второй ступени мембранной установки смешивается с загрязненной водой, поступающей на установку. Концентрат, последовательно пройдя две ступени обратноосмотической установки, может быть использован, после соответствующей корректировки, для подпитки гальванических ванн.

Производительность уже работающих мембранных установок достигает нескольких тысяч кубо-

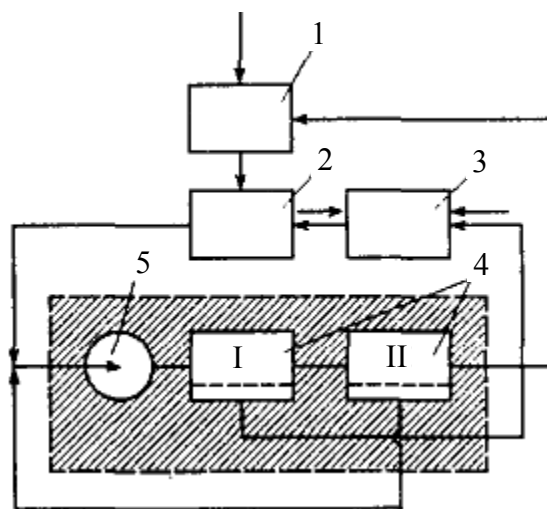


Рис. 71. Схема мембранной установки для обработки промывных вод гальванических производств:

- 1 — гальваническая ванна;
- 2 — промывная ванна I ступени;
- 3 — промывная ванна II ступени;
- 4 — обратноосмотическая установка;
- 5 — насос высокого давления

метров в сутки, запроектированы и строятся установки производительностью сотни тысяч кубометров в сутки. Экономическая эффективность мембранной обработки водных растворов зависит от капитальных вложений и эксплуатационных затрат, которые являются функцией производительности установки, типа мембранного аппарата вида и концентрации загрязнений и других факторов. Стоимость самих мембран обычно невелика и составляет 1—3 % от общей стоимости установки в зависимости от конструкции аппарата.

4.7. Перегонка и ректификация

Перегонка и ректификация являются одними из наиболее распространенных методов выделения из сточных вод растворенных органических жидкостей. Установки перегонки и ректификации сточных вод, как правило, входят в состав технологических схем основных производств. Выделенные из сточной воды примеси используются на этих же производствах.

Для очистки сточных вод применяют простую перегонку, перегонку с водяным паром или инертными носителями, азеотропную перегонку и ректификацию в присутствии перегретого водяного пара. Специфичность процесса очистки сточных вод этими методами обуславливается относительно малыми концентрациями примесей и необходимостью практически полного выделения их из сточных вод.

4.7.1. Перегонка

Простую перегонку проводят в установке периодического или непрерывного действия путем постепенного испарения сточной воды, находящейся в перегонном кубе. Образующиеся пары конденсируются в конденсаторе-холодильнике, и дистиллят поступает в сборник. Применяют ее для очистки сточных вод от примесей, температура кипения которых значительно ниже температуры кипения воды (ацетон, метиловый спирт и т. п.). Для более полного разделения смесей и получения концентрированного дистиллята перегонку проводят с дефлегмацией. Над перегонным кубом устанавливают трубчатый или змеевиковый дефлегматор, в котором пары более высоко кипящей воды частично конденсируются, и она в виде флегмы сливается в куб, а пары, обогащенные низкокипящим компонентом, направляются в холодильник-конденсатор.

В тех случаях, когда органические вещества в смеси с водой образуют нераздельно кипящую (азеотропную) смесь, для отгонки указанных веществ из сточной воды может быть использована азеотропная отгонка. Чаще всего азеотропы характеризуются минимальной температу-

рой кипения, поэтому их отгонка проходит при температуре, ниже температуры кипения воды при данном давлении. Многие азеотропные смеси при конденсации расслаиваются, при этом сырой органический компонент может быть легко отделен от водного насыщенного раствора. В этих случаях азеотропная отгонка загрязняющего компонента из сточной воды наиболее экономична.

На рис. 72 представлена схема отгонки азеотропов из сточной воды. Отгонка азеотропной смеси осуществляется в отгонной насадочной колонне 4, в нижнюю часть которой подается острый водяной пар. В отстойнике-сепараторе 2 конденсат органического вещества отделяется от конденсата пара. Последний смешивается с исходной водой и вновь направляется на отгонку. Азеотропная отгонка может быть рекомендована для выделения из воды целого ряда органических веществ, образующих с водой азеотропы — бензола, толуола, эфиров уксусной кислоты, четыреххлористого углерода, хлороформа и др.

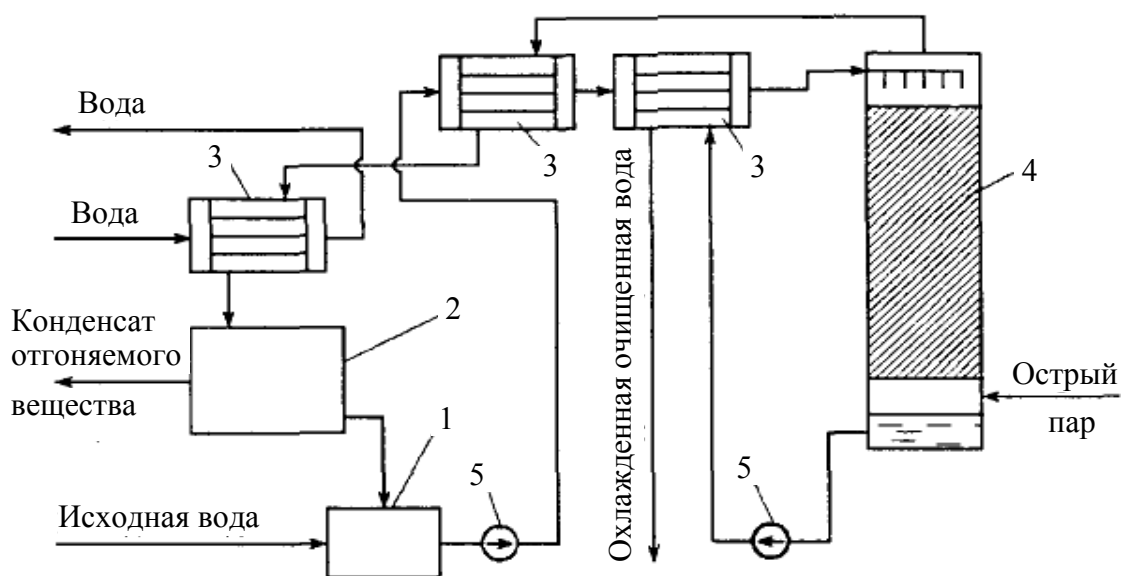


Рис. 72. Схема установки для азеотропной отгонки летучих органических веществ из сточной воды:

- 1 — емкость; 2 — отстойник-сепаратор; 3 — теплообменник;
4 — отгонная колонна; 5 — насос

Для очистки сточных вод довольно часто применяют перегонку в присутствии водяного пара или другого инертного носителя. Отличие ее от простой перегонки заключается во введении острого пара непосредственно в сточную воду, что упрощает конструкции перегонных аппаратов, снижает расход тепла на перегонку. Для отгонки из воды примесей могут быть использованы инертные носители, например, газы: воздух, азот, диоксид углерода, углеводородные газы и др.

4.7.2. Ректификация и эвапорация

Для очистки сточных вод от многих органических соединений можно использовать простую и азеотропную ректификацию. Простую ректификацию проводят в ректификационных колоннах тарельчатого или насадочного типа. Сточная вода в жидкой фазе подается на верхнюю тарелку (или насадку) такой колонны, с которой отводятся пары, являющиеся конечным продуктом (органические примеси воды — бензол, хлорбензол, бутилацетат и др.). Сточная вода с нижней тарелки колонны поступает в парциальный кипятильник, в котором за счет подачи тепла подвергается частичному выкипанию, образуя поток паров, возвращающихся в колонну в качестве парового орошения. Остальная часть очищенной воды отводится в качестве конечного продукта.

При азеотропной ректификации применяется разделяющий компонент, который образуете одним из компонентов сточной воды азеотроп (желательно гетерогенный) с минимальной температурой кипения. В результате отгоняется более летучая азеотропная смесь, а в кубовом остатке содержится практически чистый второй компонент (вода). Разделяющий азеотропный агент подается в колонну азеотропной ректификации сверху, откуда и удаляется азеотропная смесь, направляемая на расслаивание в сепаратор, из которого азеотропный агент вновь подается в колонну ректификации. Извлеченный компонент после расслаивания в сепараторе поступает в отгонную колонну для очистки от растворенного в нем азеотропного агента.

Пароциркуляционный метод (эвапорация или отгонка с водяным паром) заключается в ректификации сточных вод в отгонной (отпарной) колонне с использованием циркулирующего водяного пара и последующей отмывке абсорбцией (регенерации) циркулирующего пара с помощью щелочи или других реагентов.

Пароциркуляционный метод применяется в основном для отгонки из сточных вод органических веществ, являющихся слабыми электролитами, при таких значениях рН, когда они находятся в молекулярном состоянии. Таким путем можно удалить крезолы, нафтолы, карбоновые кислоты. Но основное применение метод нашел в коксохимической промышленности для извлечения фенолов, степень обесфеноливания при этом составляет 85—92 %.

В основе эвапорационного метода очистки лежит закономерность распределения малых концентраций веществ между жидкой и паровой фазами, согласно коэффициенту распределения K :

$$K = \frac{C_{\text{п}}}{C_{\text{в}}},$$

где $C_{\text{п}}$, $C_{\text{в}}$ — концентрация примеси в паре и воде соответственно.

Эвапорация может проводиться как в периодических, так и непрерывно действующих дистилляционных колоннах. Такая колонна делится на две части — эвапорационную, где происходит очистка сточных вод, и поглотительную, где идет регенерация пара. При движении через колонну, заполненную насадкой, навстречу острому пару сточная жидкость нагревается до 100 °С; находящиеся в ней летучие примеси частично переходят в паровую фазу и таким образом удаляются из раствора. Далее пар проходит через какой-либо нагретый также до температуры 100 °С поглотитель, в котором из пара удаляются захваченные им примеси (регенерация пара). Освобожденный из них водяной пар снова направляется на очистку сточных вод. Процесс проходит только в кинетических условиях.

Схема пароциркуляционной установки для обесфеноливания сточных вод приведена на рис. 73.

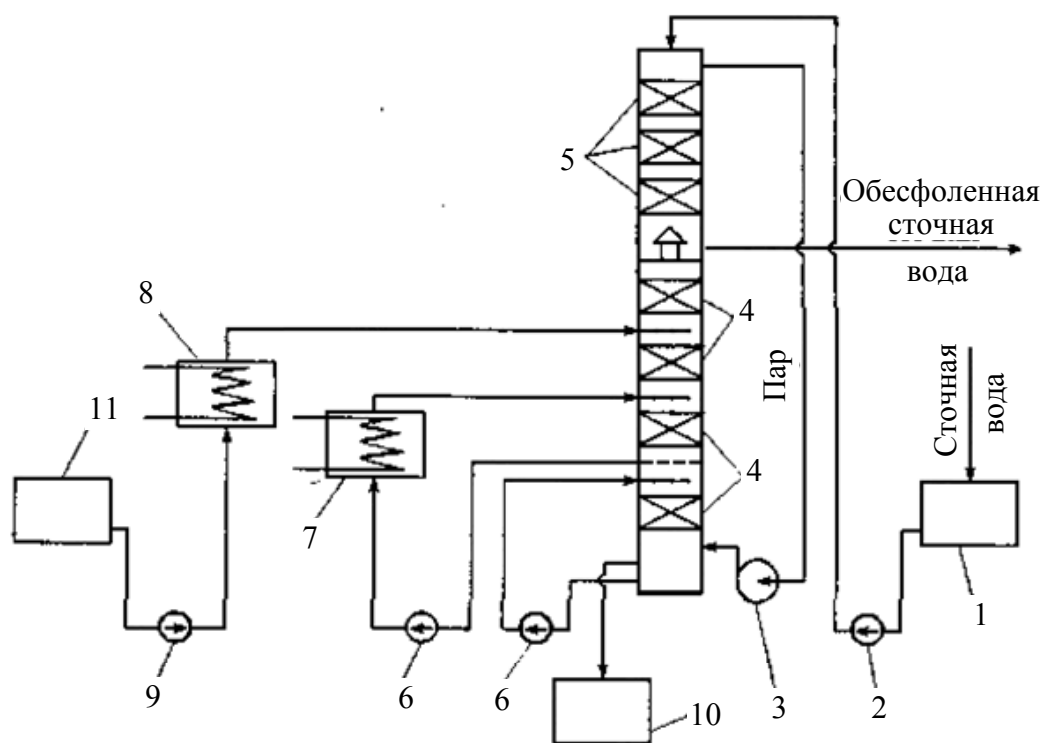


Рис. 73. Схема обесфеноливания сточных вод коксохимического производства пароциркуляционным методом:

- 1 — сборник; 2 — насос для подачи сточной воды; 3 — вентилятор для рециркуляции пара; 4 — поглотительная часть колонны;
- 5 — эвапорационная часть колонны; 6 — растворы для циркуляции растворов фенолята натрия; 7 — подогреватель раствора фенолята натрия;
- 8 — подогреватель щелочного раствора до 102—103 °С; 9 — насос для подачи щелочи;
- 10 — сборник фенолятов; 11 — сборник щелочи

Сточная вода подается в верхнюю часть обесфеноливающей колонны с деревянной хордовой насадкой. Верхняя и нижняя части этой колонны разделены глухой тарелкой, оборудованной патрубком для про-

хода пара, циркулирующего с помощью вентилятора. Обесфеноленная вода отводится с глухой тарелки, а циркулирующий пар вентилятором подается в нижнюю поглотительную часть колонны с металлической спиральной насадкой. Верхний ярус насадки поглотительной части колонны периодически орошается 8—10 % раствором едкого натра, нижний ярус — циркулирующим раствором фенолята натрия. Обесфеноленный пар проходит слой насадки и вновь поступает в эвапорационную часть колонны через патрубок. Циркуляция раствора фенолятов натрия позволяет повысить их концентрацию на 20—25 %. Часть раствора фенолятов натрия собирается в сборник, откуда направляется на склад. Применяемая трехступенчатая схема орошения с двумя ступенями рециркуляции и периодическим орошением верхней ступени свежим раствором щелочи позволяет повысить степень извлечения фенолов из циркулирующего пара.

4.8. Кристаллизация

4.8.1. Физико-химические основы процесса

Кристаллизация используется для выделения из водных растворов твердой фазы в виде кристаллов.

Массовую кристаллизацию обычно проводят, понижая растворимость кристаллизующего вещества за счет изменения температуры раствора или удаления части растворителя.

В производственных условиях процесс кристаллизации состоит из следующих операций:

- 1) собственно кристаллизации;
- 2) отделения кристаллов от маточных растворов;
- 3) перекристаллизации (в случае необходимости);
- 4) промывки и сушки кристаллов.

Раствор, находящийся в равновесии с твердой фазой при данной температуре, называют *насыщенным*. В таких растворах между кристаллами и раствором возникает подвижное равновесие, при котором количество растворяющихся из кристаллов частиц и вновь кристаллизующихся одинаково в единицу времени.

При некоторых условиях концентрация растворенного вещества может быть больше его растворимости. Такие растворы, называемые *пересыщенными*, нестабильны и легко переходят в состояние насыщения, при этом из них выпадает часть твердой фазы. При сильном пересыщении, а также переохлаждении растворов в них самопроизвольно образуются зародыши или центры кристаллизации. Сокращение перио-

да начала кристаллизации можно добиться путем внесения в пересыщенный раствор кристалликов растворенного вещества — «затравки».

На образование центров кристаллизации влияет степень их пересыщения, а также температура, наличие растворимых и нерастворимых примесей, перемешивание раствора, готовая кристаллическая поверхность и др.

Процесс кристаллизации из растворов включает две стадии: образование кристаллических зародышей и их дальнейший рост. Общим условием, необходимым для выделения кристаллов из растворов, является наличие пересыщения или переохлаждения. После возникновения в условиях пересыщенного раствора устойчивых зародышей на их поверхности начинает отлагаться растворенное вещество. Величина линейной скорости роста кристалла (или увеличение его массы со временем) является основной характеристикой этой второй стадии процесса кристаллизации. На рост, как и на образование кристаллов, влияют различные факторы: пересыщение раствора, его перемешивание, рост температуры, нерастворимые примеси. Более крупные кристаллы получают при медленном их росте и небольших степенях пересыщения раствора. При этом необходимо оптимальное перемешивание.

4.8.2. Способы кристаллизации и применяемая аппаратура

Известны следующие способы кристаллизации:

- 1) с удалением части растворителя;
- 2) с охлаждением или нагреванием раствора;
- 3) комбинированные способы.

Частичное удаление растворителя производят его испарением или вымораживанием. Испарение получило большее распространение. Его осуществляют в выпарных аппаратах, подводя тепло извне, через стенку. После достижения нужной степени пересыщения в тех же аппаратах осуществляют и кристаллизацию. Способ называют *изотермическим*. Отделение от маточного раствора и промывку кристаллов производят вне аппарата — на фильтрах или центрифугах.

Кристаллизация с изменением температуры (изогидрическая) осуществляется при постоянном содержании в растворе растворителя. Пересыщение растворов чаще всего достигается их охлаждением в аппаратах периодического или непрерывного действия, одиночных или многокорпусных, располагаемых ступенчато (каскадом). Охлаждающий агент чаще всего вода, но можно использовать воздух или рассолы.

К комбинированным способам относятся: вакуум-кристаллизация, кристаллизация с испарением части растворителя в токе носителя и дробная кристаллизация.

При вакуум-кристаллизации испарение растворителя происходит за счет отдачи раствором своего физического тепла, которое расходуется на испарение части растворителя. Пары откачиваются вакуум-насосом. Температура поступающего горячего насыщенного раствора снижается до температуры кипения раствора, соответствующей давлению в аппарате. Процесс протекает адиабатически. Пересыщение раствора достигается в основном его охлаждением, так как концентрация при этом изменяется незначительно. Растворитель может испаряться не только за счет физического тепла раствора, но и за счет выделяющейся теплоты кристаллизации. Испарение с одновременным охлаждением раствора и кристаллизацией происходит во всем объеме раствора. Это значительно уменьшает отложение кристаллов на стенках аппаратов.

Кристаллизация с испарением части растворителя в токе носителя (воздуха) происходит за счет перехода растворителя в движущийся непосредственно над раствором воздух. Одновременно раствор охлаждается.

Дробная, или фракционная, кристаллизация применяется при наличии в растворе одновременно нескольких подлежащих извлечению веществ. При этом создают условия для последовательного осаждения различных веществ путем изменения температуры и концентрации раствора.

Процесс кристаллизации в промышленных условиях проводят в кристаллизаторах, которые по принципу действия подразделяются на аппараты: с удалением части растворителя, с охлаждением раствора, вакуум-кристаллизаторы, с псевдооживленным слоем.

Для удаления части растворителя обычно используют выпарные аппараты-кристаллизаторы с принудительной циркуляцией раствора и выносной нагревательной камерой. Для снижения расхода тепла процесс осуществляют в многокорпусных установках.

Простейшие кристаллизаторы периодического действия с охлаждением раствора представляют собой цилиндрические вертикальные аппараты с охлаждающими змеевиками (или рубашками) и механическими мешалками для перемешивания раствора. Такие аппараты нередко располагают каскадом, соединяя последовательно для увеличения времени пребывания раствора в установке.

Одним из наиболее распространенных механических кристаллизаторов является барабанный вращающийся кристаллизатор с водяным или воздушным охлаждением, представляющий собой вращающийся барабан, установленный под небольшим углом к горизонту.

Башенный кристаллизатор выполняют в виде *градирни* — деревянной открытой башни-шахты, имеющей воздушное охлаждение. Горячий раствор разбрызгивается внутри башни специальными распылите-

Кристаллизаторы со взвешенным слоем предназначены для получения крупнокристаллического и однородного по размеру продукта. Кри-

сталлизация в псевдооживленном слое проводится или с удалением части воды испарением или с охлаждением раствора до его пересыщения.

Большую группу аппаратов составляют вакуум-кристаллизаторы, в которых раствор охлаждается вследствие адиабатического испарения части растворителя. На испарение жидкости расходуется физическое тепло раствора, который при этом охлаждается до температуры, соответствующей его температуре кипения при данном остаточном давлении. Вакуум-кристаллизаторы отличаются большой производительностью, просты по конструкции, выгодны с энергетической точки зрения, не имеют громоздкого привода, могут изготавливаться из любых, в том числе обладающих малой теплопроводностью, материалов. В качестве вакуум-насосов для кристаллизационных установок обычно применяют эжекторные пароструйные насосы или так называемые пароэжекторные блоки, последнюю ступень которых иногда подключают к водо-кольцевому насосу для обеспечения экономии пара и более устойчивой работы.

Существуют самые различные конструкции вакуум-кристаллизаторов периодического и непрерывного действия. Наибольшее распространение получили многокорпусные вакуум-кристаллизаторы, позволяющие наиболее экономично использовать тепло. Чтобы сделать установку более компактной, часто в одном корпусе размещают 3—4 ступени. При этом кристаллизатор обычно выполняют в виде горизонтально расположенного цилиндра (рис. 74). В каждой камере поддерживается свой постепенно повышающийся вакуум.

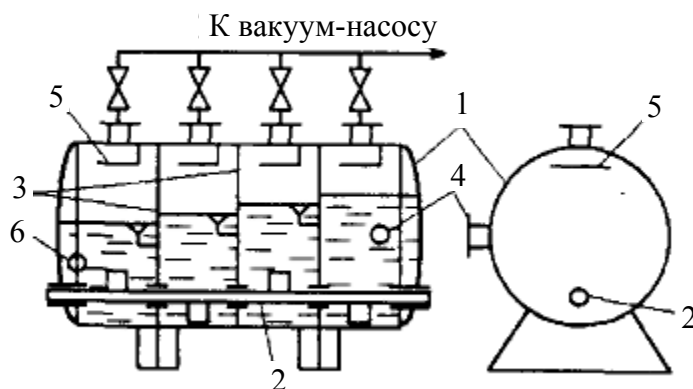


Рис. 74. Горизонтальный многоступенчатый вакуум-кристаллизатор:
1 — цилиндрический корпус; 2 — лопастная мешалка; 3 — перегородки;
4 — штуцер для выхода суспензии; 5 — оросительное устройство;
6 — штуцер для подвода раствора

Контрольные вопросы

1. Для чего применяются физико-химические методы очистки?
2. Назовите цель применения коагуляции.
3. Дайте определение коагуляции, назовите ее виды.
4. Назовите коагулянты.

5. Дайте определение флокулянтов, назовите цель их применения, приведите примеры флокулянтов.
6. Назовите основные стадии процесса коагуляции и флокуляции.
7. Дайте определение флотации.
8. Опишите суть процесса флотации.
9. Приведите классификацию флотационных сооружений.
10. Назовите основные типы и механизмы образования флотокомплексов.
11. Что такое коагуляция, какие виды ее вы знаете?
12. Что используют в качестве коагулянтов?
13. От чего зависит скорость коагуляции?
14. На чем основан механизм действия флокулянтов?
15. Опишите процесс флотации.
16. Какие способы получения диспергированной газовой фазы вы знаете?
17. В чем суть химической и биологической флотации?
18. Опишите физико-химическую основу процесса адсорбции.
19. В чем разница между статической и динамической адсорбцией?
20. Какие методы регенерации адсорбентов вы знаете?
21. Для чего применяют ионный обмен?
22. В каких случаях применяется экстракция?
23. Какие требования предъявляют к экстрагенту?
24. К какой группе методов относятся электродиализ, обратный осмос и ультрафильтрация?
25. Какие внешние факторы, и как, влияют на процессы мембранного разделения?
26. В чем различие между перегонкой и ректификацией?
27. Для чего применяют дефлегматоры?
28. Что такое азеотропная смесь?
29. Из каких операций состоит процесс кристаллизации?
30. Какие типы кристаллизаторов вы знаете?

5. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

5.1. Физико-химические основы методов

При погружении в воду электродов и подводе к ним достаточного напряжения начинается процесс переноса электрического тока движущимися к электродам ионами в электролите, которым является вода, и электронами во внешней цепи. Под действием электрического поля положительно заряженные ионы мигрируют к катоду, а отрицательно заряженные ионы — к аноду. На электродах происходит переход электронов. Катод отдает электроны в раствор, и в приэлектродном пространстве происходят процессы восстановления. В прианодном пространстве протекают процессы переноса электронов от реагирующих частиц к электроду — окисление. Иногда электроды отделяют один от другого полупроницаемой перегородкой (диафрагмой или ионообменной мембраной) на анодное и катодное пространство. Тогда вода либо последовательно проходит через каждую из образовавшихся камер, либо циркулирует в одной из них.

Устройства, в которых проводят те или иные процессы электрохимического воздействия на водные растворы, имеют общее название — *электролизеры*. В зависимости от природы процессов, протекающих в таких аппаратах и обеспечивающих извлечение или обезвреживание загрязняющих компонентов, они подразделяются на анодное окисление и катодное восстановление, электрокоагуляцию, электрофлотацию, электродиализ. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока.

В случае применения растворимых металлических электродов электродный процесс сопровождается совокупностью электрохимических явлений и реакций, скорость которых, согласно законам электрохимической кинетики, определяется общим значением потенциала на границе металл — раствор, составом раствора и условиями диффузии компонентов или продуктов реакции в растворе.

Электрохимические методы позволяют извлекать из воды ценные продукты при относительно простой автоматизированной технологической схеме очистки, без использования химических реагентов. Недостатки — большой расход электроэнергии и металла, загрязнение поверхности электродов, что требует их очистки.

В процессе электрохимической очистки токсичные вещества могут превращаться в нетоксичные или малотоксичные соединения, переходить в газообразное состояние, выпадать в осадок, флотироваться в виде пены, осаждаться на катодах (металлические осадки).

Методом электродиализа можно удалять из сточных вод соли, кислоты и щелочи с одновременной их регенерацией. Электрохимические

методы очистки сточных вод различных производств (от цианидов, роданидов, нитросоединений, аминов, спиртов, альдегидов, сульфидов, меркаптанов, красителей и др.) основаны на анодном окислении указанных веществ. Катодное извлечение металлической меди применяют на предприятиях цветной металлургии, металлообработки, химической промышленности.

Электрокоагуляция и электрофлотация используются для обработки сточных вод, содержащих эмульгированные частицы масел, жиров и нефтепродуктов, хроматы, фосфаты.

Электролиз проводят в проточных или контактных условиях. Проточные электролизеры могут быть непрерывного или периодического действия, с многократной циркуляцией сточных вод или без нее.

При электролизе сточных вод на катоде выделяется газообразный водород и разряжаются растворенные в воде ионы металлов. На аноде из веществ, не подвергающихся электролитическому растворению, выделяются кислород и галогены, окисляются некоторые присутствующие в сточных водах ионы и молекулы с образованием других ионов и молекул.

Аноды из железа, алюминия и некоторых других металлов под действием постоянного электрического тока растворяются с образованием нерастворимых в воде оксигидратов или основных солей соответствующих металлов способных к коагуляции.

Эффект очистки электрохимическими методами зависит от исходных свойств сточной воды (рН, температуры, общего содержания солей), а также от применяемых материалов для электродов и расстояния между ними, плотности тока, расхода электроэнергии, наличия диафрагм и их материала, а также интенсивности массообмена (перемешивания) в процессе электролиза.

Применение электрохимических методов целесообразно при относительно высокой электропроводности сточных вод, обусловленной наличием в них неорганических кислот, щелочей или солей (при минимальной концентрации солей, равной 0,5 г/л).

Общая принципиальная схема электролизера представлена на рис. 75.

5.2. Электрокоагуляция и электрофлотация

Метод очистки сточных вод в электролизере с растворимыми электродами называется *электрокоагуляцией*. Для изготовления анодов используют железо (сталь), алюминий, магний, часто и катоды выполняют из такого же материала, что позволяет повысить ресурс работы аппарата, периодически изменяя полярность электродов (реверс тока). В качестве анодов предложено использовать вертикально расположенные пер-

форированные кассеты из полимерного материала (полипропилена), загруженные отходами металла, например металлической стружкой, которую добавляют в кассеты по мере ее расходования. Такой анод называют *насыпным*.

Процессы, протекающие в электрокоагуляторах на электродах и в объеме раствора, определяются природой материала электродов, рН раствора и примесей, содержащихся в воде. При наложении электрического поля металлический анод растворяется, на нем выделяются пузырьки кислорода:

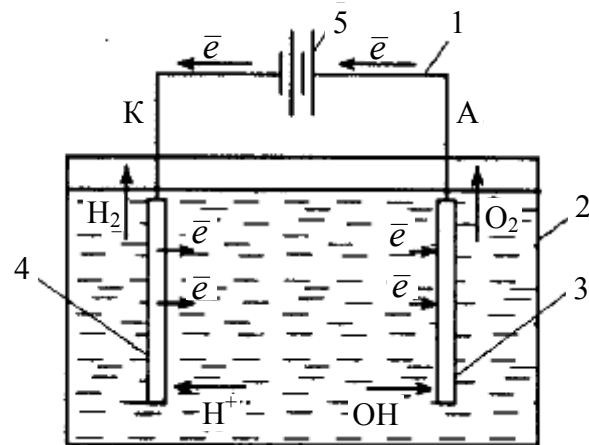
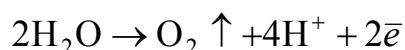
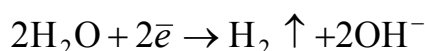


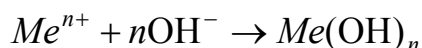
Рис. 75. Схема электролизера:
1 — внешняя цепь; 2 — емкость; 3 — анод;
4 — катод; 5 — источник питания



На катоде происходит преимущественно разряд молекул воды и выделение водорода:



Выделяющиеся на электродах пузырьки газа флотируют примеси и одновременно с электрокоагуляцией идет процесс электрофлотации. Перешедшие в воду катионы металла, железа или алюминия, встречаясь с гидроксильными группами, образуют гидроксиды металлов в виде хлопьев, наступает интенсивная коагуляция:



Одновременное образование хлопьев коагулянтов и пузырьков газа определяет совместное протекание процессов коагуляции и флотации, поэтому такие установки называются *электрокоагуляционно-флотационными*. При небольших объемах сточных вод (10—15 м³/ч) установки могут быть однокамерными, при больших — двухкамерными или многокамерными.

На процессы электрокоагуляции и электрофлотации оказывает также влияние расстояние между электродами, скорость движения воды между электродами, ее температура и состав, напряжение и плотность тока. С повышением концентрации взвешенных веществ более 100 мг/л эффективность электрокоагуляции снижается. С уменьшением расстоя-

ния между электродами уменьшается расход энергии на анодное растворение металла. Степень использования металла электродов составляет 50—90 % и зависит от конструкции коагуляторов, материала анода и состава очищаемой воды.

Теоретический расход электроэнергии и плотность тока зависят от материала электродов. Расстояние между электродами: для стальных 5—10 мм, алюминиевых — 12—15 мм; электродная плотность тока 150—250 А/м² для стальных и 80—120 А/м² для алюминиевых электродов; скорость движения воды между электродами от 0,03 до 0,5 м/с.

Электрокоагулятор представляет собой корпус прямоугольной или цилиндрической формы, в который помещают электродную систему — ряд электродов. Обрабатываемая вода протекает между электродами, которые обычно располагаются вертикально бывают плоскими и цилиндрическими. С внешней стороны к корпусу на изоляторах крепят две токоподводящие медные шины, которые соединяют с электродами.

Как правило, электрокоагулятор служит только для образования гидроксидов металлов и агрегации частиц; процесс разделения фаз происходит в отстойниках, гидроциклонах и др. Однако есть аппараты, в которых эти процессы совмещены и протекают в одной камере. Электрофлотаторы разделяют по направлению движения воды и флотирующихся газов на прямо- и противоточные, по расположению электродов — на горизонтальные и вертикальные.

Метод электрокоагуляции может быть применен для обработки сточных вод, содержащих эмульгированные частицы масел, жиров и нефтепродуктов (с алюминиевыми электродами), хроматы (со стальными электродами), тяжелые металлы, фосфаты, некоторые полимеры и др. Реакция среды при этом должна быть нейтральной или слабокислой.

Начальная концентрация маслосодержащих сточных вод (отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей) при очистке электрокоагуляцией — не более 10 г/л; шестивалентного хрома и ионов цветных металлов — до 100 мг/л, при концентрации каждого из ионов металлов — до 30 мг/л. Концентрация взвешенных веществ — до 50 мг/л. Эффективность очистки от масел — 54—68 %, от жиров — 92—99 %. На рис. 76 приведена технологическая схема установки очистки сточных вод электрокоагуляцией. Обрабатываемая вода проходит сначала предварительную грубую очистку в механическом фильтре и гидроциклоне. Процесс электрокоагуляции происходит в электрокоагуляторе-отстойнике со встроенной в него электродной системой. Часть скоагулированных примесей флотируется, другая осаждается в нижней части аппарата. Флотируемые продукты из верхней части аппарата и осадок из нижней отводятся в сборник, откуда направляются на дальнейшую переработку. Осветленная вода используется в оборотной системе водоснабжения.

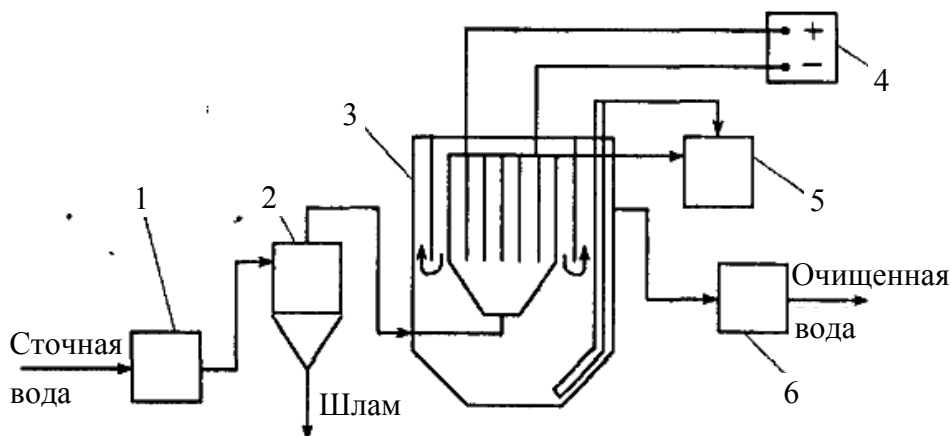


Рис. 76. Электрокоагуляционная установка для очистки сточных вод от нефтепродуктов:
 1 — фильтр; 2 — гидроциклон; 3 — электрокоагулятор-отстойник;
 4 — источник тока; 5 — сборник; 6 — фильтр

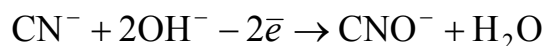
5.3. Электрохимическое окисление и восстановление

Анодное окисление и катодное восстановление составляют основу процесса электролиза, происходящего в электролизере. Электрохимическую обработку целесообразно применять при очистке концентрированных органических загрязнений и небольших расходах сточных вод. При этом из воды могут быть удалены цианиды, роданиды, амины, спирты, альдегиды, нитросоединения, сульфиды, меркаптаны, ионы тяжелых металлов Pb^{2+} , Sn^{2+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{6+} , As^{3+} и др. В процессах электрохимического окисления вещества, находящиеся в сточной воде, полностью распадаются с образованием CO_2 , NH_3 (или N_2) и воды или образуют простые и нетоксичные вещества, которые можно удалить другими методами. При электрохимическом восстановлении на катоде могут быть рекуперированы металлы.

В качестве анодов используют различные электролитически нерастворимые материалы: графит, магнетит, диоксиды свинца, марганца и рутения, которые наносятся на титановую основу. В качестве катодов обычно применяют легированную сталь, сплавы вольфрама с железом или никелем, цинк, свинец. На аноде ионы отдают электроны, протекает реакция электрохимического окисления, на катоде происходит присоединение электронов, идет реакция восстановления. Кроме основных процессов электроокисления и восстановления, одновременно могут протекать электрофлотация, электрофорез, электрокоагуляция.

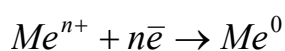
Чтобы предотвратить смешение продуктов электролиза, особенно газов, которые могут образовывать взрывоопасные смеси (водорода и кислорода), применяют керамические, полиэтиленовые, асбестовые и стеклянные диафрагмы, разделяющие катодное и анодное пространство.

Процесс анодного окисления осуществляется в электролитических ваннах, разделенных на несколько отсеков, в которых обрабатываемые воды перемешиваются сжатым воздухом. При электролизе щелочных вод, содержащих цианиды (не менее 100 мг/л), на аноде происходит окисление цианид-ионов с образованием цианат-ионов и дальнейшим их электрохимическим окислением до конечных продуктов:

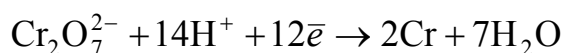


В целях повышения электропроводности сточных вод, снижения расхода электроэнергии и интенсификации процесса окисления в сточные воды добавляют минеральные соли, чаще всего NaCl (до 30 г/л).

Катодное восстановление металлов происходит по схеме:



При этом металлы осаждаются на катоде и могут быть рекуперированы. Например, реакция восстановления хрома протекает следующим образом:



Частицы металла отрываются от катода под действием сил тяжести и оседают в нижнюю часть аппарата.

На процесс электролиза влияет анодная плотность тока (100—150 А/м²), межэлектродное пространство (3 см для анодного окисления), скорость движения воды, рН, конструкция электродов.

Различают плоские и объемные электроды. Последние имеют преимущество при проведении процессов извлечения металлов из сильно разбавленных по ионам металла растворов. Объемные электроды бывают пластинчатыми, объемно-пористыми и псевдооживленными. В электродах первых двух типов раствор проходит через каналы электродов из блока пластин или камеры, заполненной электропроводным материалом. Электроды третьего типа представляют собой подвижные слои электропроводного дисперсного материала (графита, металла), контактирующие с расположенными в объеме слоя токосборниками.

Эффект очистки рассмотренными методами составляет 80—100 %. Локальные установки по электрохимическому окислению и восстановлению применяются на предприятиях машиностроительной, приборостроительной, химической, нефтехимической целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

5.4. Электродиализ

Процесс очистки сточных вод электродиализом основан на разделении ионизированных веществ под действием электродвижущей силы, создаваемой в растворе по обе стороны мембран. Этот процесс широко применяется для опреснения высокоминерализованных сточных вод. В последнее время его начали использовать для очистки производственных сточных вод.

Электродиализ осуществляется в многокамерных электродиализаторах под действием постоянного электрического тока, направленного перпендикулярно плоскости мембран. В простейшем случае электродиализатор состоит из двух-трех камер, отделенных одна от другой диафрагмами. Одна мембрана — анионитовая, отделяет камеру, где помещают анод, другую катионитовую, камеру с катодом (рис. 77).

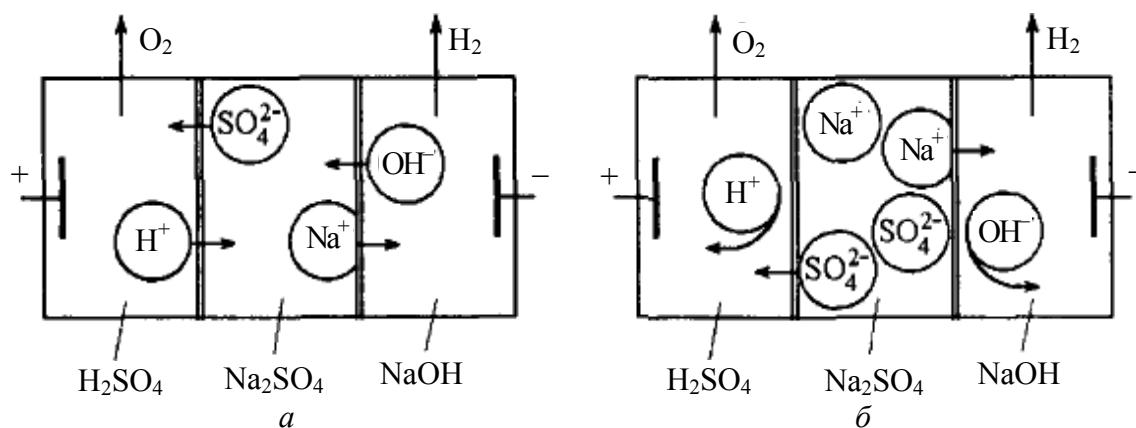


Рис. 77. Схемы электродиализаторов с пористыми диафрагмами (а) и ионитовыми мембранами (б)

Под воздействием постоянного тока катионы, двигаясь к катоду, проникают через катионитовые мембраны, но задерживаются анионитовыми, а анионы, двигаясь в направлении анода, проходят через анионитовые мембраны, но задерживаются катионитовыми. При этом на аноде выделяется кислород и образуется кислота, на катоде выделяется водород и образуется щелочь. По мере прохождения тока концентрация солей в средней камере уменьшается до тех пор, пока не станет близкой к нулю. В случае использования инертных мембран за счет диффузии в среднюю камеру поступают ионы H и OH, образуя воду и замедляя процесс переноса ионов соли к соответствующим электродам.

Мембраны для электродиализа изготавливают в виде гибких листов прямоугольной формы или рулонов из термопластичного полимерного связующего и порошка ионообменных смол. Применяют гомогенные и гетерогенные мембраны. Гомогенные состоят только из одной смолы и имеют малую механическую прочность; гетерогенные представляют со-

бой порошок ионита, смешанный со связующим веществом — каучуком, полистиролом и др.

При использовании электрохимически активных (ионообменных) диафрагм повышается эффективность процесса и снижается расход электроэнергии. Ионообменные мембраны проницаемы только для ионов, имеющих заряд того же знака, что и у подвижных ионов. Катоды и аноды изготавливают из стойких к окислению материалов: платины, магнетита, графита, платинированного титана.

Обычно электродиализаторы для очистки воды состоят из 100—200 камер с чередующимися катионо- и анионопроницаемыми мембранами. Расстояние между мембранами составляет 1—2 мм. Расход энергии $7 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ при снижении солесодержания с 250 до 5 мг/л. Основной недостаток процесса — концентрационная поляризация, приводящая к осаждению солей на поверхности мембраны и снижающая показатели очистки.

Технологические схемы электродиализаторных установок (ЭДУ) состоят из следующих узлов:

- 1) аппаратов предварительной подготовки воды для очистки от взвешенных и коллоидных частиц;
- 2) собственно электродиализной установки;
- 3) кислотного хозяйства и системы сжатого воздуха;
- 4) фильтров, загруженных активированным углем, бактерицидных установок.

Электродиализные опреснительные установки разделяются на прямоточные и циркуляционные. В одно- и многоступенчатых прямоточных установках заданное опреснение воды происходит в процессе ее протекания через ячейки ванны, в циркуляционных — опресняемая вода пропускается через ячейки ванны до тех пор, пока содержание в ней солей не снизится до заданного, они бывают порционного и непрерывного действия. Выбор установки осуществляется на основе технико-экономических расчетов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные достоинства электрохимических методов.
2. Опишите процесс электрокоагуляции с точки зрения физической химии.
3. Что происходит в процессе электрохимического окисления?
4. В каких аппаратах происходит процесс анодного окисления?
5. Для чего и почему применяется электродиализ?

6. ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

Термические методы применяются для обезвреживания как минерализованных сточных вод, так и стоков, содержащих растворенные и нерастворенные органические вещества.

Для обезвреживания минерализованных стоков применяют методы, позволяющие выделить из них соли с получением воды, пригодной для оборотного водоснабжения. Процесс удаления минеральных веществ из воды может быть проведен в две стадии:

- 1) концентрирование;
- 2) выделение сухих веществ.

Для этого используют установки термического концентрирования растворов:

- испарительные (выпарные и адиабатические);
- вымораживающие (вакуумные и с холодильным агентом);
- кристаллогидратные (холодильные и теплоиспользующие).

Выделение сухого продукта может происходить, например, в распылительной сушилке. Нередко вторую стадию заменяют захоронением концентрированных растворов.

К термоокислительным методам обезвреживания сточных вод, содержащих органические примеси, относятся парофазное окисление (огневой метод), жидкофазное окисление, парофазное каталитическое окисление. Сущность этих методов состоит в окислении примесей кислородом воздуха при повышенной температуре до нетоксичных соединений. По теплотворной способности сточные воды подразделяются на способные гореть самостоятельно и воды, для термоокислительного обезвреживания которых необходимо добавлять топливо. Последние имеют энтальпию ниже 8400 кДж/кг.

Установки термического обезвреживания сточных вод должны обеспечивать снижение концентрации вредных веществ в очищенной воде до значений, меньших ПДК, иметь незначительную чувствительность к составу стоков, обеспечивать надежность и экономичность в работе, иметь высокую производительность.

Выбор метода зависит от объема сточных вод, их состава, теплотворной способности, коррозионной активности, экономичности процесса, требований, предъявляемых к очищенным водам. Термические методы энергоемки и их, как правило, применяют для обезвреживания небольших количеств концентрированных сточных вод.

6.1. Концентрирование минерализованных сточных вод

Для концентрирования растворов в промышленности используют термическое концентрирование в выпарных установках: одно- и многоступенчатых с выпарными аппаратами различных конструкций, с естественной и принудительной циркуляцией. Обычно используют 4—5-корпусные установки с расходом тепла по пару 600 кДж на 1 кг влаги.

Для предотвращения отложений солей производится рециркуляция шлама. Применяются аппараты с вынесенной поверхностью нагрева и принудительной циркуляцией при скорости сточной воды 2—3 м/с, при этом значительно уменьшается отложение солей на поверхности нагрева. Распространены аппараты с вынесенной зоной испарения, что уменьшает ценообразование. В них раствор подогревается в трубах, а испарение происходит вне поверхности нагрева. Применяют также пленочные и роторные выпарные аппараты.

Для нагрева воды могут быть использованы газообразные, жидкие и твердые теплоносители. На практике наибольшее распространение получили контактные аппараты: с погружными горелками, барботажные, тарельчатые, насадочные, полочные, форсуночные. В аппаратах с погружными горелками упариваемая сточная вода нагревается при непосредственном контакте (барботаже) с дымовыми газами, полученными при сжигании газообразного или жидкого топлива в горелках, частично или полностью погруженных в жидкость. Стоимость выпаривания в таких аппаратах примерно в два раза ниже, чем в обычных выпарных аппаратах.

Высокий экономический эффект достигается при упаривании сточных вод в скрубберах, герметичных полых цилиндрах с коническим днищем. Сточная вода подается под давлением 0,5—0,6 МПа в распыливающие форсунки, расположенные в верхней части скруббера. Снизу поступают дымовые газы, имеющие температуру 900—1000 °С. Для уменьшения высоты скруббера и обеспечения его устойчивой работы устанавливают вытяжные вентиляторы.

В выпарных установках с гидрофобным теплоносителем нагревание и испарение сточных вод происходит вследствие контакта их с жидким гидрофобным теплоносителем. В них возможно упаривать сточные воды до высоких концентраций, избежать отложения солей на теплообменных поверхностях, уменьшить коррозию оборудования. В качестве теплоносителей можно использовать парафины различных типов, минеральные масла, силиконы и др. Гидрофобный теплоноситель должен быть практически нерастворим в воде, не образовывать эмульсий, не сорбировать растворенные в воде соли, хорошо отделяться от воды, быть термически устойчивым и иметь высокую теплоемкость.

Для опреснения минерализованных вод применяются адиабатные испарительные установки, называемые еще установками мгновенного испарения (УМИ). В них раствор концентрируется вследствие испарения перегретой жидкости, которая предварительно нагревается до температуры кипения в отдельно вынесенных подогревателях, откуда она поступает в камеру испарения с более высоким вакуумом. Испарение в камере происходит не только с поверхности воды, но и с поверхности капель, разбрызгиваемых специальными устройствами. Эти установки имеют высокий термодинамический КПД и низкую интенсивность солеобразования, могут быть одноступенчатыми и многоступенчатыми, в последних снижается расход греющего пара. Схема многоступенчатой адиабатической испарительной установки приведена на рис. 78.

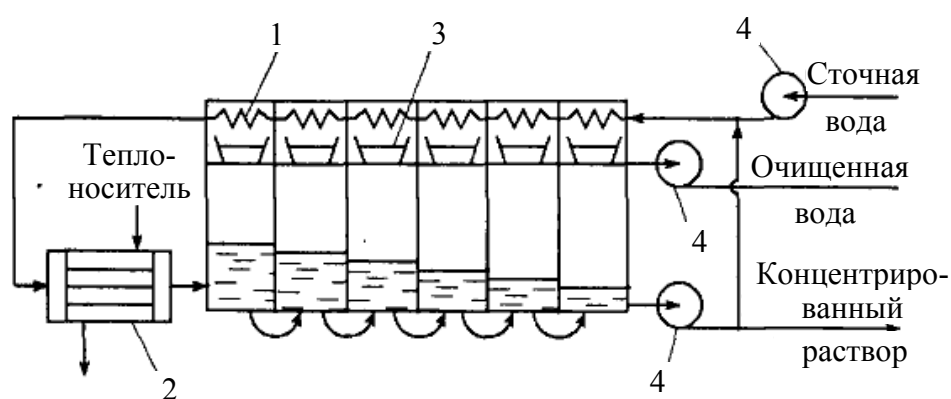


Рис. 78. Схема многоступенчатой адиабатической испарительной установки:
1 — ступень испарения; 2 — подогреватель; 3 — поддон-сборник; 4 — насосы

Сточная вода насосом перекачивается через ступень испарения, где предварительно нагревается образующимися при испарении парами, и подается в подогреватель, из которого направляется в камеру испарения. Жидкость испаряется при переходе из одной камеры в другую, из последней раствор насосом частично подается на рециркуляцию. Дистиллят, стекающий в поддон, насосом направляется потребителю. Такие установки нашли широкое применение для опреснения морской воды.

Многоступенчатые установки с вертикально-трубчатыми испарителями-конденсаторами так же, как и адиабатные испарительные установки, относятся к дистилляционным опреснителям. Основная функция их состоит в испарении воды с последующей конденсацией пара, которая приводит к получению чистой воды. Такие установки получили наибольшее распространение при высоком солесодержании.

В установках вымораживания концентрирование минерализованных вод основано на том, что концентрация солей в кристаллах льда значительно меньше, чем в растворе, и процесс вымораживания заключается в том, что при температуре ниже температуры замерзания чистая

вода образует кристаллы пресного 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. Вымораживание может происходить под вакуумом либо при помощи специального холодильного агента — контактное вымораживание. Схема концентрирования растворов вымораживанием под вакуумом представлена на рис. 79.

Кристаллегидратный процесс состоит в концентрировании воды с гидратообразующим агентом (аммиак, пропан, хлор, фреоны, CO_2 и др.) и образовании кристаллогидратов. При переходе молекулы воды в кристаллогидраты концентрация растворенных веществ в воде повышается. При плавлении кристаллов образуется вода, из которой выделяются пары гидратообразующего агента. Процесс может происходить при температуре ниже и выше температуры окружающей среды, в первом случае необходимо применение холодильных установок, во втором — нет.

Достоинством вымораживающих и кристаллогидратных установок является низкий расход энергии и возможность обезвреживания вод различного состава. Недостатки: дорогостоящие теплоносители, сложные технологические схемы, невысокая степень концентрирования растворов из-за трудности разделения кристаллов льда и вязкой суспензии и др. Поэтому указанные методы не нашли широкого применения в промышленности.

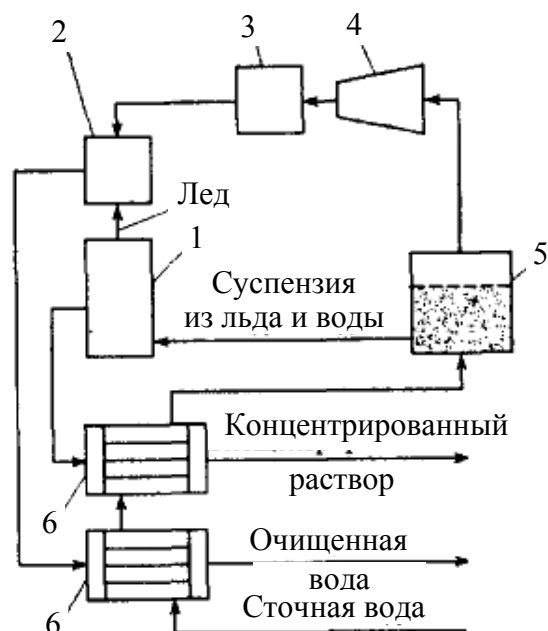


Рис. 79. Схема установки концентрирования раствора вымораживанием под вакуумом:
 1 — промывная колонна;
 2 — конденсатор-плавитель;
 3 — вспомогательная холодильная установка;
 4 — компрессор; 5 — кристаллизатор;
 6 — теплообменники

6.2. Термоокислительные методы обезвреживания жидких отходов

При использовании термоокислительных методов все органические вещества, загрязняющие сточные воды, полностью окисляются кислородом воздуха при высоких температурах до нетоксичных соединений.

Метод термоокислительного жидкофазного обезвреживания сточных вод (мокрого сжигания) состоит в окислении кислородом воздуха органических примесей сточных вод при температуре 100—350 °С и давлении, обеспечивающем нахождение воды в жидкой фазе (2—28 МПа). При высоких давлениях растворимость в воде кислорода значительно возрастает, что способствует ускорению процесса окисления органических веществ.

В зависимости от температуры и времени контакта окисление органических примесей происходит полностью или частично (до карбоновых и дикарбоновых кислот или других промежуточных продуктов). Вещества, летучие при условиях процесса, окисляются в основном в парогазовой фазе, а нелетучие — в жидкой. С увеличением концентрации органических примесей в воде экономичность процесса возрастает. Скорость реакций окисления растет с увеличением температуры.

Конечные продукты жидкофазного окисления имеют высокую температуру и давление и, следовательно, обладают большой энергией, которую можно использовать для выработки электроэнергии и пара. Среди достоинств метода — возможность очистки большого количества сточных вод без предварительного концентрирования, отсутствие в продуктах окисления вредных веществ, универсальность и др. Недостатки: неполное окисление некоторых веществ, высокая стоимость оборудования, образование накипи на теплопередающих поверхностях, коррозия. Метод начинает использоваться в целлюлозно-бумажной, фармацевтической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности.

Метод парофазного каталитического окисления заключается в каталитическом окислении кислородом воздуха при повышенной температуре в парогазовой фазе летучих органических веществ сточных вод. Сточная вода сначала подается в выпарной аппарат. Образующиеся при этом пары воды и органических веществ, а также воздух и газы направляются в контактный аппарат, загруженный катализатором. Процесс окисления протекает весьма интенсивно в паровой фазе при температурах 300—500 °С в присутствии меднохромового, цинкохромового, медномарганцевого или другого катализатора. Применение этого метода целесообразно при выводе воды из технологического процесса в виде пара (из ректификационных колонн, выпарных аппаратов и др.). Экономическая эффективность повышается в случае использования тепла, выделяющегося при окислении органических веществ. Очищенная вода (конденсат), как правило, может быть использована в системах оборотного водоснабжения. Установки парофазного каталитического окисления имеют большую производительность и высокую степень обезвреживания (до 99,8 %). Однако в них возможно отравление катализатора соединениями серы, фосфора, фтора.

Самым эффективным и универсальным из термических методов обезвреживания сточных вод является огневой (парофазное окисление). Сущность его заключается в распылении сточных вод в топочные газы, нагретые до температуры 900—1000 °С. Вода при этом полностью испаряется, а органические примеси сгорают. Минеральные примеси при этом образуют твердые или расплавленные частицы, которые выводятся из рабочей камеры печи или уносятся дымовыми газами.

Применение огневого метода целесообразно:

– при обезвреживании небольшого количества сточных вод, содержащих высокотоксичные органические примеси, извлечение и обезвреживание которых другими методами невозможно или экономически нецелесообразно;

– при наличии горючих производственных отходов, которые могут быть использованы вместо топлива (кубовые остатки, сбрасываемые газы и т.п.);

– при извлечении растворенных ценных минеральных примесей.

Метод отличается высоким расходом топлива и перегревом водяного пара.

При сжигании сточных вод различного состава могут образовываться оксиды щелочных и щелочноземельных металлов (CaO, MgO; BaO, K₂O, Na₂O и др.); органические соединения, содержащие серу, фосфор, галогены; газы SO₂, SO₃, P₂O₃, HCl, Cl₂ и др. Эти вещества вызывают коррозию аппаратуры. Из сточных вод, содержащих нитросоединения, могут выделяться оксиды азота N_xO_y. В газовой фазе эти вещества вступают в сложные взаимодействия с образованием новых соединений, в том числе токсичных, что необходимо учитывать при удалении газов в атмосферу.

Для сжигания применяют печи самых различных конструкций: камерные, шахтные, циклонные, барабанные, с псевдоожиженным слоем. Камерные, барабанные и шахтные печи более громоздки и менее производительны, требуют больших капитальных затрат. Используют их для сжигания сульфидных щелоков, сточных вод анилинокрасочной промышленности, производств фенолоформальдегидных смол, капролактами, пластмасс и др.

Наиболее эффективными и универсальными для огневого обезвреживания сточных вод являются циклонные печи. В них благодаря вихревому характеру газового потока создается интенсивный тепло- и массообмен между каплями сточной воды и газообразными продуктами. Такие печи работают при больших удельных нагрузках, они могут быть горизонтальными и вертикальными. Воздух тангенциально вводится в печь и совершает вращательное движение, перемещаясь вдоль оси ци-

линдра по спирали. Сточная вода подается форсункой, распыляется и сгорает. Недостаток — большой унос солей с газовым потоком.

В псевдооживенных печах газ поступает под газораспределительную решетку, а вода навстречу ему. Твердые частицы в процессе сжигания находятся во взвешенном состоянии. Однако конструктивные недостатки, несовершенство контроля и автоматики и высокая стоимость процесса не позволили найти им широкое распространение.

Разработан ряд технологических схем по огневому обезвреживанию сточных вод. Есть установки как с утилизацией тепла, так и без нее, с очисткой отходящих газов и без очистки. На рис. 80 приведена схема с котлом-утилизатором тепла и сухой газоочисткой.

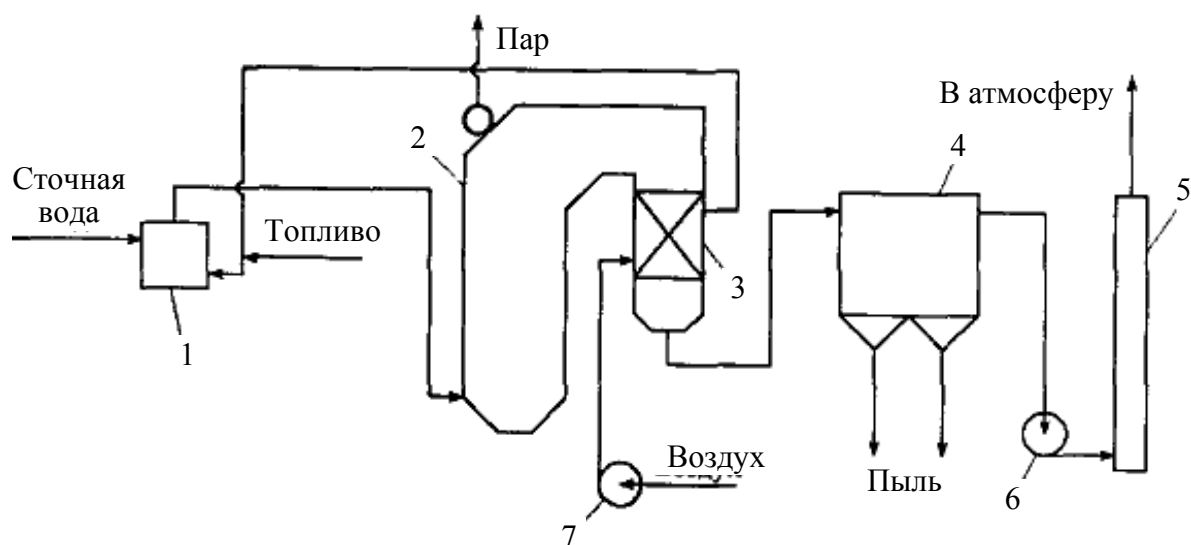


Рис. 80. Схема установки огневого обезвреживания сточных вод:

1 — печь, 2 — котел-утилизатор, 3 — воздухоподогреватель;
4 — аппарат сухой очистки газов; 5 — труба; 6 — дымосос; 7 — воздуходувка

Контрольные вопросы

1. В чем суть методов парофазного и жидкофазного окисления?
2. Перечислите аппараты, применяемые для концентрирования минерализованных сточных вод.
3. В чем достоинства и недостатки термоокислительных методов обезвреживания сточных вод?
4. Когда целесообразно применение огневого метода термоокисления?
5. Опишите принцип работы циклонной печи.

7. БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать растворенные органические вещества сточных вод для питания в процессе жизнедеятельности. Часть органических веществ превращается в воду, диоксид углерода, нитрит- и сульфат-ионы, часть идет на образование биомассы.

Сооружения биологической очистки можно условно разделить на два вида:

- 1) с очисткой в условиях, близких к естественным;
- 2) с очисткой в искусственно созданных условиях.

К первому виду относятся *поля фильтрации* и *орошения* (земельные участки, в которых очистка происходит за счет фильтрации через слой грунта), а также *биологические пруды* (неглубокие водоемы, в которых происходит очистка, основанная на самоочищении водоемов).

Второй вид составляют такие сооружения, как биофильтры и аэротенки. *Биофильтр* — резервуар с фильтрующим материалом, поверхность которого покрыта *биологической пленкой* (колония микроорганизмов, способных сорбировать и окислять органические вещества из сточных вод). *Аэротенк* — резервуар, в котором очищаемые стоки смешиваются с *активным илом* (биоценоз микроорганизмов, также способных поглощать органику из стоков).

Биологическая очистка является основным методом обработки городских сточных вод. Существуют аэробные и анаэробные методы биологической очистки сточных вод. При аэробной очистке микроорганизмы культивируются в активном иле и биопленке [6].

7.1. Общие положения

Биохимический метод применяют для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод от многих растворенных органических и некоторых неорганических (сероводорода, сульфидов, аммиака, нитритов и др.) веществ. Биологические методы очистки сточных вод основываются на естественных процессах жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов. Микроорганизмы, как известно, обладают рядом особых свойств, из которых следует выделить три основных, широко используемых для целей очистки:

– способность потреблять в качестве источников питания самые разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего функционирования;

- свойство быстро размножаться (в среднем число бактериальных клеток удваивается через каждые 30 мин);
- способность образовывать колонии и скопления, которые сравнительно легко можно отделить от очищенной воды после завершения процессов изъятия содержащихся в ней загрязнений.

В живой клетке непрерывно и одновременно протекают два процесса — распад молекул (катаболизм) и их синтез (анаболизм), составляющие в целом процесс обмена веществ — метаболизм. Иными словами, процессы деструкции потребляемых микроорганизмами органических соединений неразрывно связаны с процессами биосинтеза новых микробиальных клеток, различных промежуточных или конечных продуктов, на проведение которых расходуется энергия, получаемая микробиальной клеткой в результате потребления питательных веществ.

Механизм изъятия из сточных вод органических веществ носит весьма сложный и многоступенчатый характер взаимосвязанных и последовательных биохимических реакций.

При очистке сточных вод, содержащих смесь разнообразных по химическому составу загрязнений, биомасса, осуществляющая очистку, представляет собой сообщество различных видов микроорганизмов и простейших со сложными отношениями между ними на уровне ферментативных реакций. В аэротенках микробиальная масса пребывает во взвешенном в жидкости состоянии в виде отдельных хлопьев, которые представляют собой зооглейные скопления микроорганизмов, простейших и более высокоорганизованных представителей фауны (коловратки, черви, личинки насекомых, а также водных грибов и дрожжей).

Биоценоз организмов, развивающихся в аэробных условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде, получил название активного ила. Основная роль в нем принадлежит группам бактерий, способным не только извлекать из сточной воды взвешенные и органические вещества, но и самоорганизовываться в колонии — хлопья, легко отделяемые затем от, очищенной воды отстаиванием или флотацией. *Активный ил* — скопление микроорганизмов, в которых клетки окутаны «паутиной» растворимых или слаборастворимых внеклеточных полимерных образований.

С инженерной точки зрения определяющим для технологического и конструктивного оформления процесса биологической очистки является скорость изъятия загрязнений из очищаемой воды в процессе биохимических реакций. Среди основных закономерностей развития колоний микроорганизмов можно выделить следующие фазы (рис. 81):

1. Лаг-фаза, или фаза адаптации, которая наблюдается сразу после введения микробиальной культуры в контакт с питательной средой и в которой практически не происходит прироста биомассы.

2. Фаза экспоненциального роста (фаза ускоренного роста) микроорганизмов, в которой избыток питательных веществ и отсутствие (или весьма незначительное присутствие) продуктов обмена веществ способствуют поддержанию максимально возможной в данных условиях скорости размножения клеток.

3. Фаза замедленного роста, в которой скорость роста биомассы начинает все более сдерживаться по мере истощения питательных веществ и накопления продуктов метаболизма в культуральной среде.

4. Фаза нулевого роста (или прекращения роста), в которой наблюдается практически стационарное состояние в количестве биомассы, свидетельствующее о равновесии между наличием питательных веществ и накопленной биологической массой.

5. Фаза эндогенного дыхания (или фаза самоокисления), в которой из-за недостатка питания начинаются отмирание и распад клеток, ведущие к снижению общего количества биомассы в биологическом реакторе.

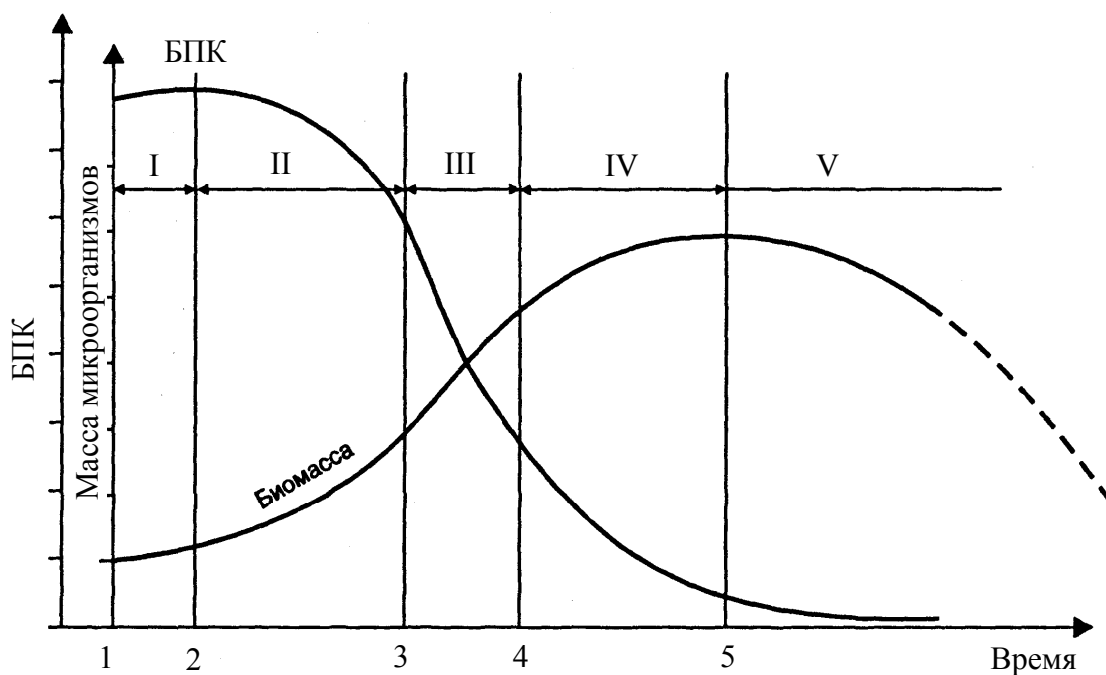


Рис. 81. Зависимость прироста биомассы в аэробных условиях от концентрации питательных веществ

Из рис. 81 видно, что отмеченным фазам роста микробиальной массы соответствует и динамика изменения концентрации питательных веществ, выраженных через БПК. Это позволяет сделать следующие выводы:

1) при биологической очистке значительная часть загрязнений сточных вод в результате метаболической активности микроорганизмов и сорбционной способности активного ила превращается в биологическую массу, сравнительно легко отделимую от очищенной воды;

2) длительность изъятия и окисления содержащихся в сточной воде органических загрязнений будет тем короче, чем дольше масса микроорганизмов будет в контакте с ними;

3) при уменьшении содержания органических веществ в очищаемой жидкости ниже определенного предела жизнедеятельность микроорганизмов продолжается, но уже либо за счет накопленных питательных веществ, либо за счет их собственной массы, т. е. отмирания и окисления микроорганизмов со снижением общей их массы (процесс самоокисления).

Важнейшей характеристикой биологического окисления в аэротенках является *нагрузка загрязнений на ил*. Под ней понимается количество поступающих со сточной водой загрязнений в миллиграммах или граммах загрязнения (ХПК, БПК или любого другого загрязнения) на 1 г сухого вещества ила в 1 ч или в 1 сут.

Доза активного ила a_i — концентрация его в аэротенке, которая выражается в граммах сухого вещества ила в 1 л или в 1 м³ иловой смеси. Нагрузку на активный ил по БПК можно представить в виде зависимости

$$q_i = \frac{L_{en}}{a_i(1-s)t_{at}},$$

где L_{en} — БПК поступающей в аэрационное сооружение сточной жидкости, мг/л или г/м³; a_i — доза ила, выражаемая в г/л, если БПК выражена в мг/л или в г/м³; s — зольность ила, доли единицы; t_{at} — длительность пребывания жидкости в аэрационном сооружении.

При полной биологической очистке БПК_{полн} после отделения активного ила составляет 12—20 мг/л. Разница между поступающей в аэротенк БПК_{полн} и выходящей из него называется *снятой БПК_{полн}*. Отношение снятой БПК_{полн} к массе ила и длительности аэрации представляет удельную скорость изъятия загрязнений из очищаемой воды, т. е. скорость очистки, определяется в миллиграммах или граммах БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч:

$$\rho_i = \frac{(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-s)t_{at}},$$

где L_{ex} — БПК выходящая из аэрационного сооружения сточной жидкости, мг/л или г/м³.

Удельная скорость изъятия загрязнений устанавливается экспериментальным путем. Если органическая нагрузка q_i превышает 0,5 г БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества, то аэротенк считается высоконагруженным; если нагрузках q_i находится в пределах 0,15–0,5 г БПК_{полн}

на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки — средненагруженным, а при q_i в пределах $\sim 0,065—0,15$ г БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки — низконагруженным. При нагрузках менее $\sim 0,065$ г БПК на 1 г беззольного вещества ила имеет место так называемая *продленная аэрация*, при которой происходит самоокисление определенного количества активного ила.

Разделение активного ила от очищенной сточной воды осуществляется в основном гравитационным путем, т. е. отстаиванием; при этом активный ил осаждается на дно отстойного сооружения и несколько уплотняется, после чего может быть возвращен в аэрационное сооружение. Степень осаждаемости активного ила определяется понятием «*иловый индекс*». Хорошо оседающий ил имеет иловый индекс от 60–90 до 120—150 мл/г. Как перегрузка, так и недогрузка активного ила по загрязнениям (помимо прочих факторов) приводят к резкому увеличению илового индекса, названному *вспуханием ила*, и повышенному выносу его с очищенной сточной водой. Доза активного ила в аэрационных сооружениях может колебаться в пределах 3—5 г/л — при продленной аэрации; 3—4 г/л — при низких нагрузках на ил; 2,5—3,5 г/л — при средних и 2—3 г/л — при высоких нагрузках.

Для оценки работы аэрационных сооружений имеет важное значение *окислительная мощность*. Математическое выражение этой величины представляет собой произведение дозы ила (в пересчете на беззольное вещество) на скорость очистки, т. е.

$$OC_{at} = 24a_i(1 - s)\rho_i,$$

где ρ_i — БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества в 1 ч.

В зависимости от технологического режима его работы окислительная мощность аэротенков может составлять от 0,3 кг БПК_{полн} до 2—3 кг БПК_{полн} на 1 м³ сооружения. Важной характеристикой активности ила является возраст ила, под которым понимается средняя продолжительность его пребывания в сооружениях биологической очистки.

В аэротенке поддерживается определенная для данных условий концентрация ила, поэтому прирастающая масса ила должна своевременно удаляться из системы биологической очистки. Эту массу ила, т. е. прирост ила, называют *избыточным активным илом*. Масса ила, возвращаемая из сооружения илоотделения в аэротенки, получила название *циркуляционного активного ила*.

Опыт эксплуатации аэрационных сооружений показывает, что оптимальная активность ила обеспечивается при его возрасте в 2—5 сут.

Эффективность работы аэрационных сооружений оценивается на основе лабораторных анализов по следующим показателям: по БПК_{полн} (ХПК) в неочищенной сточной воде, приросту ила, БПК_{полн} очищенной

воды, азоту аммонийному, нитритам, нитратам, соединениям фосфора, взвешенным веществам (после отделения ила), по дозе ила, концентрации растворенного кислорода, температуре, рН. Работа аэрационных сооружений оценивается также такими энергетическими показателями, как расход электроэнергии на снятие единицы массы загрязнений, например 1 кВт · ч на 1 кг БПК_{полн} (или ХПК); расход энергии или воздуха на очистку 1 м³ сточной воды. Для вывода аэротенка в расчетный режим работы требуются 2—4 недели и более, для ускорения пуска в работу аэротенков практикуется завоз некоторого количества активного ила из расположенных поблизости действующих очистных сооружений [3].

7.1.1. Основные показатели

Сточные воды, направляемые на биохимическую очистку, характеризуются величиной БПК и ХПК.

БПК — это биохимическая потребность в кислороде или количество кислорода, использованного при биохимических процессах окисления органических веществ (не включая процессы нитрификации) за определенный промежуток времени (2, 5, 8, 10, 20 сут), в мг О₂ на 1 мг вещества. Например: БПК₅ — биохимическая потребность в кислороде за 5 сут, БПК_{полн} — полная биохимическая потребность в кислороде до начала процессов нитрификации.

ХПК — химическая потребность в кислороде, т. е. количество кислорода, эквивалентное количеству расходуемого окислителя, необходимого для окисления всех восстановителей, содержащихся в воде ХПК, также выражают в мг О₂ на 1 мг вещества.

Контактируя с органическими веществами, микроорганизмы частично разрушают их, превращая в воду; диоксид углерода, нитрит- и сульфат-ионы и др. Другая часть вещества идет на образование биомассы. Разрушение органических веществ называют *биохимическим окислением*. Некоторые органические вещества способны легко окисляться, а некоторые не окисляются совсем или очень медленно.

Для установления возможности подачи промышленных сточных вод на биохимические очистные сооружения устанавливают максимальные концентрации токсичных веществ, которые не влияют на процессы биохимического окисления (МК_б) и на работу очистных сооружений (МК_{б. ос}). При отсутствии таких данных возможность биохимического окисления устанавливают по отношению БПК и ХПК. При отношении (БПК/ХПК) · 100 = 50 % вещества поддаются биохимическому окислению. При этом необходимо, чтобы сточные воды не содержали ядовитых веществ и примесей солей тяжелых металлов. Биохимические показатели для некоторых органических веществ приведены в табл. 6.

Таблица 6. Биохимические показатели органических соединений
(индекс у МК_{б.ос}: А — аэротенк, Б — биофильтр) [11]

Название	Формула	ХПК, мг О ₂ / мг в-ва	БПК, мг О ₂ / мг в-ва	МК _б мг/л	МК _{б.ос} , мг/л	БПК _п , % ХПК
Анилин	C ₆ H ₅ NH ₂	2,41	1,90	0,5	100 ^Б —250 ^А	79
Бензойная кислота	C ₆ H ₅ COOH	2	1,61	10	150 ^Б	80,5
Бензол	C ₆ H ₆	3,07	1,15	25	100*	37,4
Бутанол	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	2,60	1,43	20	420 ^Б —600 ^А	55
Диэтиламин	(CH ₃ CH ₂) ₂ NH	2,95	1,31	10	50 ^Б	44,5
Метанол	CH ₃ OH	1,5	0,86	20,3	200 ^Б	65,1
Нитробензол	CH ₅ NO ₂	1,91	0	10	—	—
Скипидар	C ₁₀ H ₁₆	1,16	3	20	—	—
Сахароза	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	1,12	0,7	—	—	62,5
Толуол	CH ₃ C ₆ H ₅	1,87	1,11	25	200 ^А	58,8
Фенол	C ₆ H ₅ OH	2,38	1,1	0,3	1000 ^А —120 ^Б	46,2
Хлорбензол	C ₆ H ₅ Cl	0,91	0,03	2	10 ^А	3,3
Этанол	C ₂ H ₅ OH	2,08	1,82	—	—	87,5

Для неорганических веществ, которые практически не поддаются окислению, также устанавливают максимальные концентрации. Если такие концентрации превышены, воду нельзя подвергать биохимической очистке. Например, МК_б в мг/л для: меди — 0,5; ртути — 0,02; свинца — 0,1; хлора — 0,3; бора — 0,05; сероводорода — 1; хлорида железа — 5.

Известны аэробные и анаэробные методы биохимической очистки сточных вод. Аэробный метод основан на использовании аэробных групп организмов, для жизнедеятельности которых необходим постоянный приток кислорода и температура 20—40 °С. При изменении кислородного и температурного режима состав и число микроорганизмов меняются. При аэробной очистке микроорганизмы культивируются в активном иле или биопленке. Анаэробные методы очистки протекают без доступа кислорода; их используют, главным образом, для обезвреживания осадков.

7.1.2. Состав активного ила и биопленки

Активный ил состоит из живых организмов и твердого субстрата. Живые организмы представлены скоплениями бактерий и одиночными бактериями, простейшими червями, плесневыми грибами, дрожжами, актиномицетами и редко — личинками насекомых, рачков, а также водорослями и др. Сообщество всех живых организмов, населяющих ил, называют *биоценозом*. Биоценоз активного ила в основном представлен двенадцатью видами микроорганизмов и простейших.

Скопления бактерий в активном иле окружены слизистым слоем (капсулами). Такие скопления называются *зоогелями*. Они способствуют улучшению структуры ила, его осаждению и уплотнению. Слизистые вещества содержат антибиотики, способные подавлять нитчатые бактерии. Соотношение капсульных и бескапсульных штаммов называют *коэффициентом зооглейности*. Бактерии, лишённые слизистого слоя, с меньшей скоростью окисляют загрязнения.

Активный ил представляет собой амфотерную коллоидную систему, при $\text{pH} = 4\text{—}9$ имеющую отрицательный заряд. Несмотря на существенные различия сточных вод элементный химический состав активных илов достаточно близок. Например, химический состав активного ила системы очистки коксохимического завода отвечает формуле $\text{C}_{97}\text{H}_{199}\text{O}_{53}\text{N}_{28}\text{S}_2$; завода азотных удобрений — $\text{C}_{90}\text{H}_{167}\text{O}_{52}\text{N}_{24}\text{S}_8$; смеси ПСВ и БСВ — $\text{C}_{111}\text{H}_{212}\text{O}_{82}\text{N}_{20}\text{S}$ и городских сточных вод — $\text{C}_{54}\text{H}_{212}\text{O}_{82}\text{N}_8\text{S}_7$.

Сухое вещество активного ила содержит 70—90 % органических и 10—30 % неорганических веществ. Субстрат, которого в активном иле может быть до 40 %, представляет собой твёрдую отмершую часть остатков водорослей и различных твёрдых остатков. К нему прикрепляются организмы активного ила.

В активном иле находятся организмы различных групп. Возникновение таких групп зависит от состава сточных вод, содержания в них кислорода, температуры, реакции среды, содержания солей окислительно-восстановительного потенциала и других факторов. По экологическим группам микроорганизмы делятся на *аэробов* и *анаэробов*, *термофилов* и *мезофилов*, *галофилов* и *галофобов*. При очистке промышленных сточных вод преобладают аэробные микробы.

В активных илах встречаются представители четырех видов простейших: *саркодовые*, *жгутиковые*, *реснитчатые* и *сосущие инфузории*. Простейшие организмы не принимают непосредственного участия в разрушении органических загрязнений, но поглощают большое число бактерий (одна инфузория пропускает через свой организм от 20 до 40 тыс. бактерий), поддерживая их оптимальное содержание в иле. Они способствуют осаждению ила и осветлению сточных вод. Коловратки — микроскопические организмы длиной 0,01—2,5 мм — существуют только при наличии в сточной воде кислорода. Они питаются бактериями и простейшими.

В активном иле в определенных соотношениях содержатся названные группы бактерий, но в зависимости от состава сточных вод преобладает одна из групп, а остальные ей сопутствуют. Только основная группа бактерий участвует в процессе очистки сточных вод, а сопутствующие группы микробов подготавливают среду для существования микроорганизмов этой основной группы, обеспечивая ее питательными

и ростовыми веществами и утилизируя продукты окисления. Биомасса основной физиологической группы бактерий, ведущих процесс окисления, составляет в илах 80–90 %, а остальное — биомасса сопутствующих бактерий и других организмов.

При образовании активного ила сначала появляются бактерии, затем простейшие. Бактерии выделяют вещества, стимулирующие размножение простейших. Они обладают склеивающей способностью, поэтому активный ил представляет собой буровато-желтые комочки и хлопья размером 3—150 мкм. Хлопья обладают поверхностью около 1200 м² на 1 м³ ила (100 м² на 1 г сухого вещества). В 1 м³ активного ила содержится $2 \cdot 10^{14}$ бактерий.

Качество ила определяется скоростью его осаждения и степенью очистки жидкости. Крупные хлопья оседают быстрее, чем мелкие. Состояние ила характеризует иловый индекс, который представляет собой отношение объема осаждаемой части активного ила к массе высушенного осадка (в граммах) после отстаивания в течение 30 минут. Чем хуже оседает ил, тем более высокий иловый индекс он имеет.

Биопленка растет на наполнителе биофильтра, она имеет вид слизистых обрастаний толщиной 1—2 мм и более. Цвет ее меняется с изменением состава сточных вод от серовато-желтого до темно-коричневого.

Биопленка состоит из бактерий, грибов, дрожжей и других организмов. В ней встречаются более разнообразные представители простейших, коловраток, червей, чем в активном иле. Личинки комаров и мух, черви и клещи поедают активный ил и биопленку, вызывая их рыхление. Это способствует процессу очистки. Число микроорганизмов в биопленке меньше, чем в активном иле. В 1 м³ биопленки содержится $1 \cdot 10^{12}$ бактерий [6, 10].

7.1.3. Закономерности распада органических веществ

Процесс разрушения сложных органических соединений происходит в определенной последовательности и в присутствии катализаторов этих реакций — ферментов, которые выделяются клетками бактерий. *Ферменты* — сложные белковые соединения (молекулярная масса достигает сотен тысяч и миллионов), ускоряющие биохимические реакции. Ферменты бывают одно- и двухкомпонентные. Двухкомпонентные ферменты состоят из белковой (апофермент) и небелковой (кофермент) части. Каталитической активностью обладает кофермент, а белковый носитель увеличивает его активность.

Различают ферменты, вырабатываемые бактериями для внеклеточного расщепления веществ — *экзоферменты* и внутренние пищеварительные ферменты — *эндоферменты*.

Особенность ферментов состоит в том, что каждый из них катализирует только одно из многих превращений. Существуют шесть основных ферментных классов:

- оксиредуктазы;
- трансферазы;
- гидралазы;
- лиозы;
- изомеразы;
- лигазы.

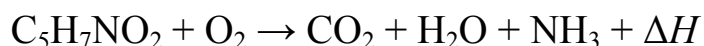
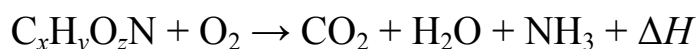
Для разрушений сложной смеси органических веществ необходимо 80—100 различных ферментов, каждый из них имеет свою оптимальную температуру, выше которой скорость реакции падает.

Процесс биологического окисления состоит из множества ступеней и начинается с расщепления органического вещества с выделением активного водорода. В этом процессе особую роль играют ферменты класса оксиредуктазы: *дегидрогеназы* (отнимающие водород от субстрата), *каталазы* (расщепляющие перекись водорода) и *пероксидазы* (использующие активированную перекись для окисления других органических соединений).

Существуют вещества, которые повышают активность ферментов — *активаторы* (витамины, катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+}), и *ингибиторы*, оказывающие противоположное действие (например, соли тяжелых металлов, антибиотики).

Ферменты, которые постоянно присутствуют в клетках, независимо от субстрата, называются *конститутивными*. Ферменты, которые синтезируются клетками в ответ на изменение внешней среды, называются *адаптивными*. Срок адаптации составляет от нескольких часов до сотен дней.

Суммарные реакции биохимического окисления в аэробных условиях можно схематично представить в следующем виде:



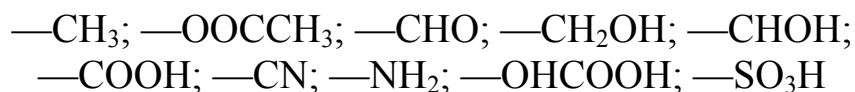
где $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z\text{N}$ — все органические вещества сточных вод; ΔH — энергия; $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ — условная формула клеточного вещества бактерий.

Реакция (I) показывает характер окисления вещества для удовлетворения энергетических потребностей клетки (*катаболический процесс*), реакция (II) — для синтеза клеточного вещества (*анаболический процесс*). Затраты кислорода на эти реакции составляют БПК_{полн} сточной во-

ды. Реакции (III) и (IV) характеризуют превращение клеточного вещества в условиях недостатка питательных веществ. Общий расход кислорода на все 4 реакции приблизительно вдвое больше, чем на (I) и (II).

Большое количество биохимических реакций происходит с помощью кофермента А (или КоА, КоА-*SH* кофермент ацилирования). Кофермент А является производным *b*-меркаптоэтиламида пантотеновой кислоты и нуклеотида — аденозин-3,5-дифосфата (C₂₁H₃₆O₁₆P₃S) с молекулярной массой 767,56. КоА активирует карбоновые кислоты, образуя с ними ацилпроизводные КоА.

Легко окисляются бензойная кислота, этиловый и амиловый спирты, гликоли, глицерин, анилин, сложные эфиры и др. Плохо окисляются нитросоединения, «жесткие» ПАВ, трехатомные спирты и др. Наличие функциональных групп увеличивает способность к биологическому разрушению соединений в такой последовательности:



7.1.4. Зависимость скорости биологической очистки от различных факторов

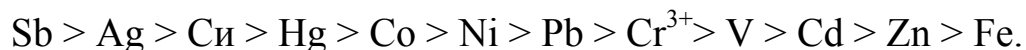
При заданной степени очистки основными факторами, влияющими на скорость биохимических реакций, являются концентрация потока, содержание кислорода в сточной воде, температура и рН среды, содержание биогенных элементов, а также тяжелых металлов и минеральных солей.

Турбулизация потока сточной воды приводит к увеличению скорости поступления питательных веществ и кислорода к микроорганизмам, что приводит к увеличению скорости очистки. Турбулизация обеспечивается интенсивным перемешиванием подаваемым воздухом или механическими способом.

Повышение температуры сточной воды увеличивает скорость протекания очистки в 2—3 раза, но только в пределах 20—30 °С. При этом необходимо проводить более интенсивную аэрацию, так как растворимость кислорода с увеличением температуры падает.

При более низких температурах замедляется процесс адаптации бактерий к новым видам загрязнений, ухудшаются процессы нитрификации, флокуляции и осаждения активного ила.

Соли тяжелых металлов сорбируются активным илом, при этом снижается биохимическая активность ила и происходит его вспухание из-за интенсивного развития нитчатых форм бактерий. По степени токсичности тяжелые металлы можно расположить в следующем порядке:



Абсорбция и потребление кислорода. В процессе аэрации вода насыщается пузырьками воздуха, затем кислород из пузырьков абсорбируется водой и переносится к микроорганизмам. Перенос кислорода из газовой фазы к клеткам происходит в два этапа. На первом этапе происходит перенос кислорода из воздушных пузырьков в основную массу жидкости, на втором — перенос абсорбированного кислорода из основной массы жидкости к клеткам под действием турбулентных пульсаций. Скорость всего процесса лимитируется диффузионным сопротивлением воды при абсорбции кислорода. Наиболее надежный способ увеличения количества абсорбированного кислорода — повышение объемного коэффициента массоотдачи. Это достигается дроблением газовых пузырьков и увеличением газосодержания потока сточной воды.

Скорость потребления кислорода микроорганизмами не превышает скорость его абсорбции. Скорость потребления кислорода увеличивается с увеличением содержания его в воде, однако, только до определенного предела. Концентрация кислорода в воде, при которой скорость потребления его становится постоянной и не зависит от дальнейшего повышения концентрации, называется критической. Критическая концентрация меньше равновесной и зависит от природы микроорганизмов и температуры.

Биогенные элементы и микроэлементы являются необходимыми для успешного протекания биохимических реакций в сточной воде. К ним относятся N, S, P, K, Mg, Ca, Na, Cl, Fe, Mn, Mo, Ni, Co, Zn, Cu и др. Среди них основными являются N, P и K. Недостаток азота тормозит окисление органических загрязнителей и приводит к образованию труднооседающего ила. Недостаток фосфора приводит к развитию нитчатых бактерий и, в результате, к вспуханию активного ила.

Содержание биогенных элементов зависит от состава сточных вод и должно устанавливаться экспериментально. Ориентировочное соотношение $BPK_{полн.}:N:P$ при продолжительности очистки до 3 суток составляет 100:5:1. При продолжительности очистки 20 суток это соотношение следует поддерживать на уровне 200:5:1. При нехватке азота, фосфора и калия в сточные воды добавляют азотные, фосфорные и калийные удобрения [6].

7.1.5. Биохимический показатель

Биохимической активностью микроорганизмов называют биохимическую деятельность, связанную с разрушением органических загрязнений сточных вод. Биоразлагаемость сточных вод характеризуется через биохимический показатель, под которым понимают соотношение BPK/XPK .

Биохимический показатель является параметром, необходимым для расчета и эксплуатации промышленных сооружений для очистки сточных вод. Его значения колеблются в широких пределах для различных групп сточных вод. Промышленные сточные воды имеют низкий биохимический показатель (0,05—0,3); бытовые сточные воды — свыше 0,5. По биохимическому показателю концентрации загрязнений и токсичности промышленные сточные воды делят на четыре группы.

Первая группа имеет биохимический показатель выше 0,2. К этой группе, например, относятся сточные воды пищевой промышленности (дрожжевых, крахмальных, сахарных, пивоваренных заводов), прямой перегонки нефти, синтетических жирных кислот, белково-витаминных концентратов и др. Органические загрязнения этой группы не токсичны для микробов.

Вторая группа имеет показатель в пределах 0,10—0,02. В эту группу входят сточные воды коксования, азотнотуковых, коксохимических, газосланцевых, содовых заводов. Эти воды после механической очистки могут быть направлены на биохимическое окисление.

Третья группа имеет показатель 0,01—0,001. К ней относятся, например, сточные воды процессов сульфирования, хлорирования, производства масел и ПАВ, сернокислотных заводов, предприятий черной металлургии, тяжелого машиностроения и др. Эти воды после механической и физико-химической локальной очистки могут быть направлены на биохимическое окисление.

Четвертая группа имеет показатель ниже 0,001. Сточные воды этой группы в основном содержат взвешенные частицы. К этим водам относятся стоки угле- и рудообогатительных фабрик и др. Для них используют механические методы очистки.

Сточные воды первой и второй групп относительно постоянны по виду и расходу загрязнений. После очистки они применимы в системах оборотного водоснабжения. Сточные воды третьей группы образуются периодически и отличаются переменной концентрацией загрязнений, устойчивых к биохимическому окислению. Они загрязнены веществами, которые хорошо растворимы в воде. Эти воды непригодны для оборотного водоснабжения [3].

7.2. Сооружения и аппараты для биологической очистки сточных вод в искусственных условиях

Всю совокупность сооружений биологической очистки целесообразно разделить на три группы по признаку расположения в них активной биомассы:

- 1) когда активная биомасса находится в воде в свободном (взвешенном) состоянии;
- 2) когда активная биомасса закреплена на неподвижном материале, а сточная вода тонким слоем скользит по материалу загрузки;
- 3) когда сочетаются оба варианта расположения биомассы.

Первую группу сооружений составляют аэротенки, циркуляционные окислительные каналы, окситенки; вторую — биофильтры; третью — погружные биофильтры, биотенки, аэротенки с заполнителями.

В производственных сточных водах встречается до 30 видов бактерий. Эти бактерии усваивают нефть, парафины, нафтены, фенолы и другие соединения.

Самыми важными факторами формирования биоценоза илов очистных сооружений являются состав обрабатываемой воды и величина нагрузки на ил (биопленку). Действие других факторов — температуры, перемешивания, концентрации растворенного кислорода — практически не изменяет качественного состава илов, но влияет на количественное соотношение различных групп микроорганизмов.

Важнейшим свойством активного ила является его способность к оседанию. Свойство оседания описывается величиной илового индекса, представляющего собой объем в миллилитрах, занимаемый 1 г ила в его естественном состоянии после 30-минутного отстаивания. Илы с индексом до 120 мл/г оседают хорошо, с индексом 120—150 мл/г — удовлетворительно, а при индексе свыше 150 мл/г — плохо. Плохая оседаемость ила влечет за собой повышенный вынос его с очищенной водой и, следовательно, ухудшение качества их очистки [1].

7.2.1. Аэротенки

Аэробная биологическая очистка больших количеств сточных вод обычно осуществляется в аэротенках — емкостных проточных сооружениях со свободно плавающим в объеме обрабатываемой воды активным илом, бионаселение которого использует загрязнения сточных вод для своей жизнедеятельности. Непременным условием эффективности биологических процессов метаболизма в аэротенке является обеспечение их растворенным в воде кислородом, что достигается аэрацией и перемешиванием смеси воды и активного ила пневматическими, механическими или смешанного типа устройствами.

Аэротенки можно классифицировать по следующим основным признакам:

– по структуре потока — аэротенки-вытеснители, аэротенки-смесители и аэротенки с рассредоточенным впуском сточной жидкости, аэротенки промежуточного типа;

- по способу регенерации активного ила — аэротенки с отдельно стоящими регенераторами ила, аэротенки, совмещенные с регенераторами;
- по нагрузке на активный ил — высоконагружаемые, обычные и низконагружаемые;
- по числу ступеней — одно-, двух- и многоступенчатые;
- по конструктивным признакам — прямоугольные, круглые, комбинированные, противоточные, шахтные, фильтротенки, флототенки и др.;
- по типу систем аэрации — с пневматической, механической, комбинированной гидродинамической или пневмомеханической.

Аэротенки могут быть успешно применены для полной или частичной очистки многих видов сточных вод в широком диапазоне концентраций загрязнений и расходов сточных вод.

В аэротенках-вытеснителях, имеющих один-четыре коридора, вода и ил подаются в начало сооружения, а смесь отводится в конце его. Теоретически режим потока в вытеснителях должен быть поршневым без продольного перемешивания. Однако в коридорных аэротенках существует значительное продольное перемешивание. В большей степени режиму вытеснителя соответствуют конструкции аэротенков ячеистого типа.

Аэротенк ячеистого типа представляет собой прямоугольное в плане сооружение, разделенное на ряд отсеков поперечными перегородками. Смесь из первого отсека переливается во второй (снизу), из второго — в третий (сверху) и т. д. В каждой ячейке устанавливается режим полного смешения, а сумма ряда последовательно расположенных смесителей составляет практически идеальный вытеснитель.

Сточная вода и ил в аэротенках-смесителях подводятся и отводятся равномерно вдоль длинных сторон сооружения. Принимается, что поступающая смесь очень быстро (в расчетах мгновенно) смешивается с содержимым всего сооружения.

В аэротенках промежуточного типа можно рассредоточенно подать либо воду, либо ил с отводом смеси сосредоточенно в конце аэротенка. На практике применяется первый тип — с рассредоточенной подачей воды.

В аэротенках с разными структурами потока существенно различны и условия развития популяции микроорганизмов. В аэротенках-вытеснителях нагрузка на ил и скорость потребления кислорода максимальны в начале сооружения и минимальны в конце. Если воздух подается равномерно по всей длине аэротенка, то в начале процесса может отмечаться глубокий дефицит кислорода. Условия развития популяции микроорганизмов в этой системе оптимальны только в какой-то средней части сооружения, где имеется соответствие между уровнем питания и наличием растворенного кислорода. Аэротенки-вытеснители плохо

справляются с залповыми перегрузками по загрязнениям, в них нельзя существенно повысить рабочую концентрацию ила.

Нагрузка на ил, скорости процесса изъятия загрязнений и потребление кислорода в аэротенках-смесителях (называемых также аэротенками полного смешения) постоянны во всем объеме сооружения. Ил находится в одной достаточно узкой стадии развития культуры, обусловленной величиной нагрузки на ил. Условия существования культуры близки к оптимальным. Однако качество очищенной воды при прочих равных условиях может оказаться несколько ниже, чем в аэротенках-вытеснителях, поскольку в силу особенностей гидродинамической структуры потока, обуславливающих вероятность попадания части только что поступившей сточной воды в отводную систему, снижается общий эффект очистки. Эта вероятность тем выше, чем ближе конструкция сооружения к идеальному смесителю.

При рассредоточенной подаче жидкости полная нагрузка по загрязнениям достигает максимума к концу сооружения, но степень очистки воды может быть очень высокой, так как по мере продвижения смеси по аэротенку ранее поданные загрязнения успевают срабатываться и к концу аэротенка уровень питания истинный (а не расчетный) может соответствовать состоянию ила с высокой окислительной способностью.

Аэротенк с рассредоточенной подачей воды имеет тот же недостаток, что и аэротенк-вытеснитель: отсутствие оптимальных условий по кислородному режиму в сооружении. Однако общая масса ила в аэротенке с рассредоточенной подачей воды выше, чем в вытеснителе, в связи с чем пропускная способность этого аэротенка также выше.

Системы аэрации в аэротенках. Различают пневматическую, механическую, комбинированную (смешанную) и струйную (эжекторную) систему аэрации.

Пневматическая система. Аэрация воды осуществляется путем подачи воздуха под поверхность воды. В зависимости от типа применяемого аэратора различают:

- мелкопузырчатую аэрацию с крупностью пузырьков воздуха 1—4 мм. В этом случае используются керамические, тканевые и пластиковые аэраторы;

- среднепузырчатую аэрацию, крупность пузырьков составляет 5—10 мм. Для этого применяют перфорированные трубы, щелевые аэраторы и др.;

- крупнопузырчатую аэрацию с крупностью пузырьков более 10 мм. Используются открытые снизу трубы и сопла.

В зависимости от давления, создаваемого на выходе, различают аэраторы низкого (до 10 кПа), нормального (10—50 кПа) и высокого (свыше 50 кПа) давления.

В России наиболее распространенным типом мелкопузырчатого аэратора является фильтросная пластина, изготавливаемая из пористого стекловидного материала. Эти пластины заделывают в железобетонные каналы в днище аэротенка вдоль длинной его стороны. Воздух в каналы подводится по воздуховодам и стоякам (рис. 82).

Недостатком фильтросных пластин является их засоряемость и зарастаемость биопленкой. Использование пористых труб позволяет избежать этих затруднений. Кроме того, трубы удобно извлекать из воды для ремонта целыми секциями. Тканевые аэраторы имеют несколько конструкций:

1) рамный, состоящий из рамы с натянутой на ней синтетической тканью;

2) тарельчатый, который состоит из тарелок, обтянутых сверху тканью;

3) решетчатый, состоящий из перфорированных трубок с натянутой на них капроновой тканью.

Дырчатые трубы, относящиеся к среднепузырчатым аэраторам, укладываются горизонтально у дна аэротенка. Трубы имеют отверстия диаметром 3—4 мм. Недостаток дырчатых труб — засоряемость ржавчиной.

В американской практике широко используется аэратор «Спаржер», представляющий собой крестовину из трубок с открытыми концами. При создании струи воздуха, обладающей большой скоростью, над аэратором создается область высокой турбулентности, в результате чего происходит вторичное дробление воздуха и образование очень мелких пузырьков.

Для крупнопузырчатой аэрации используют трубы диаметром 50 мм с открытыми концами, опущенные вертикально вниз на глубину 0,5 м от дна аэротенка.

В некоторых странах получил распространение низконапорный аэратор системы ИНКА (рис. 83).

Аэратор представляет собой решетку из легких трубок из нержавеющей стали с отверстиями 1—7 мм. Решетка устанавливается вдоль одной из продольных стен аэротенка на глубине 0,6—0,9 м от поверхности воды. Для создания поперечной циркуляции в аэротенке устанавливают продольную перегородку из стекловолокна.

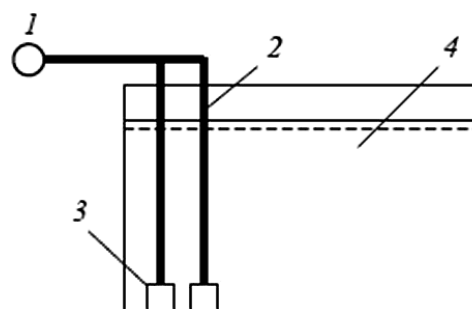


Рис. 82. Аэратор фильтросный:
1 — воздуховод; 2 — стояк;
3 — фильтросный канал;
4 — коридор аэротенка

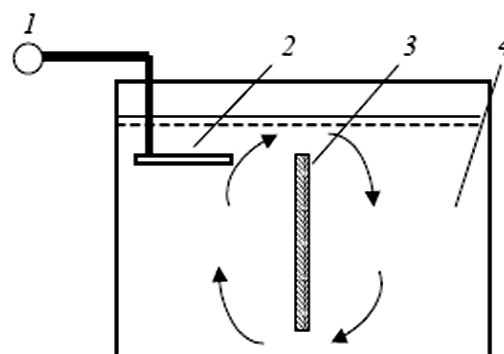


Рис. 83. Аэратор системы ИНКА:
1 — воздуховод; 2 — решетка;
3 — перегородка;
4 — коридор аэротенка [6]

В зоне выхода воздуха создается зона высокой турбулентности, благодаря которой воздух дробится. Так как глубина аэратора мала, воздух может быть подан центробежными вентиляторами, а не воздуходувками. Вентиляторы могут быть установлены непосредственно на аэротенках под навесами.

Механическая система. Принцип работы механических аэраторов заключается в вовлечении воздуха непосредственно из атмосферы вращающимися частями аэратора (ротором) и перемешивании его со всем содержимым аэротенка.

Все механические аэраторы классифицируют:

- по принципу действия: импеллерные (кавитационные) и поверхностные;
- по плоскости расположения оси вращения ротора: с горизонтальной и вертикальной осью;
- по конструкции ротора: конические, дисковые, цилиндрические, колесные, турбинные и винтовые.

Наиболее широкое распространение получили аэраторы поверхностного типа с незначительным погружением. К ним можно отнести аэраторы типа «Симплекс», дисковые, щетки Кессенера и их модификации.

Аэратор «Симплекс» представляет собой усеченный полый конус, с внутренней стороны которого прикреплено несколько лопастей специальной формы (рис. 84). Верхняя часть конуса выступает над водой на 5—20 см. Внизу под конусом устанавливается полая труба, через которую вода разбрызгивается наружу и аэрируется.

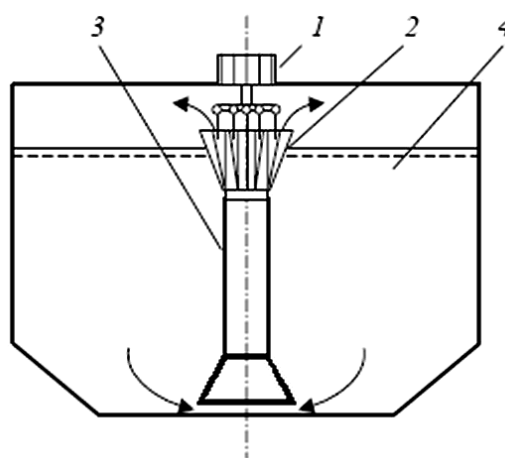


Рис. 84. Аэратор «Симплекс»:

- 1 — электродвигатель;
- 2 — конус с лопастями;
- 3 — полая труба;
- 4 — коридор аэротенка [6]

Дисковый аэратор представляет собой горизонтальный диск, с нижней стороны которого крепят радиально направленные лопасти (рис. 85). За лопастями в диске делаются прорезы.

Аэратор системы Кессенера представляет собой горизонтальный цилиндр, поверхность которого покрыта ворсом из нержавеющей стальной проволоки длиной около 15 см. Аэратор по-

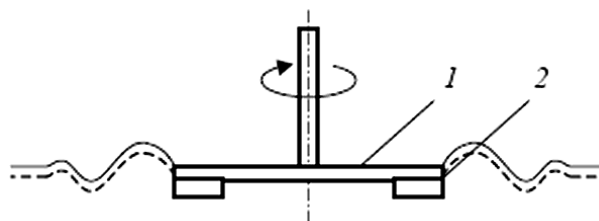


Рис. 85. Дисковый аэратор:

- 1 — диск; 2 — лопасти [6]

гружается в воду на глубину 10—12 см. В модификациях вместо ворса применяют стальные пластинки или уголки.

Комбинированная система. Сочетает в себе элементы пневматической и механической аэрации. Вращающийся ротор используется для эффективного дробления пузырьков сжатого воздуха, подводимого под него, а также для перемешивания иловой смеси. Аэраторы комбинированной системы применяются для очистки концентрированных сточных вод и в аэроакселераторах.

Наибольшее распространение из комбинированных аэраторов получили турбинные аэраторы фирм «Дорр-Оливер» и «Пермутит». В нашей стране серийно выпускаются пневмомеханические аэраторы типа ПМ (рис. 86).

Струйная система. Струйные или эжекторные аэраторы выполнены в различных конструкциях, однако имеют в своем составе сопло для пропуска жидкости, патрубков для вовлечения воздуха из атмосферы и диффузор (рис. 87). Принцип действия аэратора основан на эжектирующем действии водной струи в сужении, благодаря чему вода насыщается пузырьками воздуха [6].

Технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках. Функционирование аэротенков обеспечивается тем, что после отделения от очищенной воды в сооружениях во вторичных отстойниках (илоотделителях) в аэротенк возвращается лишь то количество ила, которое поддерживает его расчетную рабочую дозу в нем. Активный ил в проточных условиях постоянно циркулирует между аэротенками и сооружениями — вторичными отстойниками (илоотделителями).

Избыточный активный ил удаляется из системы «аэротенк — илоотделитель» на обработку и ликвидацию.

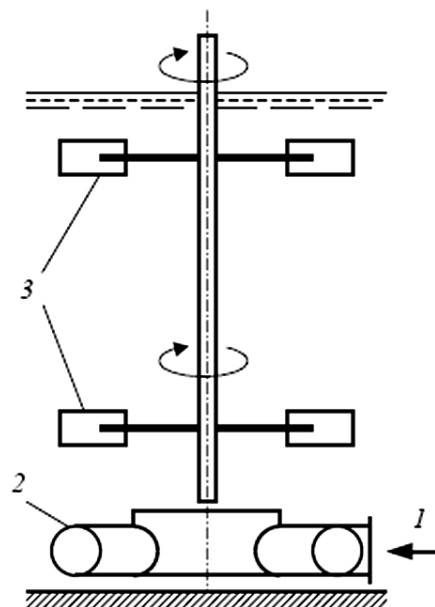


Рис. 86. Пневмомеханический аэратор типа ПМ:

- 1 — подача воздуха;
- 2 — кольцевой воздухораспределитель;
- 3 — турбины с лопатками [6]

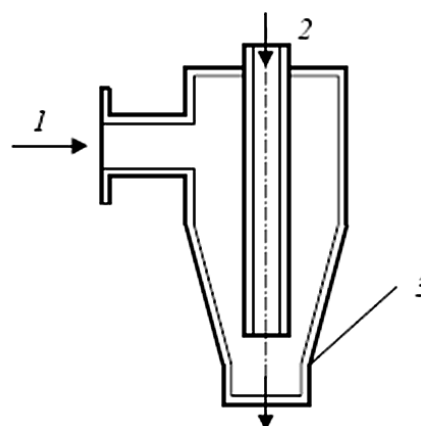


Рис. 87. Струйный аэратор:

- 1 — сточная вода;
- 2 — подача воздуха;
- 3 — сжатое сечение [6]

Классическая схема очистки сточных вод в аэротенках включает аэрационные и отстойные сооружения, оборудование и коммуникации для подачи и распределения сточных вод по аэротенкам, сбора и подачи иловой смеси на илоотделение, отведения очищенной воды, обеспечения возврата в аэротенки циркуляционного активного ила и удаления избыточного ила, подачи и распределения воздуха в аэротенках (рис. 88). Концентрация ила из отстойных сооружений в 2—4 раза выше дозы ила, поддерживаемой в аэротенке, поэтому циркуляционный расход его может составлять 30—60 % расхода поступающей на очистку сточной воды.

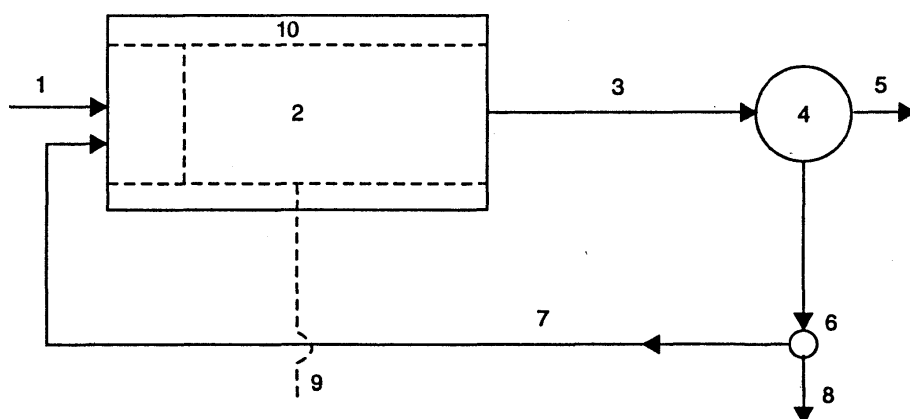


Рис. 88. Классическая схема биологической очистки сточных вод:

- 1 — сточная вода после первичных отстойников; 2 — аэротенк;
 3 — иловая смесь из аэротенков; 4 — вторичный отстойник; 5 — очищенная вода;
 6 — иловая камера; 7, 8 — циркуляционный и избыточный активный ил соответственно;
 9 — воздух из воздухоподогревателей; 10 — аэрационная система для подачи и распределения воздуха в аэротенке [3]

Аэротенки по технологической схеме работы разделяются:

1) По гидравлическому режиму движения иловой смеси вдоль сооружения — на аэротенки-вытеснители, где более ранняя порция иловой смеси вытесняется вновь поступившей, благодаря чему такие аэротенки получили название аэротенков-вытеснителей (рис. 89).

2) Аэротенки продольного секционирования с поперечными перегородками, не достигающими то до дна, то до уровня воды, не достигающими либо до дна (или чередующимися), либо до противоположной стены, которые являются модификацией классической схемы (рис. 90);

3) Аэротенки с регенераторами активного ила, которые применяются в технологической схеме, если концентрация БПК в поступающей сточной воде превышает 150 мг/л.

При увеличении концентрации органических загрязнений изъятие из сточной воды растворенных или взвешенных загрязнений активным илом происходит значительно быстрее, чем их окисление. Поэтому представляется целесообразной организация отдельного протекания

этих двух стадий процесса в условиях, в которых происходит предварительная обработка активного ила без подачи сточной воды. После этого регенерированный активный ил смешивается с поступающей на аэротенки сточной водой, что обеспечивает повышение эффективности работы аэротенков в целом.

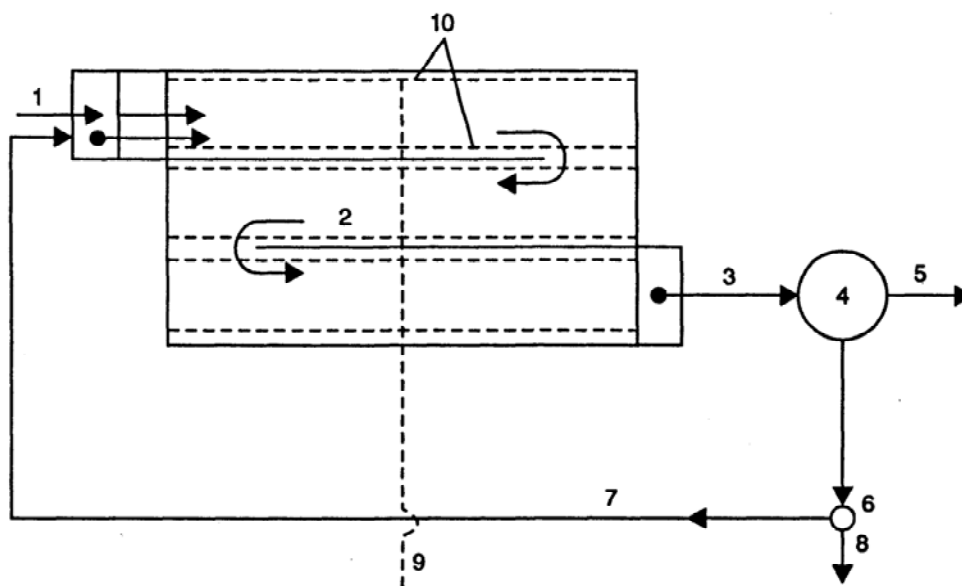


Рис. 89. Аэротенк-вытеснитель [3]

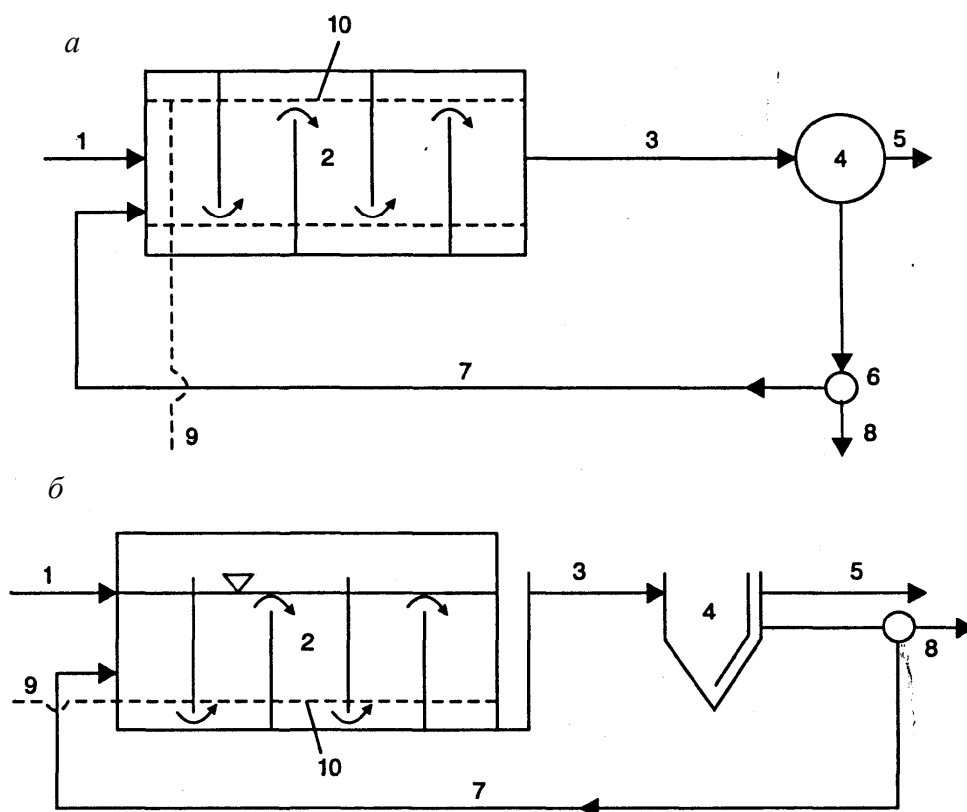


Рис. 90. Продольное секционирование аэротенков поперечными перегородками (см. позиции на рис. 88):
а — не достигающими до противоположной стены;
б — поочередно не достигающими до дна и до уровня воды в аэротенке [3]

В конструктивном отношении регенераторы ничем не отличаются от аэротенков и могут устраиваться в виде как отдельно стоящих сооружений, так и емкостей, выделяемых в объеме аэротенков (рис. 91 и 92).

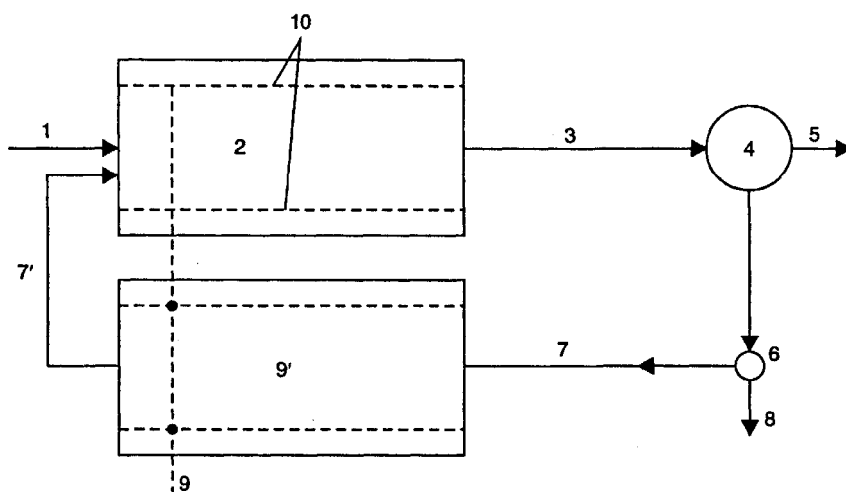


Рис. 91. Аэротенк с регенерацией активного ила (см. позиции на рис. 88):
7' — регенерированный активный ил; 9' — регенератор ила [3]

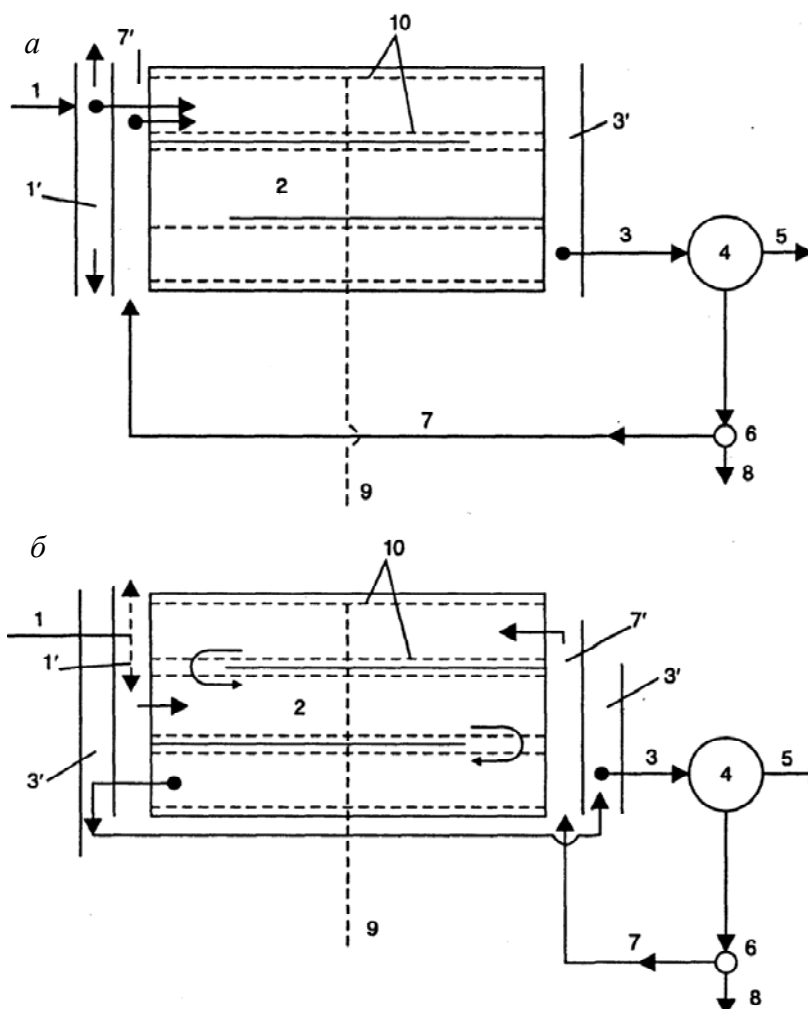


Рис. 92. Аэротенк-вытеснитель без регенерации (а) и с регенерацией (33 %) (б):
1' — канал сточной воды на биологическую очистку; 3' — канал иловой смеси;
7' — канал циркуляционного активного ила (см. позиции на рис. 88) [3]

В зависимости от характера загрязнений сточных вод и условий реализации процесса для изъятия загрязнений из очищенной воды достаточно примерно 1,5—2,5 ч аэрации. Концентрация растворенного в жидкости кислорода поддерживается в пределах 0,5—2,0 мг/л. Скорость же потребления кислорода здесь значительно более высокая, чем в регенераторе, поэтому интенсивность аэрации здесь должна быть также существенно выше, чем в регенераторах. Однако длительность пребывания ила в регенераторе значительно больше длительности аэрации в аэротенке. Суммарная же длительность изъятия и окисления загрязнений остается той же, что и при реализации процесса по классической схеме.

Концентрация ила в регенераторе в 2—2,5 раза выше, чем в аэротенке, так как активный ил в него направляется прямо из вторичных отстойников без подачи сюда сточной жидкости, что позволяет на 15—20 % уменьшить суммарный объем аэрационных сооружений.

Объем регенераторов, выраженный в % от суммарного объема собственно аэротенков и регенераторов, получил название «процент регенерации». Например, для трехкоридорного аэротенка необходимый объем регенераторов составляет 30 % от суммарного объема; обеспечить этот объем можно, выделив один коридор под регенератор (это составит 33 % регенерации).

Типовые аэротенки разработаны в виде 2-, 3- и 4-коридорных, соответственно, в них можно обеспечить 25, 33, 50, 66, 75 % регенерации, выделяя от 1 до 3 коридоров под регенерацию. В принципе можно обеспечить любой процент регенерации, выделяя под регенераторы соответствующий объем аэротенков.

4) Аэротенки-смесители — обеспечивают относительное постоянство условий, в которых находится активный ил. Главное преимущество этих сооружений заключается в возможности сглаживания залповых или шоковых нагрузок на активный ил в случае высоких концентраций загрязнений или наличия токсичных веществ в поступающей на очистку сточной воде. Это происходит за счет того, в аэротенках-смесителях порция сточной жидкости, поступающая в сооружение, быстро распределяется в большом объеме аэротенка, в результате этого все зоны аэротенка будут содержать одинаковую смесь загрязнений, подвергшихся различной степени воздействия активного ила (рис. 93, а, б).

5) Аэротенки с рассредоточенной подачей воды являются сооружениями, занимающими промежуточное положение между аэротенками-вытеснителями и аэротенками-смесителями (рис. 94).

В аэротенках, работающих по схеме рассредоточенной подачи воды, активный ил подается сосредоточенно в торец головной части аэротенка, а сточная вода вводится в нескольких точках аэротенка вдоль продольной стены. Выпуск иловой смеси осуществляется в конце аэро-

тенка, последняя точка ввода сточной воды должна находиться на некотором расстоянии от выхода из аэротенка.

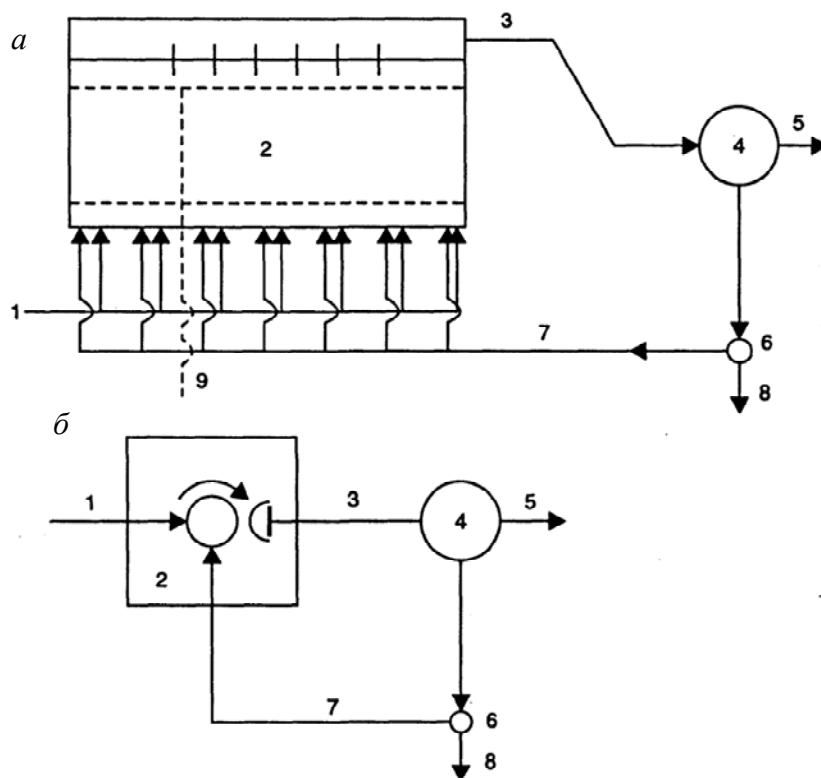


Рис. 93. Аэротенк-смеситель (см. позиции на рис. 88):

a — с рассредоточенным подводом воды и ила вдоль сооружения;
б — с центральным подводом воды и ила в аэрационную зону [3]

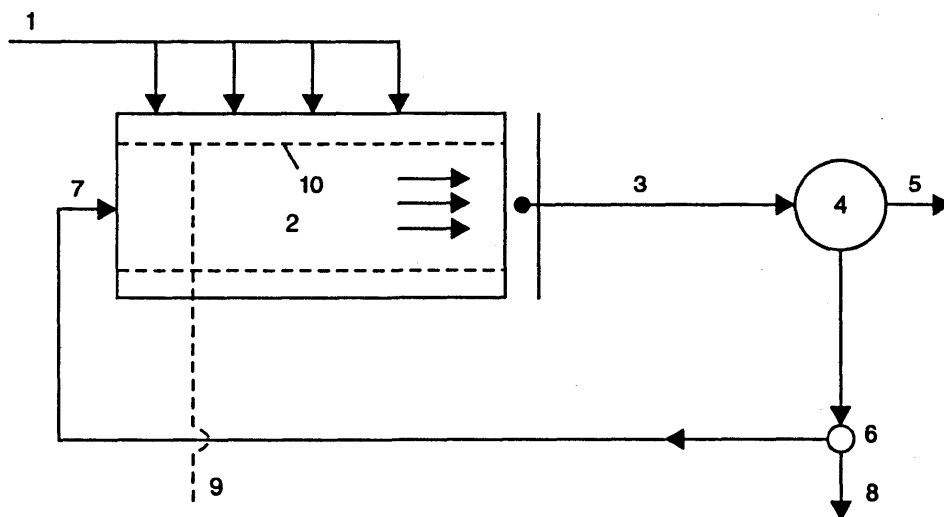


Рис. 94. Аэротенк с рассредоточенным впуском воды на очистку (см. позиции на рис. 88) [3]

Аэротенки могут быть проточного и контактного режима действия, с пневматической или механической (или смешанной) системой аэрации и др. В ряде случаев, особенно при наличии высоких концентраций загрязняющих веществ или веществ с резко разнящимися скоростями их биохимического окисления, прибегают к устройству двух, а иногда и

трех ступеней биологической очистки и очищаемая вода проходит последовательно через каждую из них (рис. 95).

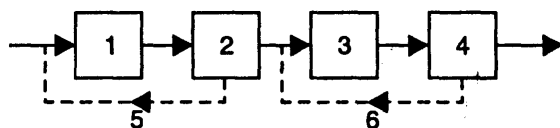


Рис. 95. Схема работы двухступенчатых аэротенков:

1 — аэротенк I ступени; 2 — вторичный отстойник I ступени; 3 — аэротенк II ступени; 4 — вторичный отстойник II ступени; 5 — трубопровод циркулирующего ила I ступени; 6 — трубопровод циркулирующего ила II ступени [3]

Использование процессов самоокисления активного ила на 50—70 % позволяет осуществлять обработку активного ила, которую называют аэробной минерализацией или аэробной стабилизацией ила. Время обработки активного ила при этом составляет 7—12 сут.

При определенной длительности пребывания активного ила в системе биологической очистки в нем развиваются нитрифицирующие микроорганизмы, переводящие аммонийный азот NH_3 сначала в нитриты NO_2 , а затем в нитраты NO_3 ; этот процесс получил название *нитрификации*. При прекращении подачи кислорода (воздуха) в иловую смесь нитраты под воздействием микроорганизмов активного ила будут преобразованы в газообразный азот, который улетучится в атмосферу. Такой прием получил название *денитрификации*, а соответствующие сооружения — *денитрификаторов* [3].

7.2.2. Биофильтры

Биофильтр — это сооружение, в котором сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой (био-пленкой), образованной колониями микроорганизмов.

Биофильтр состоит из следующих частей (рис. 96):

- фильтрующей загрузки, помещенной в резервуар круглой или прямоугольной формы в плане (тело биофильтра);
- водораспределительного устройства для равномерного орошения сточной водой поверхности загрузки;
- дренажного устройства для удаления профильтрованной жидкости;
- воздухораспределительного устройства для поступления воздуха внутрь биофильтра.

Проходя через загрузку биофильтра, загрязненная вода оставляет в ней нерастворенные примеси, не осевшие в первичных отстойниках, а также коллоидные и органические вещества, сорбируемые био-пленкой.

Часть органики микроорганизмы используют на увеличение своей биомассы, поэтому масса активной биопленки все время увеличивается. Отработанная и омертвевшая биопленка смывается сточной водой и выносится из тела биофильтра, после чего отделяется от очищенной воды во вторичных отстойниках. Необходимый кислород может поступать в толщу загрузки естественной и искусственной вентиляцией.

Классификация биофильтров. Биофильтры классифицируются по следующим признакам:

- по степени очистки: на полную и неполную биологическую очистку;
- по способу подачи воздуха: с искусственной аэрацией (аэрофильтры) и с естественной подачей воздуха;
- по режиму работы: с рециркуляцией сточной воды (т. е. с возвратом части очищенной жидкости в биофильтр) и без нее;
- по технологической схеме: одно- и двухступенчатые биофильтры;
- по пропускной способности: малой пропускной способности (капельные биофильтры) и большой (высоконагружаемые);
- по виду и особенностям загрузочного материала: биофильтры с объемной (гравий, шлак, керамзит, щебень и др.) и плоскостной (пластмассы, ткани, асбестоцемент, керамика, металл и др.) загрузкой.

Биофильтры с объемной загрузкой различаются по высоте загрузки: капельные имеют высоту 1÷2 м, высоконагружаемые — 2÷4 м и башенные высотой 8-16 м.

Биофильтры с плоскостной загрузкой подразделяются на следующие:

- с жесткой насыпной загрузкой (керамические, пластмассовые или металлические насыпные элементы);
- с жесткой блочной загрузкой (гофрированные или плоские листы или пространственные элементы);
- с мягкой или рулонной загрузкой, выполненной из металлических или пластмассовых сеток, синтетических тканей, которые крепят на каркасах или укладывают в рулонах:

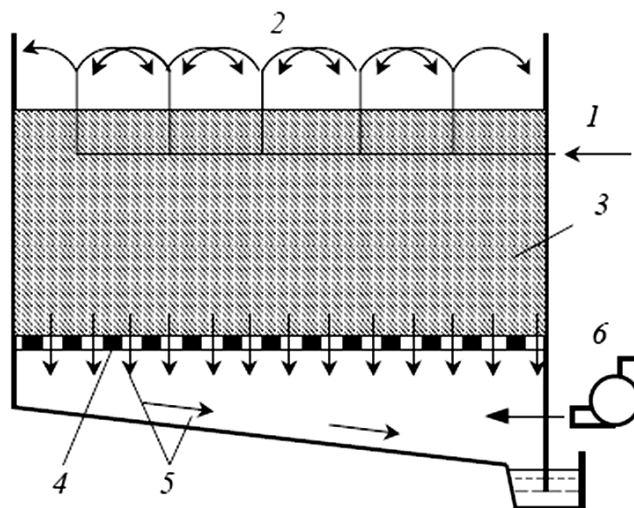


Рис. 96. Разрез биофильтра:

- 1 — подача сточной вод;
- 2 — водораспределительное устройство;
- 3 — фильтрующая загрузка;
- 4 — дренажное устройство;
- 5 — очищенная сточная вода;
- 6 — воздухораспределительное устройство [6]

– погружные биофильтры, состоящие из пакета дисков, насаженных на горизонтальную ось вращения.

Биофильтры с объемной загрузкой.

Капельные биофильтры. В капельном биофилт্রে сточная вода подается в виде капель или струй. Естественная вентиляция воздуха происходит через открытую поверхность биофилтра и дренаж. Эти биофильтры рекомендуется применять для полной биологической очистки сточных вод при их расходе не более $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Гидравлическая нагрузка на капельных биофилтрах составляет $1 \div 3 \text{ м}^3$ на 1 м^2 поверхности загрузки в сутки.

Сточная вода, осветленная в первичных отстойниках, поступает в распределительные устройства, из которых периодически напускается на поверхность биофилтра. Профильтрованная вода попадает в дренажную систему и далее по сплошному днищу биофилтра стекает к отводным лоткам. Затем вода поступает во вторичные отстойники, в которых выносимая пленка отделяется от очищенной воды.

Капельные биофильтры размещают в зданиях в виде отдельных секций, которые могут быть круглыми или прямоугольными в плане. Высота загрузки биофилтра — $1,5\text{—}2 \text{ м}$, материал загрузки — щебень, гравий и галька крупностью $25\text{—}40 \text{ мм}$. Рециркуляцию сточной воды на капельных биофилтрах применяют при значении $\text{БПК}_{\text{полн}}$ сточной воды свыше 220 мг/л . Очищенная сточная вода может иметь $\text{БПК}_{\text{полн}}$ до 15 мг/л .

Недостатками капельных биофилтров являются низкая производительность и частые заиления поверхности загрузочного материала, которые обычно возникают из-за превышения допустимой нагрузки по загрязнению.

Высоконагружаемые биофильтры (аэрофильтры). Конструктивными отличиями высоконагружаемых биофилтров являются большая высота слоя загрузки, большая крупность ее фракций и особая конструкция днища и дренажа, обеспечивающая возможность искусственной продувки материала загрузки воздухом. В закрытое междудонное пространство вентилятором подается воздух. На отводных трубопроводах предусматриваются гидравлические затворы глубиной 200 мм .

Высоконагружаемые биофильтры применяют для полной и неполной биологической очистки на станциях производительностью до $50000 \text{ м}^3/\text{сут}$ и размещают на открытом воздухе. Загрузка имеет рабочую высоту $2\text{—}4 \text{ м}$, крупность материала загрузки составляет от 40 до 70 мм . Допустимое значение $\text{БПК}_{\text{полн}}$ сточных вод без рециркуляции составляет 300 мг/л . Гидравлическая нагрузка составляет $10\text{—}30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ сут})$. Аэрофильтры требуют равномерного орошения всей поверхности с возможно малыми перерывами в подаче воды и поддержание повышенной нагрузки по воде.

Башенные биофильтры. Имеют высоту 8—6 м и применяются для очистных сооружений с производительностью до 50000 м³/сут при благоприятном рельефе местности и при БПК_{полн} очищенных сточных вод до 20—25 мг/л. Крупность зерен загрузки — 60—80 мм. Используются за рубежом, в отечественной практике распространения не получили.

Биофильтры с плоскостной загрузкой. Этот тип биофильтров позволил преодолеть многие недостатки, присущие биофильтрам: неиндустриальность строительства, малую пропускную способность, ненадежность работы при перегрузках, отсутствие загрузочного материала и др. Предпочтение биофильтрам с плоскостной загрузкой следует отдавать в районах с тяжелыми грунтовыми условиями, сейсмичных районах, при наличии дешевых местных материалов и дефиците электроэнергии. Такие биофильтры компактны, имеют малую энергоемкость, надежны в эксплуатации, не подвержены заилению. Кроме того, они имеют высокую индустриальность строительства, включая заводское изготовление всего комплекса сооружений небольшой мощности. В качестве загрузки используются блочные, засыпные и рулонные материалы из пластических масс, металла, асбестоцемента, керамики, стекла, дерева, тканей и др.

Биофильтры имеют круглую, прямоугольную и восьмигранную форму в плане. Высота загрузочного слоя 3—8 м, плотность загрузки 10—250 кг/м³, удельная площадь поверхности 60—250 м²/м³. Гидравлическая нагрузка на 1 м³ объема биофильтра в сутки составляет 6—18 м³.

Погружные биофильтры. Представляют собой комбинированные сооружения для биологической очистки сточных вод, имеющие признаки биофильтров и аэротенков. Основные составляющие части погружных биофильтров:

- резервуар для сточной воды;
- пространственная конструкция загрузки, обладающая развитой поверхностью и закрепленная на вращающемся горизонтальном валу над резервуаром;
- лотки для распределения и сбора воды;
- двигатель для вращения вала.

По виду пространственных конструкций погружные биофильтры подразделяются:

- на дисковые;
- шнековые;
- трубчатые;
- барабанные.

Преимущества погружных биофильтров перед биофильтрами и аэротенками:

- компактны;
- имеют малую энергоемкость;

- просты и надежны в эксплуатации;
- не требуют большого перепада высот при движении воды;
- не требуют рециркуляции сточных вод.

Погружные биофильтры применяются для полной и неполной биологической очистки бытовых и производственных сточных вод с расходами $1 \text{ м}^3/\text{сут}$ до $150 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$. Оптимальная область применения — комплексы сооружений пропускной способностью $500\text{—}4000 \text{ м}^3/\text{сут}$ по очистке сточных вод от отдельно стоящих зданий, малых населенных пунктов, кемпингов, домов отдыха, санаториев, вахтовых поселков и т. д.

В технологической схеме станции очистки погружные биофильтры занимают место между сооружениями предварительной механической очистки и вторичными отстойниками.

Дисковые погружные биофильтры. Состоят из дисков диаметром $1\div 5 \text{ м}$, собираемых в пакеты по $30\div 180$ штук и закрепляемых на горизонтальном валу (рис. 97).

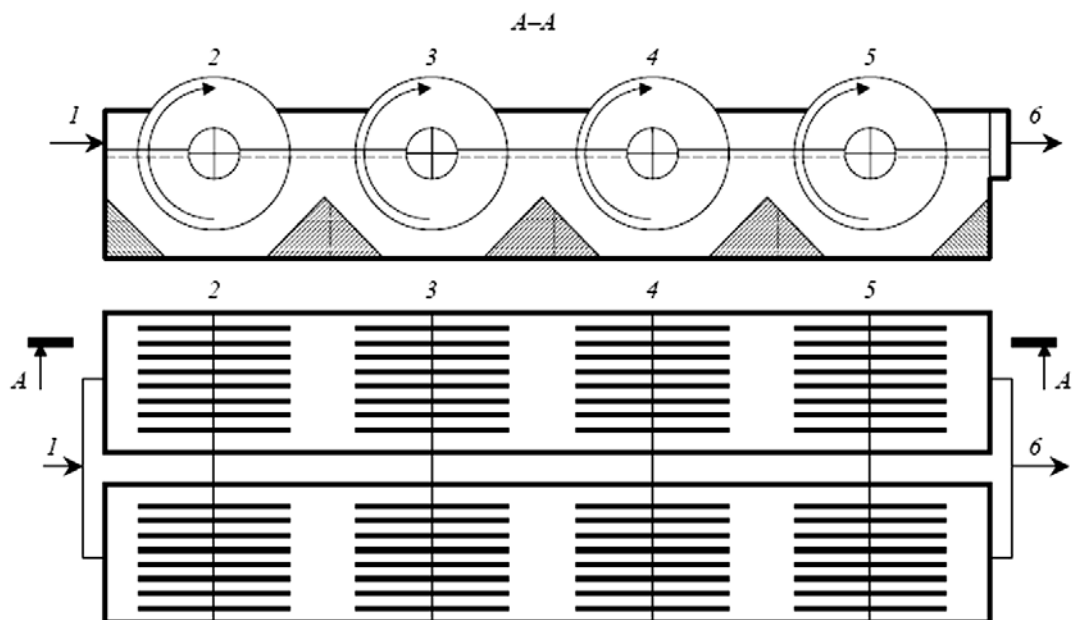


Рис. 97. Схема дискового погружного биофильтра:
1 — подача сточных вод; 2—5 — первая, вторая, третья и четвертая ступени биофильтра; 6 — выпуск очищенных сточных вод [6]

Диски выполняются из металла, пластмасс, асбестоцемента, тканей: их толщина $1\text{—}10 \text{ мм}$. Частота вращения вала составляет $1\div 50 \text{ об/мин}$. На поверхности дисков образуется биопленка, сходная по видовому составу с биопленкой биофильтров. На погруженной в стоки части диска происходит сорбция загрязнений из жидкости, затем при повороте диска эти загрязнения окисляются на воздухе. Часть биопленки отрывается от поверхности и находится в обрабатываемой жидкости во взвешенном состоянии аналогично хлопьям активного ила. Поэтому процессы окис-

ления осуществляются как биопленкой, так и активным илом. Нагрузка по БПК_{полн} на 1 м поверхности дисков — до 200 г/сут эффективность очистки — 50—98 %. Время пребывания сточных вод в резервуаре не превышает 3 ч. Производительность — до 1000 м³/сут.

Барабанные погружные биофильтры. Этот вид погружных биофильтров состоит из барабана, закрепленного на вращающемся горизонтальном валу и заполненного загрузочным материалом.

Жесткий корпус барабана обтягивается сеткой. В качестве загрузки используют металлические, пластмассовые и асбестоцементные гофрированные, перфорированные и гладкие листы, мягкие тканевые и пленочные материалы, блочные элементы из пластмасс.

Барабаны имеют длину 2÷3 м и диаметр 2÷2,5 м, частота вращения 0,5÷5 об/мин. Загрузка барабанов может состоять из листовых пластмассовых материалов, тканей или пленок. Процесс очистки сточных вод проводится аналогично процессам в дисковых погружных биофильтрах.

Распределение сточных вод по биофильтрам. Равномерное орошение водой поверхности биофильтра является важным условием его надежной работы. Существуют две основные группы распределительных устройств, осуществляющих орошение:

– неподвижные, дырчатые желоба, трубы и разбрызгиватели (спринклеры):

– подвижные: качающиеся желоба, движущиеся наливные колеса и вращающиеся реактивные оросители.

Наибольшее распространение в нашей стране и за рубежом получили спринклерные и подвижные оросители.

Спринклерное орошение. Спринклерная система состоит из дозирующего бака, разводящей сети и спринклеров (рис. 98).

Дозирующий бак автоматически подает воду в спринклерную сеть под постоянным напором. Продолжительность наполнения бака зависит от притока сточной воды, а продолжительность его опорожнения всегда одинакова. Наиболее часто применяется дозирующий бак с сифоном.

Спринклеры — специальные насадки для разбрызгивания воды (рис. 99). Спринклерные головки располагают таким образом, чтобы площадь, орошаемая одним разбрызгивателем, частично перекрывала площади соседних разбрызгивателей. Поэтому расстояние между разбрызгивателями равно $1,73R$, а между их рядами — $1,5R$ (R — радиус орошения).

Водораспределительная сеть укладывается с уклоном, чтобы ее можно было опорожнить. Спринклерные головки устанавливают на 0,15—0,2 м выше поверхности, диаметр отверстий головки 18—32 мм. Скорость протока в главной магистральной трубе принимается до 1 м/с,

в разводящих трубах — до 0,75 м/с. Начальный напор у разбрызгивателей принимается около 1,5 м, конечный — не менее 0,5 м.

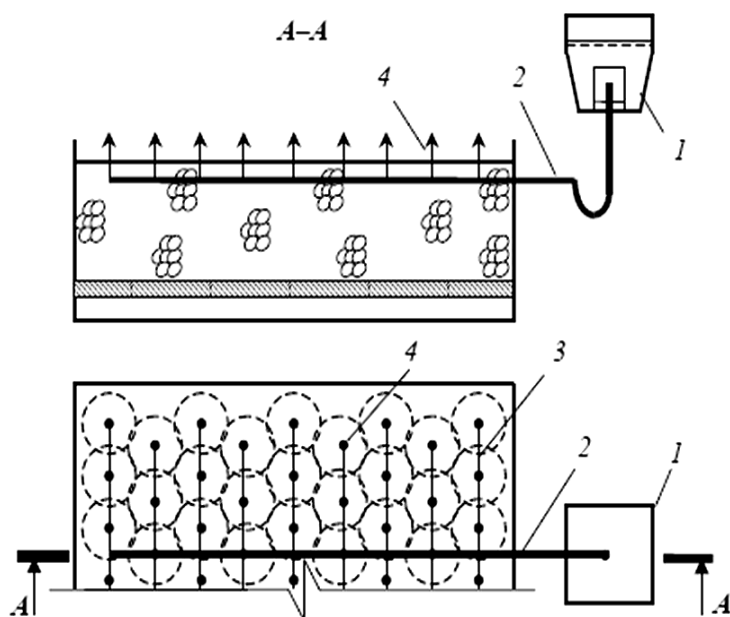


Рис. 98. Схема спринклерной водораспределительной сети:

1 — дозирующий бак; 2 — магистральная труба;
3 — разводящие трубы; 4 — спринклеры [6]

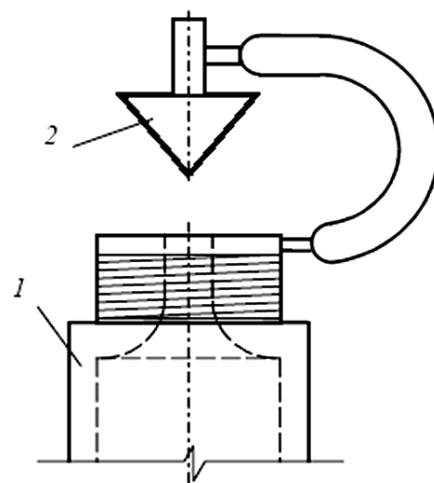


Рис. 99. Спринклерная головка:

1 — корпус;
2 — отражательный зонтик [6]

Реактивные вращающиеся оросители. Состоят из двух, четырех или шести дырчатых труб, консольно закрепленных на общем стояке, в который подается вода из распределительной камеры. Стояк может вращаться вокруг своей оси. Вода поступает из стояка в радиальные трубы и через отверстия выливается из них. Под действием реактивной силы истечения воды распределитель вращается (рис. 100).

Расчет реактивного оросителя состоит в определении его размеров, числа распределительных труб, количества отверстий, напора воды, частоты вращения стояка. Скорость истечения из отверстий принимается не менее 0,5 м/с, диаметр отверстий — не менее 10 мм напор воды очень небольшой — не менее 0,5—1 м.

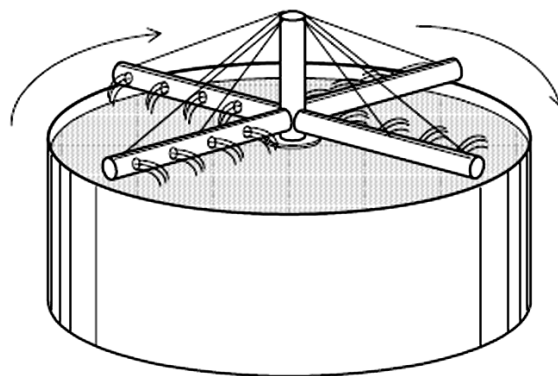


Рис. 100. Реактивный вращающийся ороситель [6]

Водоструйная система орошения. Применяется в основном для биофильтров с плоскостной загрузкой. Состоит из магистрального трубопровода, разводящей сети, насадок диаметром 15—32 мм, расположенных на днище разводящих

труб и водоотбойных розеток. Последние располагаются над поверхностью загрузочного материала. Сточная вода изливается через насадки на трубах и ударяясь о водоотбойные розетки внизу, разбивается на капли и орошает поверхность биофильтра [6, 8].

Контрольные вопросы

1. Какие свойства микроорганизмов используются в биохимической очистке?
2. Какие сооружения биологической очистки относятся к виду наиболее близкому к природным условиям?
3. Что является определяющим для технологического оформления процесса биологической очистки?
4. Что такое лаг-фаза?
5. Как определяется удельная скорость изъятия загрязнений?
6. Как происходит разделение очищенной воды и активного ила?
7. Что такое окислительная мощность и как она определяется?
8. Что входит в состав активного ила?
9. От чего и как зависит скорость биохимической очистки?
10. Что такое биохимический показатель и как его используют?
11. Какие виды аэротенков вам известны?
12. Дайте классификацию механическим аэраторам.
13. Аэротенки какого типа наиболее эффективны?
14. Какие виды биофильтров существуют?
15. Опишите устройств барабанного погружного биофильтра.

8. ОБРАБОТКА, ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

8.1. Состав и свойства осадков сточных вод

В процессах механической, биологической и физико-химической очистки сточных вод на очистных сооружениях образуются различного вида осадки, содержащие органические и минеральные компоненты.

В зависимости от условий формирования и особенностей отделения различают осадки:

- первичные;
- вторичные.

К *первичным осадкам* относятся грубодисперсные примеси, которые находятся в твердой фазе и выделены из воды такими методами механической очистки, как процеживание, седиментация, фильтрация, флотация, осаждение в центробежном поле. К *вторичным осадкам* относятся примеси, первоначально находящиеся в воде в виде коллоидов, молекул и ионов, но в процессах биологической или физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков образуют твердую фазу. Общая классификация осадков приведена в табл. 7.

Таблица 7. Классификация осадков сточных вод

Группы осадков	Типы осадков	Сооружения и оборудование, отделяющие осадки
<i>Первичные осадки</i>		
I	Осадки грубые (отбросы)	Решетки, сита
II	Осадки тяжелые	Песколовки
III	Осадки плавающие	Жировки, отстойники
IV	Осадки сырые, выделенные из сточной воды в результате механической очистки	Отстойники первичные, осветлители
<i>Вторичные осадки</i>		
V	Осадки сырые, выделенные из сточной воды после биологической или физико-химической очистки	Отстойники вторичные, флотаторы
VI	Осадки сброженные, прошедшие обработку в анаэробных перегнивателях, метантенках, и осадки стабилизированные в аэробных стабилизаторах	Септики, двухъярусные отстойники, осветлители, перегниватели, метантенки, аэробные стабилизаторы
VII	Осадки уплотненные, подвергнутые сгущению до предела текучести (до влажности 90—85 %)	Уплотнители: гравитационные, флотационные, сепараторы
VIII	Осадки обезвоженные, подвергнутые сгущению до влажности 80—40 %,	Иловые площадки, вакуум-фильтры, центрифуги, фильтр-прессы и др.

Составы осадков по размеру частиц отличаются большой неоднородностью. Их размеры колеблются от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Осадки первичные. Осадки грубые (отбросы) задерживаются решетками. В состав отбросов входят крупные взвешенные и плавающие вещества, преимущественно органического происхождения. Средний состав этих отбросов (%) включает бумагу — 65, тряпье — 25, древесину, пластики — 4, другие отбросы — 6.

Количество отбросов, задерживаемых решетками с прозорами 16—20 мм, на 1 чел./год составляет в среднем 8 л при влажности 80 % и объемной массе 750 кг/м³. Задержанные отбросы часто подвергаются дроблению с последующим выпуском их в канал перед решеткой. Переработка этих отбросов может осуществляться в метантенках, на пиролизных установках вместе с другими осадками или направляться на компостирование для получения удобрения вместе с мусором.

Осадки тяжелые задерживаются песколовками. В их состав обычно входят песок, обломки отдельных минералов, кирпич, уголь, битое стекло и т. п. При проектировании количество задерживаемых тяжелых примесей принимают 0,02 л на 1 чел./сут, или 7,2 л в год, при влажности 60 % и объемной массе 1,5 т/м³.

Осадки плавающие, задерживаемые жироловками или всплывающие в отстойниках. Количество этих примесей в бытовых стоках на 1 чел./год составляет 2 л при влажности 60 % и объемной массе 0,6 т/м³.

Осадки сырые задерживаются первичными отстойниками. В бытовых сточных водах эти осадки представляют собой студенистую, вязкую суспензию с кисловатым запахом. Органические вещества в них составляют 75—80 % и быстро загнивают, издавая неприятный запах. Влажность осадка при самотечном удалении после 2-часового отстаивания принимается 95 %, а при удалении из отстойника плунжерными насосами — 93—94 %. Механический состав осадков из первичных отстойников отличается большой неоднородностью. Величина отдельных частиц колеблется от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Осадки вторичные. Активный ил, задерживаемый вторичными отстойниками после аэротенков, представляет биоценоз микроорганизмов и простейших, обладает свойством флокуляции. Структура активного ила представляет хлопьевидную массу бурого цвета. В свежем виде активный ил почти не имеет запаха или пахнет землей, но, загнивая, издает специфический гнилостный запах.

По механическому составу активный ил относится к тонким суспензиям, состоящим на 98 % по массе из частиц размерами меньше 1 мм. Активный ил аэротенков отличается высокой влажностью 99,2—99,7 %.

Шламы, задерживаемые отстойниками или другими сооружениями после физико-химической очистки, выделяются в результате локальной очистки или доочистки промышленных сточных вод с применением реагентной обработки, фильтрования, электролиза, адсорбции, ионного обмена, обратного осмоса, экстракции и других методов.

Осадки, сброженные в анаэробных условиях. Структура осадка сброженного в метантенках, двухъярусных отстойниках и других сооружениях анаэробного сбраживания мелкая и однородная, цвет — почти черный или темно-серый. Осадки отличаются высокой текучестью, выделяют запах сургуча или асфальта. В метантенках распад осадков сопровождается выделением большого количества газа — метана, весьма ценного для использования.

Осадки из аэробных стабилизаторов. Степень распада органического вещества при аэробной стабилизации значительно меньше, чем при анаэробных процессах, но оставшаяся часть достаточно стабильна. После аэробной стабилизации осадки уплотняются в отстойниках за 5—15 ч до влажности 96—98 %. При стабилизации бактерии коли гибнут на 95 %, но яйца гельминтов не исчезают, поэтому осадки после аэробной стабилизации нуждаются в обеззараживании.

Бактериальная заселенность осадков. В осадках, как и в сточной воде, можно найти многие формы бактерий. Бактериальная заселенность осадков на порядок выше, чем сточных вод. Осадки бытовых стоков содержат большое количество яиц гельминтов. При термофильном сбраживании яйца глистов полностью погибают. То же наблюдается при термогравитационном или термофлотационном уплотнении осадков.

Химический состав. Знание химического состава осадков необходимо для определения наиболее рациональных путей их использования и обработки. В табл. 8 дан общий химический состав осадков городских сточных вод, а в табл. 9 — химический состав их минеральной части.

Таблица 8. Общий химический состав осадков, % к абсолютно сухому веществу

Тип осадков	Зола	α -целлюлоза	Гемичеселлюлоза	Белки, гуматы*	Жиры	Общий азот	Фосфор
Первичные сырые	15—35	5,5—5	5—7	15—21	18—26	3,2—3,8	1,4—2,5
Первичные сброженные в метантенках:							
- мезофильный процесс	28—40	2,8—9	5,8—9	35	7,6—9	3—4,3	2,4—4,8
- термофильный процесс	40—42	1,6	6,0	28	9	3,8	4,9
Активный ил из вторичных отстойников после аэротенков	25—30	0,8—2	2,6—2,2	30—35	7,11—14	7,3—6,8	5,4

* В сырых осадках в основном присутствуют белковые вещества, в сброженных — гуминовые соединения.

Таблица 9. Химический состав минеральной части осадков

Состав	Тип осадков		
	первичные сырые	активный ил	сброженная смесь
SiO ₂	8,4—55,9	7,6—33,8	27,3—35,7
Al ₂ O ₃	0,3—18,9	7,3—26,9	8,7—9,3
Fe ₂ O ₃	3,0—13,9	7,2—18,7	11,4—13,6
CaO	11,8—35,9	8,9—16,7	12,5—15,6
MgO	2,1—4,3	1,4—11,4	1,5—3,6
K ₂ O	0,7—3,4	0,8—3,9	1,8—2,8
Na ₂ O	0,8—4,2	1,9—8,3	2,6—4,7
SO ₃	1,8—7,5	1,5—6,8	3,0—7,2
ZnO	0,1—0,6	0,2—0,3	0,1—0,3
CuO	0,1—0,8	0,1—0,2	0,2—0,3
NiO	0,2—2,9	0,2—3,4	0,2—1,0
Cr ₂ O ₃	0,8—3,1	0—2,4	1,3—1,9

Обработка осадков, выделяемых в процессах очистки сточных вод, проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве. Эта цель достигается осуществлением трех основных процессов в различных технологических последовательностях:

- обезвоживанием — обеспечивающим минимальный объем осадков;
- стабилизацией — придающей осадкам способность не выделять вредные продукты разложения при длительном хранении;
- обеззараживанием — делающим осадок безопасным по санитарно-бактериологическим показателям.

Принципиальная схема процессов обработки осадков дана на рис. 101.

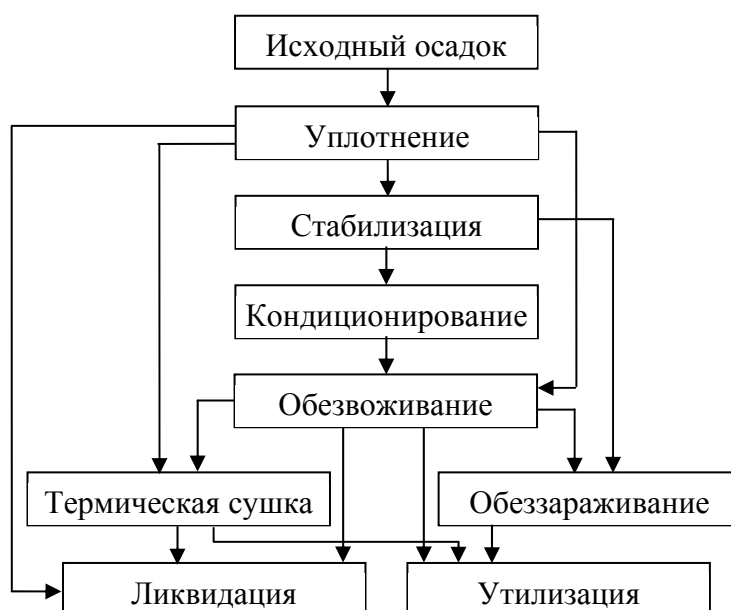


Рис. 101. Схема процессов обработки осадков сточных [4]

Показатели осадков сточных вод. *Осадки сточных вод* — это суспензии, в которых дисперсной фазой являются твердые частицы органического и минерального происхождения, а дисперсионной средой — вода с растворенными в ней веществами. Свойства суспензии во многом зависят от содержания в ней воды. Общее влагосодержание в осадках принято определять понятием «влажность». *Влажность* — содержание массы воды в 100 кг осадка, выраженное в процентах.

Формы связи влаги. Величина влажности не позволяет оценить в достаточной мере возможность, условия и степень удаления влаги из осадка. Это обусловлено сложностью его структуры и особенностями распределения в ней воды. Однако только направленным воздействием на структуру осадка можно обеспечить эффективность процессов его обезвоживания.

Наиболее полная классификация форм связи влаги с твердыми частицами предложена акад. П. А. Ребиндером. В основе классификации лежит энергия связи, которую необходимо затратить для выделения воды из состава структуры. Применительно к осадкам сточных вод и методам их обработки эта классификация может быть представлена в форме табл. 10.

Таблица 10. Области эффективного применения методов обезвоживания осадков

Метод выделения влаги из осадков	Форма связи влаги в осадках			
	свободная	физико-механически связанная	физико-химически связанная	химически связанная
Гравитационное уплотнение	+	+		
Естественная сушка	+	+		
Вакуум-фильтрование	+	+		
Фильтр-прессование	+	+	+	
Центрифугирование	+	+		
Термосушка		+	+	
Сжигание			+	+

В структуре осадка влага может находиться в форме свободной воды, в физико-механической связи с твердыми частицами, а также в физико-химической и химической формах связи. Свободная влага имеет наименьшую энергию связи со структурой осадка и легко может быть из него удалена. Физико-механически связанная влага это капиллярная вода, вода смачивания и структурная влага. Физико-химической связью удерживается адсорбционная и осмотическая влага, а химически связанная вода, входящая в состав веществ, не выделяется даже при термической сушке осадков.

Механическими методами обезвоживания осадков, а также естественной сушкой их на иловых площадках удаляется большая часть свободной воды. Физико-механическая связь нарушается вследствие выпаривания или удаления влаги под давлением в аппаратах, которые развивают давление, большее капиллярного, и разрушают структурные связи. Сила капиллярной связи зависит в основном от радиуса капилляров: для капилляров с радиусом 10^{-8} , 10^{-6} и 10^{-5} м эта сила равна соответственно 15; 0,15 и 0,015 МПа.

Вакуум, при котором обезвоживаются на вакуум-фильтрах осадки сточных вод, составляет в среднем 0,053—0,066 МПа (400—500 мм рт. ст.). При данном вакууме теоретическим пределом удаления влаги вакуум-фильтрацией будет удаление влаги макрокапилляров с радиусом более $5 \cdot 10^{-6}$ м. Однако практически всю эту воду вакуум-фильтрацией удалять нецелесообразно, так как скорость водоотдачи капиллярной влаги относительно мала.

Центрифугированием или фильтр-прессованием, при которых возможно нарушение более прочных видов связи, можно добиться удаления части связанной влаги. Это подтверждается опытами по обезвоживанию осадков городских сточных вод на фильтр-прессах и центрифугах, где отфильтрованный осадок имеет более низкую влажность по сравнению с его влажностью после вакуум-фильтрации.

Активный ил, в отличие от осадков других типов, изменяет свои свойства при уплотнении. Он обладает высокой структурообразующей способностью, вследствие чего уплотнение приводит к иммобилизации свободной воды, то есть с увеличением концентрации активного ила часть свободной воды переходит в коллоидно-связанную.

Способность осадков к обезвоживанию под действием механических сил характеризуется показателями водоотдачи:

- 1) удельным сопротивлением фильтрации;
- 2) сжимаемостью;
- 3) индексом центрифугирования.

Удельное сопротивление фильтрации осадка определяют как сопротивление, оказываемое движению фильтрата через слой кека, отложившийся на 1 м^2 поверхности фильтра и содержащий 1 кг сухого вещества. Величина удельного сопротивления фильтрации характеризует способность осадка к водоотдаче при обезвоживании методами фильтрования под действием вакуума или давления. Уменьшение величины этого показателя соответствует улучшению водоотдачи.

Сжимаемость осадка. С увеличением перепада давления поры в структуре осадка уменьшаются, вызывая возрастание сопротивления фильтрации. Для многих видов органических осадков существует «критическое давление», выше которого поры кека сужаются настолько, что

фильтрация становится невозможной. На рис. 102 приведены схемы структур различных типов осадков.

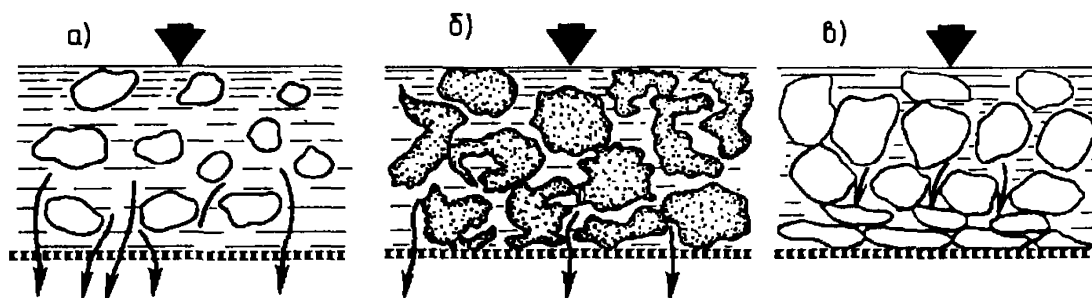


Рис. 102. Схемы структур различных типов осадков:

a — легко фильтрующийся осадок; *b* — осадок с высоким удельным сопротивлением; *v* — сжимаемый осадок

Увеличение эффективности обезвоживания осадка центрифугированием достигается при величине индекса центрифугирования J_c , $\text{м}^3/\text{кг}$ менее 6—8 [4].

8.2. Уплотнение илов и осадков сточных вод

Осаждающийся во вторичных отстойниках активный ил имеет высокую влажность. Основная часть этого ила поступает на регенерацию и снова подается в аэротенк. В результате развития микроорганизмов масса активного ила, находящегося в системе «аэротенк — вторичный отстойник», непрерывно увеличивается и образуется так называемый *избыточный активный ил*, который отделяется от рециркуляционного и направляется на дальнейшую обработку для стабилизации и обезвоживания.

Прирост активного ила зависит от содержания в очищаемой воде взвешенных и растворенных (преимущественно органических) веществ и от эффективности работы первичных отстойников. Чем лучше работают первичные отстойники, тем меньше образуется излишков активного ила. Массу избыточного активного ила на станциях аэрации определяют суммированием масс ила, удаляемого из системы выносом с очищенной водой и перекачиваемого на дальнейшую обработку. Прирост активного ила колеблется в течение года, уменьшаясь в летние месяцы.

Количество избыточной биологической пленки, выносимой из биофильтров, принимают 28 г/(чел. · сут) по сухому веществу. Поскольку влажность избыточной биопленки после вторичных отстойников в среднем составляет 96 %, дополнительное уплотнение ее на станциях биофильтрации не предусматривают. Осуществлять обработку больших количеств избыточного активного ила с высокой влажностью (99,2—99,6 %) нерентабельно, поэтому его предварительно уплотняют. Приме-

няемые для этого сооружения называются *илоуплотнителями*. Устройство илоуплотнителей на современных станциях аэрации обязательно. В зависимости от принятой схемы очистной станции уплотнению могут подвергаться осадки из первичных отстойников, избыточные активные илы, смесь осадка первичных отстойников и избыточного активного ила, флотационный шлам, осадки и илы после стабилизации.

8.3. Стабилизация осадков сточных вод и активного ила в анаэробных и аэробных условиях

Стабилизация первичных и вторичных осадков достигается путем разложения органической части до простых соединений или продуктов, имеющих длительный период ассимиляции окружающей средой. Эффект стабилизации осадка может быть получен разными методами — биологическими, химическими, физическими, а также их комбинацией. Целесообразность применения того или иного метода стабилизации определяется рядом условий, главными из которых являются вид осадков, их количество, возможность и условия дальнейшего использования, наличие территории для их размещения.

Наибольшее распространение получили методы биологической анаэробной и аэробной стабилизации.

Эффективность процесса анаэробного сбраживания оценивается по степени распада органического вещества, количеству и составу образующегося биогаза, которые, в свою очередь, определяются химическим составом осадка, а также такими основными технологическими параметрами процесса, как доза загрузки метантенка, температура, влажность загружаемого осадка. Кроме того, существенную роль играют такие факторы, как режим загрузки и выгрузки осадка, система его перемешивания и др.

В органическом веществе основную часть (до 80 %) составляют жиры, белки и углеводы. Именно за счет их распада образуется все количество выделяющегося биогаза, в том числе 60—65 % — за счет распада жиров, остальные 40—35 % приходятся примерно поровну на долю углеводов и белков. Отсюда следует, что при сбраживании осадков первичных отстойников, содержащих больше жиров, образуется больше газа, чем при сбраживании активного ила, в котором больше белков. Даже при очень длительной продолжительности пребывания осадка в метантенке указанные компоненты органического вещества распадаются не полностью. Имеется максимальный предел сбраживания и, следовательно, максимальный выход газа с единицы распавшегося вещества,

которые существенно различны у жиров, белков и углеводов. Различен и состав выделяющегося газа.

Пределы распада не зависят от температуры, но скорость распада каждого компонента с повышением температуры возрастает.

Диапазон температур, при котором возможно образование метана в анаэробных микробных процессах, довольно широк. В природе метан образуется при температурах от 0 до 97 °С. Различают три основные температурные зоны жизнедеятельности микроорганизмов:

- 1) психрофильная — до 20 °С;
- 2) мезофильная — от 20 до 45 °С;
- 3) термофильная — от 45 до 70 °С.

Наибольшее практическое применение в обогреваемых метантенках нашли два температурных режима: мезофильный 32—35 °С и термофильный 52—55 °С.

В необогреваемых сооружениях (септиках, двухъярусных отстойниках) анаэробное брожение происходит в психрофильной зоне при температурах, определяемых климатическими условиями.

Термофильный режим сбраживания имеет преимущества перед мезофильным, так как позволяет уменьшить объемы сооружений; кроме того, обеспечивает глубокое обеззараживание осадков не только от патогенной микрофлоры, но и от гельминтов. Однако недостатком термофильного сбраживания является низкая водоотдающая способность сброженного осадка. В свою очередь, мезофильный режим сбраживания не обеспечивает обеззараживания осадка, требует больших объемов метантенков, но позволяет получить сброженный осадок, лучше поддающийся последующему обезвоживанию.

На процесс брожения оказывают ингибирующее действие некоторые органические и неорганические вещества, которые могут содержаться в осадках в значительных концентрациях. К ним в первую очередь относятся тяжелые металлы, сульфиды, синтетические поверхностно-активные вещества, хлорированные углеводороды.

8.3.1. Сооружения для стабилизации осадка в анаэробных условиях

При небольшом количестве осадков применяют септики и двухъярусные отстойники, которые являются комбинированными сооружениями; в них происходят осветление сточной воды и сбраживание (перегнивание) выпавшего осадка. Биологический процесс разложения органической массы в этих сооружениях происходит экстенсивно под влиянием внешних условий. Интенсивный процесс минерализации требует создания

специальных условий, оптимально обеспечивающих все его фазы. Для его осуществления применяют метантенки и аэробные минерализаторы.

Метантенки представляют собой герметичные вертикальные резервуары с коническим или плоским днищем, выполненные из железобетона или стали.

В настоящее время разработаны типовые проекты метантенков полезным объемом 500—4000 м³ и диаметром 10—20 м. Для крупных очистных станций разработаны индивидуальные проекты метантенков с полезным объемом 6000—9000 м³.

Схема метантенка представлена на рис. 103.

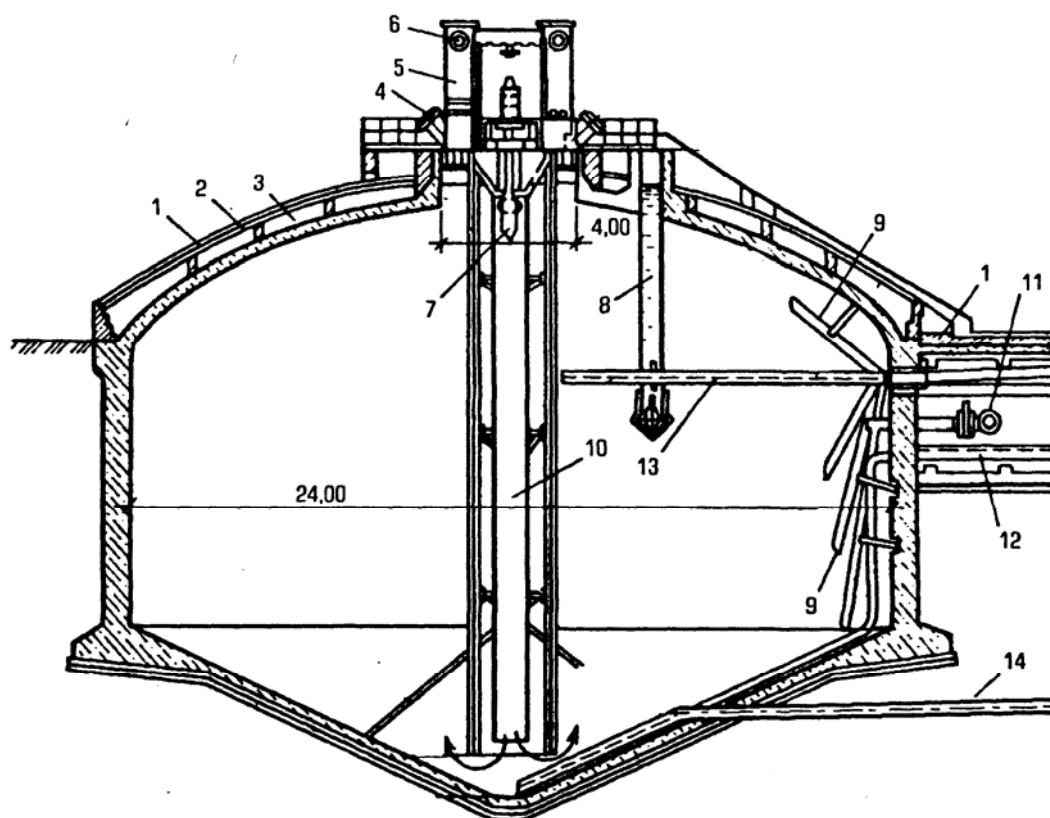


Рис. 103. Схема метантенка Ново-Курьяновской станции аэрации:

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

Уровень осадка поддерживается в узкой горловине метантенка, что позволяет повысить интенсивность газовыделения на единицу поверхности бродящей массы и предотвратить образование плотной корки.

При разработке конструкций метантенков значительное внимание уделяется теплоизоляции резервуаров и обеспечению газонепроницаемости купола.

За рубежом внимание разработчиков было направлено на поиск такой формы резервуара, которая обеспечила бы максимальный рабочий объем при минимальной поверхности, чтобы сократить материалоемкость и теплопотери при строительстве и эксплуатации метантенков. В результате появился ряд конструкций (рис. 104), построенных и эксплуатируемых на различных очистных сооружениях.

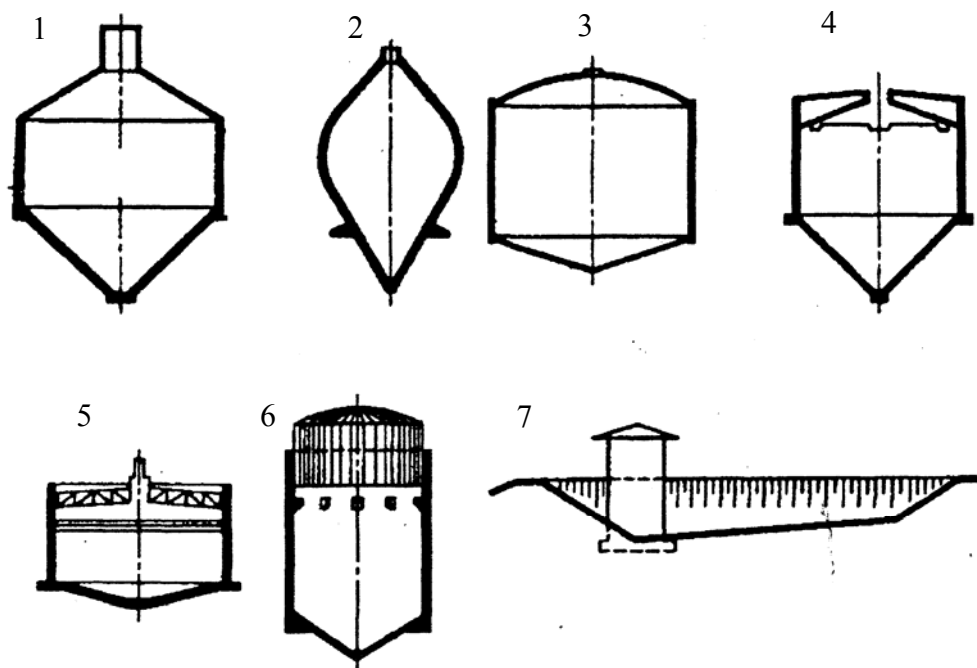


Рис. 104. Конструкции метантенков:

- 1—3 — с неподвижным незатопленным перекрытием;
 4 — с неподвижным затопленным перекрытием;
 5—6 — с подвижным (плавающим) перекрытием; 7 — открытый [3]

Корпуса метантенков выполнены из железобетона с предварительно напряженной арматурой. В качестве утеплителей могут быть использованы пенополиуретан, минеральная вата, стекловолокно. Для сокращения затрат на теплоизоляцию стенок метантенка применяют обваловку резервуара грунтом либо используют дополнительные ограждающие конструкции, создающие воздушную прослойку между несущей и утепляющей стенками метантенка.

Теплоизоляция купола метантенков выполняется из различных теплоизолирующих материалов.

Основными конструктивными элементами метантенков, выполняющими определенные технологические функции, являются:

- система подачи осадков на сбраживание и выгрузки стабилизированного осадка;
- система подогрева;
- система перемешивания бродящей массы;
- система сбора и отвода выделяющегося газа.

Система подачи и выгрузки осадков. В различных конструкциях метантенков подача осадка на сбраживание может осуществляться либо через общую для всех метантенков загрузочную камеру, либо насосом непосредственно в каждый метантенк. Осадок подают в верхнюю зону метантенка, а выгружают из самой нижней точки днища. Максимальное удаление друг от друга трубопроводов подачи и выгрузки предотвращает попадание несброженного осадка в выгружаемую массу. Кроме того, при постоянной выгрузке сброженной массы из нижней части удается замедлить процесс накопления песка, который вместе с осадком из первичных отстойников попадает в метантенк.

Система подогрева осадков. В отечественной практике подогрев осадка наиболее часто осуществляют острым паром. Пар низкого давления с температурой 110—112 °С подается во всасывающую трубу насоса при подаче и перемешивании осадка или непосредственно в метантенк через паровой инжектор. Инжекторы устанавливаются в каждом метантенке. Забирая в качестве рабочей жидкости осадок из метантенка и подавая смесь его с паром снова в метантенк, паровой инжектор обеспечивает и подогрев осадка, и частичное перемешивание бродящей массы.

Система перемешивания бродящей массы. Перемешивание бродящей массы обеспечивает ее однородность во всем объеме метантенка. С помощью циркуляционных насосов осуществляется циркуляция бродящей массы со дна в верхнюю часть метантенка. Наличие в конструкции метантенка конусного днища предотвращает образование мертвых зон. Перемешивание ведется до тех пор, пока не произойдет полный обмен бродящей массы.

В некоторых конструкциях отечественных метантенков для перемешивания используются пропеллерные мешалки, устанавливаемые под уровнем осадка, в трубе, расположенной в центральной части метантенка.

Использование принципа газолифта для перемешивания осадка предполагает забор осадка из-под купола метантенка или из газгольдера и введение его через вертикальные трубки в метантенк. Увеличение глубины подачи газа при одинаковом его расходе повышает эффективность перемешивания.

Система сбора и отвода газа. Для сбора газа на горловине метантенка устанавливают газовые колпаки, от которых прокладывается специальная газовая сеть из стальных труб с усиленной противокоррозионной изоляцией. В процессе сбраживания осадков выделение газа происходит неравномерно. Для поддержания постоянного давления в газовой сети на тупиковых концах ее устанавливают аккумулялирующие газгольдеры. Мокрый газгольдер состоит из резервуара, заполненного водой, и колокола, перемещающегося на роликах по вертикальным направляющим. Вес колокола уравнивается противодействием газа. Благодаря этому

при изменении объема газа под колоколом давление в газгольдере и газовой сети остается постоянным. Образующийся в метантенках газ используют как топливо. При невозможности сбора газа предусматривают его сжигание, используя специальное устройство — газовую свечу.

8.3.2. Аэробные стабилизаторы

Аэробная стабилизация осадков сточных вод — процесс окисления эндогенных и экзогенных органических субстратов в аэробных условиях. В отличие от анаэробного сбраживания, аэробная стабилизация протекает в одну стадию.

Аэробной стабилизации может подвергаться неуплотненный и уплотненный избыточный активный ил и его смесь с осадком первичных отстойников. При стабилизации только активного ила процесс можно рассматривать как завершающую ступень очистки сточных вод, когда при минимуме растворенных питательных веществ происходит самоокисление клеточного вещества микроорганизмов.

Степень распада органического вещества и продолжительность процесса зависят от соотношения количеств сырого осадка и активного ила, концентрации органических веществ, интенсивности аэрации, температуры и пр. Процесс аэробной стабилизации обычно происходит в психрофильно-мезофильной зоне жизнедеятельности микроорганизмов при температуре от 10 до 42 °С и затухает при температуре менее 8 °С. Степень распада органических веществ изменяется в среднем от 10 до 50 %, при этом жиры распадаются на 65—75 %, белки — на 20—30 %, а углеводы практически не распадаются. В процессе аэробной стабилизации при мезофильных температурах наблюдается на 70—90 % снижение содержания кишечной палочки и других патогенных бактерий и вирусов, однако яйца гельминтов при этом не погибают.

Продолжительность процесса от 2 до 5 сут для неуплотненного ила, 6—7 сут — для смеси неуплотненного ила и осадка из первичных отстойников, до 8—12 сут — для смеси уплотненного ила и осадка. Удельный расход воздуха составляет 1—2 м³/ч на 1 м³ объема стабилизатора при интенсивности аэрации не менее 6 м³/(м² · ч).

Аэробная стабилизация осадков проводится обычно в сооружениях типа аэротенков глубиной 3—5 м. Использование других емкостей, построенных на станциях аэрации, например переоборудованных отстойников, уплотнителей и неиспользуемых метантенков, может привести к ухудшению эффективности процесса и увеличению расхода электроэнергии.

Отстаивание и уплотнение аэробно стабилизированного осадка следует проводить в течение 1,5—5 ч в отдельно стоящих илоуплотнителях или в специально выделенной зоне внутри стабилизатора. Влаж-

ность уплотненного осадка 96,5—98,5 %. Отделенная иловая вода должна направляться в аэротенки.

Процесс аэробной стабилизации может осуществляться по нескольким схемам (рис. 105).

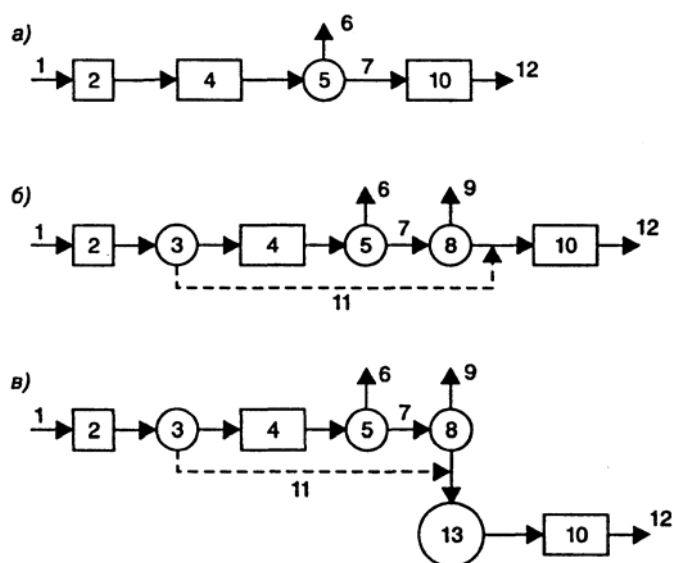


Рис. 105. Схемы аэробной стабилизации осадка:
 1 — подача сточной воды;
 2 — решетка и песколовка;
 3 — первичный отстойник;
 4 — аэротенк;
 5 — вторичный отстойник;
 6 — очищенные сточные воды;
 7 — избыточный активный ил;
 8 — уплотнитель; 9 — иловая вода;
 10 — стабилизатор; 11 — осадок из первичного отстойника;
 12 — стабилизированный осадок;
 13 — метантенк [3]

Простейшей является схема «а», применяемая на очистных сооружениях при отсутствии первичных отстойников. Возможна совместная стабилизация осадка из первичных отстойников с уплотненным активным илом (схема «б»).

Перспективной является схема «в» анаэробно-аэробной обработки смеси осадка и ила. Анаэробный реактор работает как обычный одноступенчатый метантенк, в котором при увеличении продолжительности сбраживания достигается глубокая стабилизация органического вещества с высоким выходом газа. Мезофильное сбраживание в течение 6 сут с последующей аэробной стабилизацией в течение 3—4 сут позволяет значительно улучшить водоотдающие свойства осадка. При сочетании термофильного сбраживания с аэробной минерализацией достигаются обеззараживание осадка и хорошие показатели влагоотдачи.

Аэробная стабилизация осадков обеспечивает получение биологически стабильных продуктов, хорошие показатели влагоотдачи, простоту эксплуатации и низкие строительные стоимости сооружений. Однако значительные энергетические затраты на аэрацию ограничивают целесообразность использования этого процесса на очистных сооружениях производительностью более 50—100 тыс. м³/сут. Аэробно стабилизированные осадки могут содержать возбудителей инфекционных заболеваний и требуют обеззараживания.

8.4. Обезвоживание осадков сточных вод

8.4.1. Обезвоживание осадков на иловых площадках

Иловые площадки являются старейшими сооружениями обработки осадка сточных вод. Они предназначены для естественного обезвоживания осадков, образующихся на станциях биологической очистки сточной воды. В настоящее время, в эпоху интенсивного внедрения сооружений механического обезвоживания осадка, иловые площадки сохраняют свое значение. Привлекательность этих сооружений объясняется простотой конструкций и легкостью эксплуатации.

По степени использования природных процессов площадки можно разделить на две основные категории:

- 1) иловые площадки естественного обезвоживания и сушки;
- 2) площадки интенсивного обезвоживания и сушки.

К первой категории относятся площадки, в которых используются природные процессы испарения и декантации без существенного изменения по сравнению с теми же процессами, происходящими в естественной среде. Как правило, это площадки на естественном основании с поверхностным отводом воды и площадки-уплотнители.

Ко второй категории относятся площадки, в которых определенные факторы природного цикла видоизменены и интенсифицированы. Это площадки с искусственным основанием и дренажем, подогревом, созданием вакуума в дренажной системе, искусственным водонепроницаемым покрытием.

Применение того или иного вида площадок зависит от местных условий: специфики климата, наличия дополнительных источников энергии, свободных площадей.

Площадки естественного обезвоживания и сушки. На площадках естественного природного цикла осадок обезвоживается в процессе уплотнения и последующего отвода иловой воды, а также подсыхания.

Иловые площадки состоят из карт, окруженных со всех сторон валиками (рис. 106). Размеры карт и число выпусков определяют исходя из влажности осадка, дальности его разлива и способа уборки после подсыхания. Иловые площадки на естественном основании проектируются на хорошо фильтрующих грунтах при залегании грунтовых вод на глубине не менее 1,5 м от поверхности карт и только тогда, когда допускается фильтрация иловой воды в грунт. Если глубина залегания грунтовых вод меньше 1,5 м, то необходимо понижение их уровня.

Дальность разлива осадка с влажностью около 97 % может составлять 75—100 м. Узкие площадки предпочтительнее при планировке на территории, имеющей хорошо выраженный уклон.

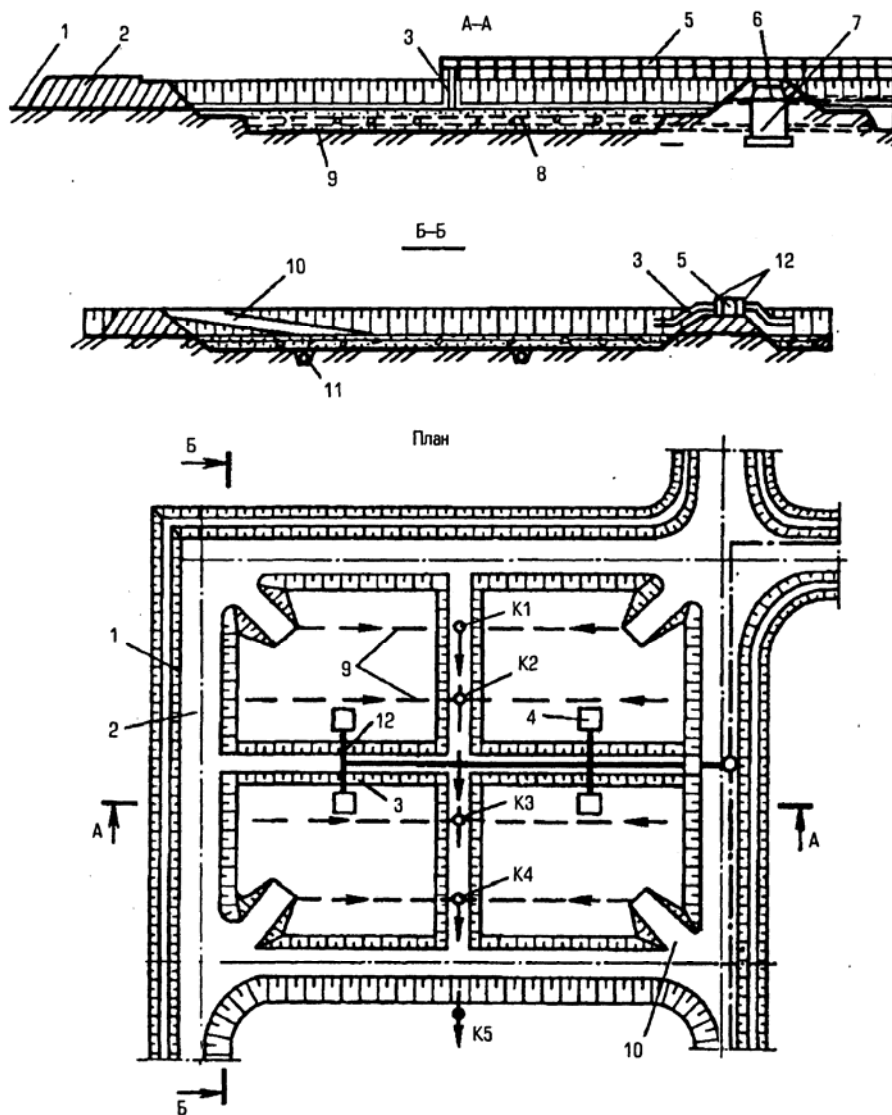


Рис. 106. Иловые площадки на естественном основании с дренажем:
 1 — кювет оградительной канавы; 2 — дорога; 3 — сливной лоток;
 4 — щит под сливным лотком; 5 — разводящий лоток; 6 — дренажный колодец;
 7 — сборная дренажная труба; 8 — дренажный слой; 9 — дренажные трубы;
 10 — съезд на карту; 11 — дренажная канава; 12 — шиберы; К1—К5 — колодцы [3]

Подсушенный осадок сгребается бульдозерами или скреперами, на-гружается в автомашины и отвозится. Влажность подсушенного осадка 75 %. Для съезда на карты автотранспорта и средств механизации на иловых площадках устраиваются дороги с пандусами.

При плотных и водонепроницаемых грунтах устраиваются иловые площадки на естественном основании с трубчатым дренажем, укладываемом в дренажные канавы. Искусственное дренирующее основание иловых площадок должно составлять не менее 10 % их площади.

Иловые площадки каскадного типа на естественном основании с по-верхностным отводом воды через колодцы-монахи, установленные в тор-цах карт, являются иловыми площадками переходного типа (рис. 107). Стенки колодцев-монахов со стороны карт представляют собой дренаж-ные стеной из двойной арматурной сетки с гравийной загрузкой крупно-

стью 15—20 мм. После заполнения карт иловой площадки осадком и слива отделившейся иловой воды дальнейшее обезвоживание осадка осуществляется путем испарения с поверхности оставшейся влаги.

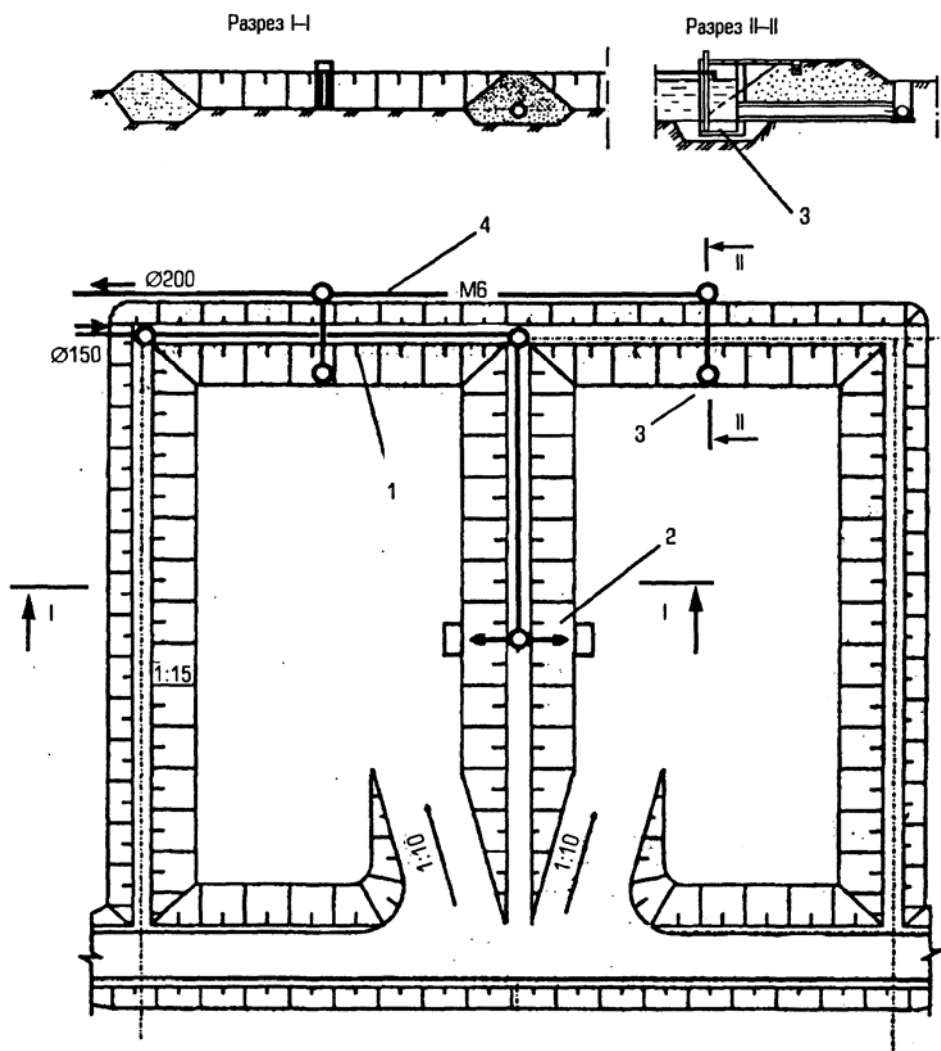


Рис. 107. Иловые площадки на естественном основании без дренажа с поверхностным отводом иловой воды:

- 1 — распределительный трубопровод; 2 — сливной лоток;
3 — колодец-монах; 4 — трубопровод иловой воды [3]

Усовершенствованным вариантом площадок каскадного типа являются площадки-уплотнители. Иловые площадки-уплотнители представляют собой прямоугольные железобетонные резервуары (карты) с отверстиями, расположенными в продольной стенке на разных глубинах и перекрытыми шиберами. Для выпуска иловой воды, выделяющейся при отстаивании осадка, по высоте продольных стен карт-резервуаров устраивают отверстия, перекрываемые шиберами. Иловую воду направляют для очистки в голову сооружений по аналогии с иловыми площадками с отстаиванием и поверхностным удалением воды. Недостатком площадок естественного природного цикла является их полная зависимость от климатических факторов.

Иловые площадки интенсивного обезвоживания и сушки можно подразделить на традиционные и усовершенствованные. К первой категории относятся иловые площадки с искусственным дренажем, ко второй — площадки с созданием вакуума в дренажной системе, искусственным водонепроницаемым покрытием, с продувкой воздухом и нагревом.

Иловые площадки с искусственным дренажем проектируются с целью получения чистого фильтрата и повышения скорости обезвоживания. Фильтрация через горизонтальную дренажную систему может осуществляться фильтрующими панелями со специальными отверстиями или дренажными трубами.

Для интенсификации процесса сушки осадка предлагается продувка его воздухом непосредственно на площадке.

За рубежом иловые площадки часто защищают от атмосферных осадков прозрачным покрытием. Такое покрытие может существенно улучшить работу площадок, особенно в условиях холодного и влажного климата. Опыт показал, что в некоторых случаях устройство покрытия позволяет на 33 % снизить площадь, необходимую для сушки осадков.

В нашей стране закрытые площадки, остекленные по типу оранжерей, рекомендуется применять в курортных районах для экономии площадей и снижения интенсивности запахов.

Асфальтированные иловые площадки с центральным дренажем и подогревом применяются в США. Тепловая энергия, получаемая при сжигании биогаза очистных сооружений, используется для нагрева воды, которая циркулирует в трубах, расположенных в заасфальтированной части площадок. Иловые площадки подогреваются, но не закрыты. Для кондиционирования осадков применяются полиэлектролиты. Время подсушки осадка в среднем составляет 5 сут и увеличивается до 12 сут в период дождей.

Механическое обезвоживание осадков. Для очистных станций средней и большой пропускной способности обезвоживание осадков на иловых площадках часто оказывается невозможным из-за отсутствия свободных земельных площадей для их устройства. В городах с развитой инфраструктурой использование процессов естественной сушки осадков нерационально как с экономической, так и с экологической точки зрения. В настоящее время механическое обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах и центрифугах является оптимальным методом их переработки.

Подготовка осадка для механического обезвоживания. Осадки, образующиеся на очистных сооружениях населенных мест, характеризуются неудовлетворительными показателями водоотдачи, что затрудняет применение процессов их механического обезвоживания. Для увеличения водоотдачи необходимо изменить структуру осадка. Изменение

структуры осадков позволяет добиваться более глубокого и быстрого их обезвоживания. Процессы подготовки осадков к обезвоживанию называют *кондиционированием*.

Методы кондиционирования подразделяются на реагентные и безреагентные.

Реагентные методы предполагают использование для обработки осадков неорганических реагентов (хлорное железо, сернокислое железо, известь) или органических высокомолекулярных соединений — *полиэлектролитов* (ПЭ). Те и другие приводят к увеличению влагоотдачи осадков.

В результате такой обработки удельное сопротивление осадка значительно снижается и осадок легче отдает воду. Кондиционирование осадков минеральными реагентами имеет ряд существенных недостатков, к которым относятся: большой массовый расход; высокая коррозионная активность; трудности с транспортировкой и хранением; внесение большого количества (до 40 %) дополнительных веществ. Однако эти проблемы разрешимы при использовании органических высокомолекулярных реагентов полиэлектролитов.

Безреагентное кондиционирование осуществляется в основном методами тепловой обработки осадков.

Сущность метода *тепловой обработки осадков* состоит в их прогревании в реакторе при температуре 140—200 °С в течение определенного времени. Схема установки тепловой обработки осадка дана на рис. 108. Исходный осадок после нагревания в теплообменнике обработанным осадком подается в реактор. В реакторе осадок выдерживается 60—75 мин при давлении 1,2—2 МПа. Для догрева осадка в реакторе используется острый пар.

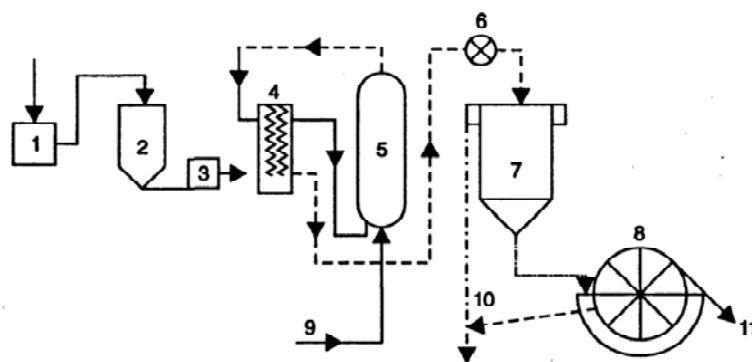


Рис. 108. Схема тепловой обработки

и механического обезвоживания осадков городских сточных вод:

- 1 — дробилка; 2 — резервуар дробленого осадка; 3 — насос; 4 — теплообменник;
5 — реактор; 6 — дросселирующее устройство; 7 — уплотнитель; 8 — вакуум-фильтр;
9 — подача пара; 10 — отвод иловой воды и фильтрата; 11 — отвод кека [3]

В процессе тепловой обработки происходят распад органических веществ, в основном белков, их растворение и переход твердой фазы

осадков в жидкую. При этом изменяется структура осадков, их зольность и частично химический состав, достигаются улучшение водоотдачи и обезвреживание осадков. Тепловой обработке могут подвергаться как сброженные, так и сырые осадки.

Одним из достоинств метода тепловой обработки является полная стерильность обработанного осадка. При механическом обезвоживании такого осадка образуется кек влажностью 55—70 %, что позволяет исключить термическую сушку осадка.

К недостаткам метода относятся сложность конструкции реактора, большие энергетические затраты и высокая концентрация органических веществ в иловой воде и фильтрате, которые необходимо направлять на биологическую очистку. При тепловой обработке выделяются дурно пахнущие газы, требующие предварительной очистки перед выбросом их в атмосферу.

Процессы и оборудование для механического обезвоживания осадков. Процессы и аппараты, применяемые для обезвоживания осадков сточных вод, можно классифицировать по виду механического воздействия на их структуру:

- обезвоживание осадков под действием разряжения;
- обезвоживание осадков под действием давления;
- обезвоживание осадков в поле центробежных сил;
- обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах.

На вакуум-фильтрах можно обрабатывать практически любые виды осадков.

Барабанный вакуум-фильтр — вращающийся горизонтально расположенный барабан, частично погруженный в корыто с осадком (рис. 109). Барабан имеет две боковые стенки: внутреннюю — сплошную и наружную — перфорированную, обтянутую фильтровальной тканью. Пространство между стенками разделено на 16—32 секции, не сообщающиеся между собой. Каждая секция имеет отводящий коллектор, входящий в торце в цапфу, к которой прижата неподвижная распределительная головка. В зоне фильтрования осадок фильтруется под действием вакуума. Затем осадок просушивается атмосферным воздухом. Фильтрат и воздух отводятся в общую вакуумную линию. В зоне съема осадка в секции подается сжатый воздух, способствующий отделению обезвоженного осадка от фильтровальной ткани. Осадок снимается с барабана ножом. В зоне регенерации ткань продувается сжатым воздухом или паром. Для улучшения фильтрующей способности ткани через 8—24 ч работы фильтр регенерируют — промывают ингибированной кислотой или растворами ПАВ. Выпускаются барабанные вакуум-фильтры с фильтрующей поверхностью от 2,5 до 40 м².

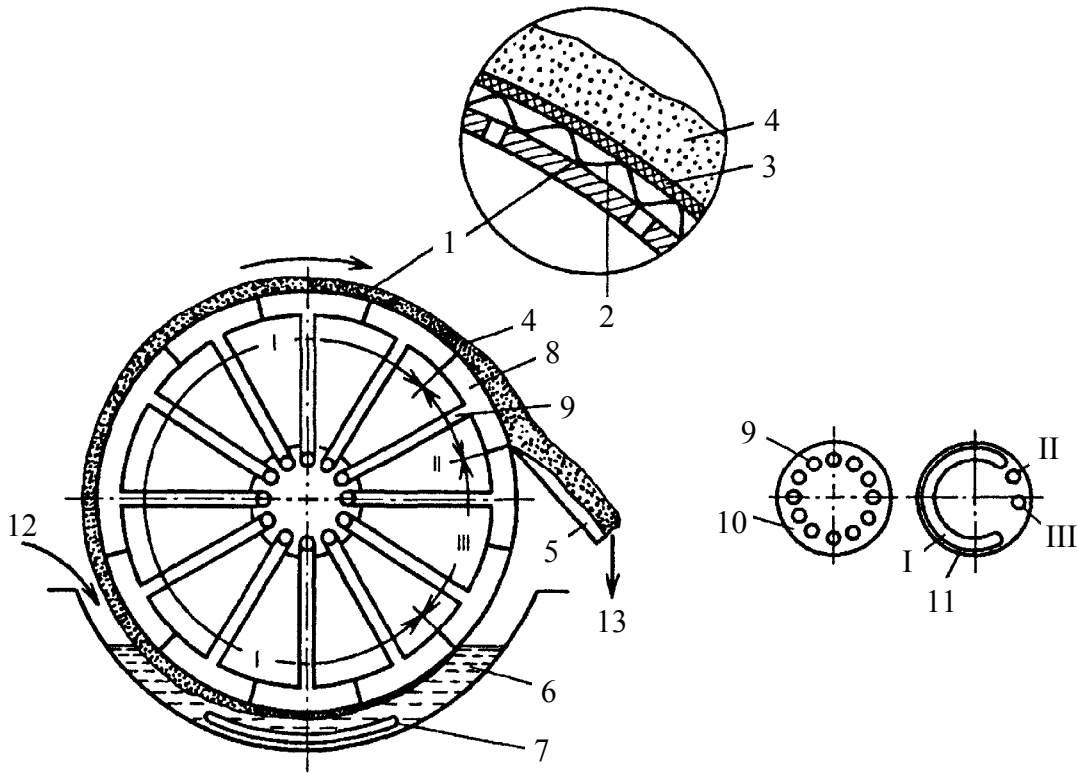


Рис. 109. Барабанный вакуум-фильтр:

- 1 — перфорированный барабан; 2 — латунная сетка; 3 — фильтровальная ткань; 4 — слой осадка; 5 — нож для съема кека; 6 — резервуар для осадка; 7 — качающаяся мешалка; 8 — камеры барабана; 9 — соединительные трубки; 10 — вращающаяся часть распределительной головки; 11 — неподвижная часть распределительной головки; 12 — подача осадка на обезвоживание; 13 — отведение кека; I — зона фильтрования и отсоса фильтрата; II — зона съема кека; III — зона регенерации фильтровальной ткани [3]

Обезвоживание осадков сточных вод на фильтр-прессах. Фильтр-прессы имеют широкое распространение для обезвоживания осадков сточных вод. Их применяют для обработки сжимаемых аморфных осадков. По сравнению с вакуум-фильтрами на фильтр-прессах получают осадки с меньшей влажностью. Фильтр-прессы применяют в тех случаях, когда осадок направляют после обезвоживания на сушку или сжигание или когда необходимо получить осадки для дальнейшей утилизации с минимальной влажностью.

В технологический блок фильтр-пресса (рис. 110) входит комплекс вспомогательного оборудования. Работа этого комплекса контролируется и управляется центральным компьютером. Кондиционированный осадок подается на фильтр-пресс насосами при возрастающем давлении. Давление фильтрования поднимается до 1,5 МПа. Период подачи осадка и образования слоя кека обычно составляет 20—30 мин. Длительность выгрузки — около 15 мин. Общая продолжительность фильтроцикла в среднем составляет 90 мин. При влажности исходного осадка 94—97 % снимается кек влажностью 68—70 %. Результаты эксплуатации фильтр-

прессов на очистных сооружениях показали их надежность, высокую производительность и удобство обслуживания. В отличие от вакуум-фильтров процесс фильтр-прессования осадков в камерных фильтр-прессах периодический.

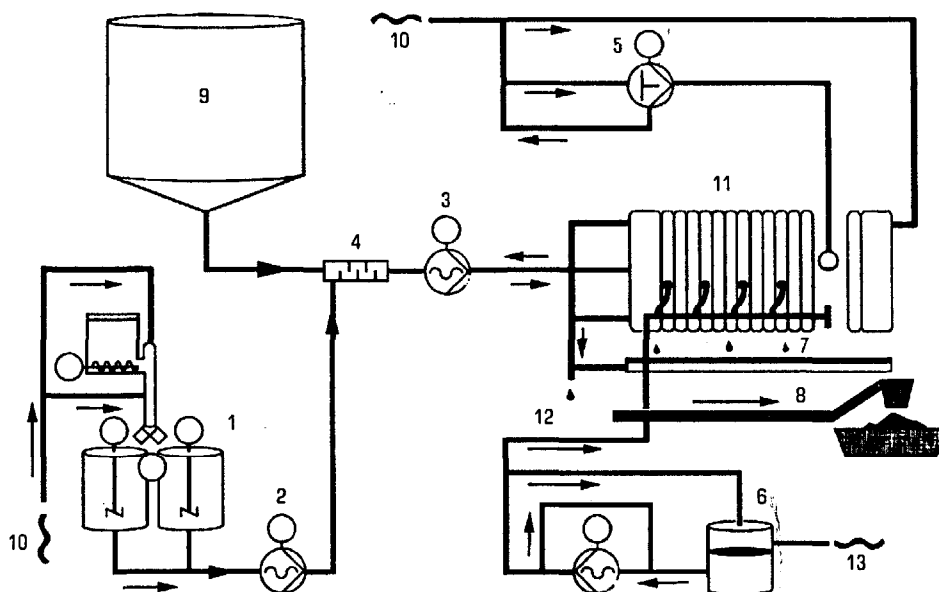


Рис. 110. Технологическая схема механического обезвоживания осадков на мембранно-камерном фильтр-прессе:

- 1 — система приготовления флокулянта; 2 — система дозирования флокулянта;
- 3 — система подачи осадка; 4 — система смешения осадка с флокулянтom;
- 5 — система промывки фильтровального полотна; 6 — система дожима мембран;
- 7 — система отвода капельных утечек и воды от промывки ткани;
- 8 — система отвода обезвоженного осадка; 9 — резервуар исходного осадка;
- 10 — подача воды питьевого качества; 11 — мембранно-камерный фильтр-пресс;
- 12 — отвод фильтрата; 13 — подача технической воды [3]

Применяются также ленточные фильтр-прессы. Они относительно просты и по конструкции, и в эксплуатации. Принципиальная схема такого прессы показана на рис. 111. Пресс имеет верхнюю и нижнюю фильтровальные ленты. Фильтрация и отжим осуществляются в пространстве между этими лентами. Обезвоженный осадок срезается ножом и сбрасывается в конвейер. Фильтровальная лента непрерывно промывается водой. Фильтрат и промывная вода отводятся из поддона. Существуют также конструкции вертикальных ленточных фильтр-прессов. Большинство ленточных фильтр-прессов конструктивно сочетают гравитационный ленточный фильтр и барабанный пресс. Процесс обезвоживания осадка непрерывный.

Центрифугирование осадков — разделение твердой и жидкой фаз в поле центробежных сил. Достоинствами этого метода являются простота, экономичность и управляемость процессом. После обработки на центрифугах получают осадки низкой влажности.

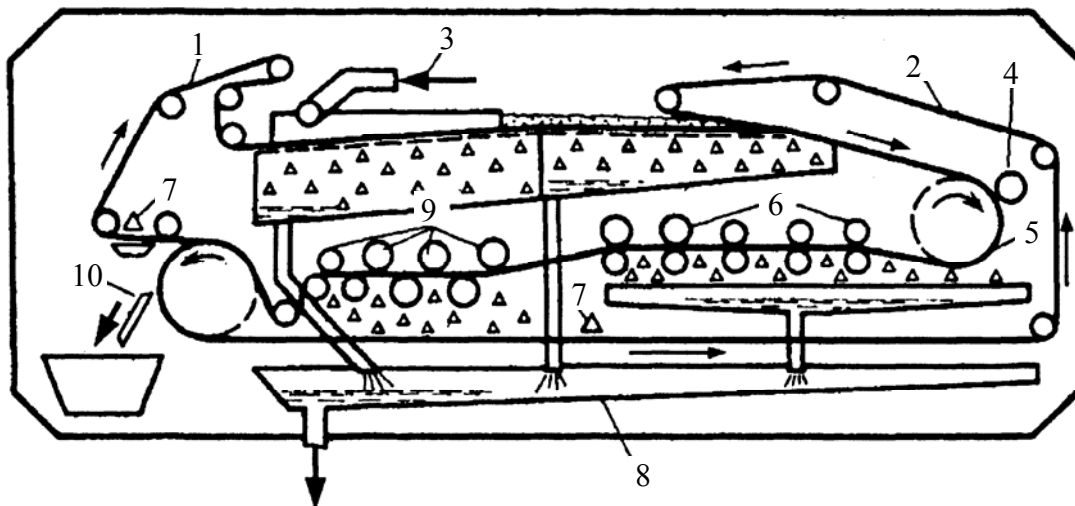


Рис. 111. Схема ленточного фильтр-пресса Лпр-10-1,2-001:

- 1 и 2 — верхняя и нижняя фильтровальные ленты; 3 — подача осадка;
 4 — прижимной ролик; 5 — фильтрующий барабан; 6 — система отжимных шаров;
 7 — система промывки лент; 8 — поддон для сбора фильтрата;
 9 — система отжимных валов; 10 — нож для отделения осадка [3]

Центрифугирование осадков производится с применением минеральных коагулянтов или ПЭ. При использовании ПЭ обезвоженный осадок имеет меньшую влажность, центрифуга — большую разделяющую способность, а образующийся фугат — меньшую загрязненность.

Работа центрифуг характеризуется такими показателями, как производительность, эффективность задержания сухого вещества и влажность обезвоженного осадка (кека). Показатели работы центрифуги зависят от геометрических размеров ротора, скорости его вращения, диаметра сливного цилиндра, влажности осадка, плотности и дисперсионного состава его твердой фазы и других факторов.

В отечественной практике для обработки осадков сточных вод применяют серийные, непрерывно действующие осадительные центрифуги типа ОГШ (рис. 112).

Основными элементами центрифуги являются конический ротор со сплошными стенками и полый шнек. Ротор и шнек вращаются в одну сторону, но с разными скоростями. Под действием центробежных сил твердые частицы осадка отбрасываются к стенкам ротора и вследствие разности частоты вращения ротора и шнека перемещаются к отверстию в роторе, через которое обезвоженный осадок (кек) поступает в бункер. Отделившаяся жидкая фаза (фугат) отводится через отверстия, расположенные с противоположной стороны ротора.

Технико-экономические расчеты и эксплуатационные данные показывают, что применение центрифуг для обработки осадков сточных вод экономически целесообразно для станций пропускной способностью 70—100 тыс. м³/сут.

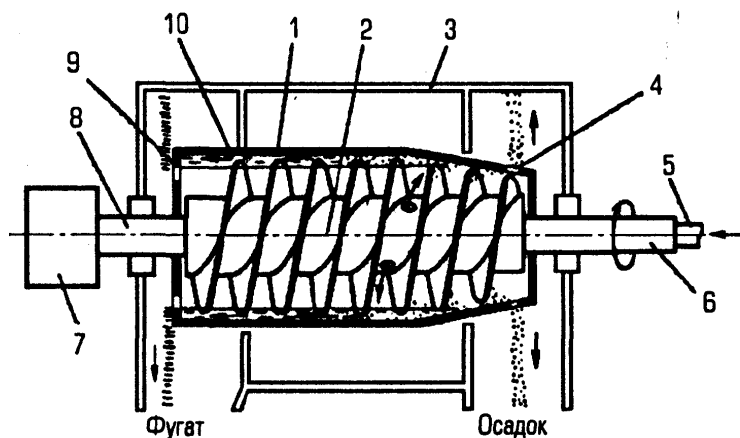


Рис. 112. Принципиальная схема устройства центрифуги типа ОГШ:
 1 — цилиндроконический ротор;
 2 — шнек; 3 — неподвижный кожух;
 4 — разгрузочные окна для осадка;
 5 — питающая труба;
 6 — вал ротора;
 7 — планетарный редуктор;
 8 — вал шнека;
 9 — сливные окна для фугата;
 10 — жидкостный объем ротора [3]

Сопоставление методов и аппаратов для механического обезвоживания осадков (табл. 11) показывает, что каждый из них имеет определенные преимущества и недостатки.

Таблица 11. Сопоставление методов механического обезвоживания осадков сточных вод

Оборудование	Преимущества	Основные недостатки
Вакуум-фильтры	Возможность обработки осадков без выделения песка и распространения запаха; сокращение топливно-энергетических расходов на термосушку; отсутствие быстроизнашивающихся узлов	Применение минеральных реагентов, вакуум-насосов; периодические замены фильтровальной ткани, повышенный расход электроэнергии
Камерные и рамные фильтр-прессы	Низкие влажность обезвоженного осадка и топливно-энергетические расходы на термосушку и сжигание	Низкая удельная производительность (с единицы поверхности); повышенный расход реагентов; периодичность действия; необходимость замены фильтровального полотна по мере износа
Ленточные фильтр-прессы	Отсутствие быстроизнашивающихся деталей и узлов; сокращение расхода электроэнергии; отсутствие необходимости выделения крупных включений и песка из осадков	Повышенные габариты по сравнению с центрифугами; возможность распространения запаха; увеличенные по сравнению с вакуум-фильтрами топливно-энергетические расходы на термосушку; необходимость периодической замены фильтровальной ткани
Центрифуги	Компактность установок; возможность работы по безреагентным схемам и с применением ПЭ	Необходимость извлечения из осадков крупных включений и песка, периодической наплавки или замены шнеков; повышенные по сравнению с вакуум-фильтрами топливно-энергетические расходы на термосушку
Виброфильтры	Простота конструкции, отсутствие быстроизнашивающихся деталей и узлов	Невысокая степень обезвоживания; значительные потери твердой фазы с фильтратом; низкая удельная производительность

При выборе оборудования для обезвреживания осадков сточных вод большое значение имеет увязка их параметров и режима работы со всей технологической схемой обработки и утилизации осадков, а также с работой сооружений по очистке сточных вод.

8.4.2. Обеззараживание осадков сточных вод

Исследования санитарного состояния осадков, образующихся в процессах очистки сточных вод населенных мест, показывают, что не только первичные, но и сброженные в мезофильных условиях смеси содержат большое количество гельминтов и патогенных микроорганизмов. Попадая в благоприятные условия, яйца гельминтов проходят инвазионную стадию развития и становятся способными заражать людей и животных.

Во многих случаях задача обеззараживания осадков решается в основных процессах их обработки, например при термофильной стабилизации, тепловой обработке, термосушке и сжигании. Как самостоятельная она ставится в случае дальнейшего их использования в сельском хозяйстве в качестве органического удобрения. Широкое практическое применение для этих целей получили биотермические, термические и химические методы обеззараживания осадков.

Биотермическая обработка осадков сточных вод. Биотермический процесс разложения органических веществ осадков, осуществляемый под действием аэробных микроорганизмов с целью стабилизации, обеззараживания и подготовки осадков к утилизации в качестве удобрения, называется *компостированием*. Компостирование позволяет существенно сократить топливно-энергетические расходы на обеззараживание осадков и улучшить их санитарно-гигиенические показатели (вследствие гибели болезнетворных микроорганизмов, яиц гельминтов и личинок мух). В процессе жизнедеятельности аэробных микроорганизмов происходит потребление и расход органических веществ, поэтому биотермический процесс наиболее эффективен при компостировании сырых несброженных осадков. Возможно применение процесса биотермической обработки в сочетании с анаэробным сброжением осадков в мезофильных условиях.

Процесс компостирования состоит из двух фаз. Первая фаза продолжается в течение 1—3 недель и сопровождается интенсивным развитием микроорганизмов, а температура осадка повышается до 50—80 °С. При этом происходит обеззараживание осадка и сокращение его массы. Вторая фаза — созревание компоста — более длительная. Она продолжается от двух недель до 3—6 месяцев и сопровождается развитием простейших и членистоногих организмов, понижением температуры до

40 °С и ниже. Повышение температуры окружающего воздуха интенсифицирует процесс разложения органических веществ. В результате проведения процесса биотермической обработки получают компост в виде сыпучего материала влажностью 40—50 %. Готовый компост не имеет запаха, не загнивает и является хорошим удобрением.

Основные технологические операции процесса компостирования приведены на рис. 113.

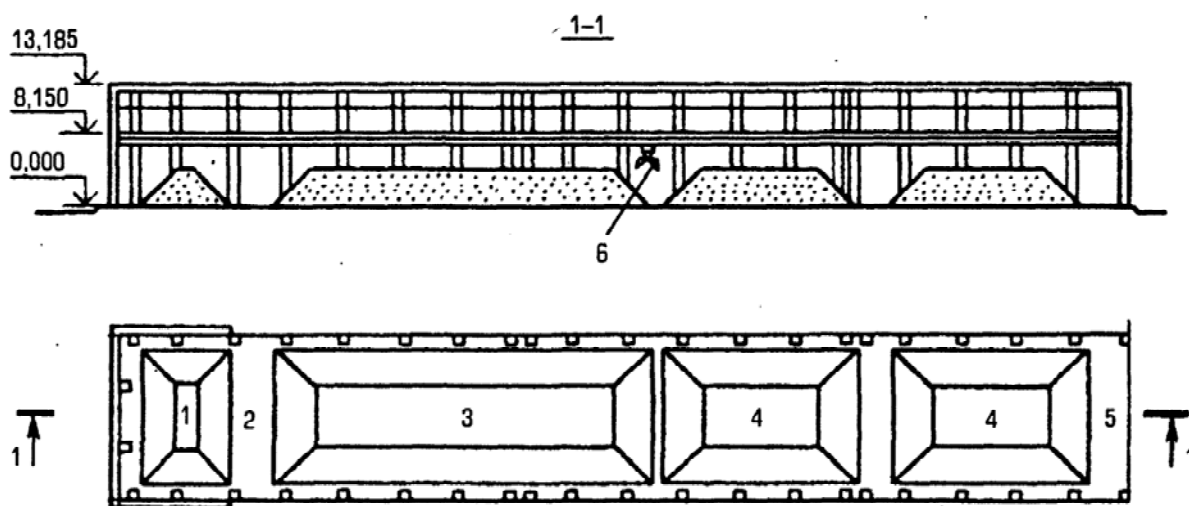


Рис. 113. Типовое сооружение компостирования осадка:

- 1 — закрытая площадка для хранения посадочного материала;
- 2 — площадка для погрузки готового компоста; 3 — площадка дозревания;
- 4 — площадка компостирования; 5 — площадка смешения осадка с посадочным материалом; 6 — кран [3]

В последние годы разработаны и применяются различные способы компостирования осадков, среди которых можно выделить механическое компостирование. Технологические операции процесса компостирования аналогичны.

Для осуществления способа механического компостирования в качестве основного оборудования используют разнообразные конструкции механизированных реакторов-смесителей. Продолжительность процесса компостирования в механизированных реакторах-смесителях в среднем 7 сут.

Термическое обеззараживание осадков. При термическом режиме 52—56 °С в течение 5 мин погибают многие патогенные бактерии, при температуре 62—74 °С и времени экспозиции до 30 мин отмирают вирусы. Поэтому термическая пастеризация опасных в санитарном отношении осадков является обязательной стадией их обработки, особенно в технологических процессах, предусматривающих утилизацию осадка.

Обеззараживание радиационным термическим нагреванием обезвоженных осадков проводят на установках по дегельминтизации

(рис. 114), состоящих из ленточного конвейера с приемным бункером и газовых горелок инфракрасного излучения.

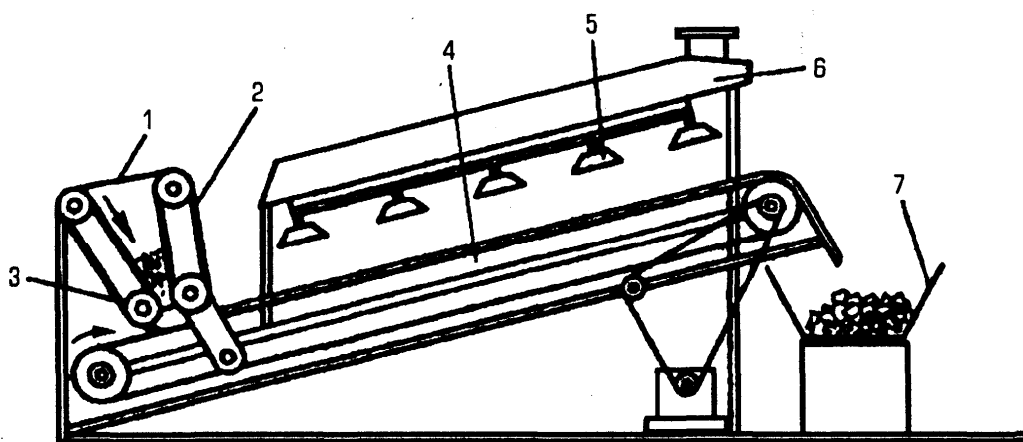


Рис. 114. Схема установки по дегельминтизации осадков:

1 — приемный бункер; 2 — подвижные стенки бункера; 3 — регулировочные валы; 4 — металлическая лента конвейера; 5 — газовые горелки инфракрасного излучения; 6 — вытяжной зонтик; 7 — конвейер обработанного осадка [3]

Для создания слоя осадка толщиной 10—25 мм бункер оборудован подвижными стенками и регулировочными валами. Температура прогревания осадка регулируется скоростью движения ленты, числом работающих горелок и толщиной слоя осадка. При движении по конвейеру осадок нагревается до температуры 60—65 °С.

Химическое обеззараживание осадков. Для химического обеззараживания осадков применяют известь, аммиак, тиазон, формальдегид и мочевины. Остаточное содержание в осадках названных веществ предотвращает реактивацию патогенных микроорганизмов и поддерживает стабильность осадков. Химическим методом можно осуществлять обеззараживание как жидких, так и обезвоженных осадков сточных вод.

Добавление к осадкам извести повышает величину рН до 10 и более, они теряют запах, в них подавляется развитие санитарно-показательных микроорганизмов (кишечной палочки и энтерококка). Однако щелочная среда не оказывает существенного влияния на яйца гельминтов. Деструкция и гибель яиц гельминтов происходят при введении в осадки только негашеной извести, которая наряду с увеличением щелочности осадков повышает их температуру.

В последние годы получают распространение способы обеззараживания осадков химическими веществами, которые применяются либо для удобрения почвы, либо для уничтожения вредных почвенных микроорганизмов или сорняков. К таким веществам относятся аммиак (аммиачная вода), формальдегид и др.

Применение извести, аммиака, тиазона, формальдегида и мочевины позволяет использовать двойное их действие — на осадки и почву, что

приводит к снижению эксплуатационных затрат на обеззараживание осадков и подготовку их к утилизации в качестве удобрения. Однако доза внесения осадков, обработанных химическими веществами, должна устанавливаться с учетом их действия на окружающую среду.

Общая характеристика процессов обеззараживания осадков сточных вод приведена в табл. 12.

Таблица 12. Показатели методов обеззараживания осадков сточных вод

Процесс	Расход теплоты, МДж на 1 м ³ обезвоженного осадка	Влажность после обработки, %	Преимущества	Основные недостатки
Обработка в камерах дегельминтизации	600—700	60—70	Простота эксплуатации, невысокий расход топлива	Относительно высокая влажность и стоимость транспортировки осадка
Термическая сушка в сушилках со встречными струями	1900—2800	35—40	Сокращаются транспортные расходы, упрощается утилизация как удобрения, так и топлива	Высокий расход топлива, потребность в квалифицированном персонале, необходимость очистки отходящих газов
Биотермическая обработка (компостирование)	—	45—50	Сокращаются топливно-энергетические и транспортные расходы, готовится качественное удобрение	Необходимость устройства площадок с водонепроницаемым покрытием и применения наполнителей (бытовых отходов, готового компоста, торфа, опилок и т. п.)
Сжигание с использованием получаемой теплоты	От -300 до +1800	—	Значительно сокращаются транспортные расходы, возможно по лучение дополнительной теплоты	Необходимость эффективной очистки отходящих газов, потребность в квалифицированном персонале

На крупных станциях аэрации целесообразно применение термической сушки механически обезвоженных осадков, позволяющей сократить транспортные расходы и получить удобрение из осадков в виде сыпучих материалов. Для сокращения топливно-энергетических расходов на станциях аэрации пропускной способностью до 20 тыс. м³/сут целесообразно применение камер дегельминтизации, до 50 тыс. м³/сут — методов химического обеззараживания. В случаях, когда осадок не подлежит утилизации в качестве удобрения, может применяться сжигание с использованием получаемого тепла.

8.5. Термическая сушка осадков сточных вод

Термическая сушка предназначена для обеззараживания и уменьшения массы осадков сточных вод, предварительно обезвоженных на вакуум-фильтрах, центрифугах или фильтр-прессах. Этот прием упрощает задачу удаления осадков с территорий очистных станций и их дальнейшей утилизации. Осадок после термической сушки представляет собой незагнивающий, свободный от гельминтов и патогенных микроорганизмов сухой сыпучий материал.

Наиболее распространен конвективный способ сушки, при котором необходимая для испарения влаги тепловая энергия непосредственно передается высушиваемому материалу теплоносителем — сушильным агентом. В качестве сушильного агента могут использоваться топочные газы, перегретый пар или горячий воздух.

Применение топочных газов предпочтительно, так как процесс сушки осадков производится при относительно высоких температурах (500—800 °С), что позволяет уменьшить габариты сушильных установок и расход энергии на транспортирование отходящих газов.

Сушилки конвективного типа можно разделить на два типа. В сушилках первого типа осадок не смешивается с потоком сушильного агента. Наиболее известный вид сушилок этого типа — барабанные. Во втором типе сушилок частицы осадка перемещаются и перемешиваются потоком сушильного агента. К этому типу относят сушилки со встречными струями, а также сушилки с кипящим и фонтанирующим слоем.

Любая сушильная установка состоит из сушильного аппарата и вспомогательного оборудования — топки с системой топливоподачи, питателя, циклона, скруббера, тягодутьевых устройств, конвейеров и бункеров, контрольно-измерительных приборов и автоматики.

Барабанные сушилки работают по схеме с прямоточным движением осадка и сушильного агента, в качестве которого применяют топочные газы. На рис. 115 показана сушилка барабанного типа. Сушильный агрегат состоит из топки, сушильной камеры и вентиляционного устройства. Со стороны входа находится загрузочная камера, а со стороны выхода — разгрузочная. Топка расположена со стороны входа в сушильную камеру. Для отсоса отработавших газов устанавливают вентилятор. Барабан установлен наклонно к горизонту под углом 3—4°, опирается на катки и имеет привод, от которого осуществляется вращение. Температура топочных газов на входе в сушилку 600—800 °С, на выходе из нее — 170—250 °С. Влажность поступающего в барабан осадка должна быть не более 50 %, иначе он будет прилипать к внутренней поверхности барабана. Для снижения влажности поступающего в барабан осадка к нему необходимо добавлять ранее высушенный осадок.

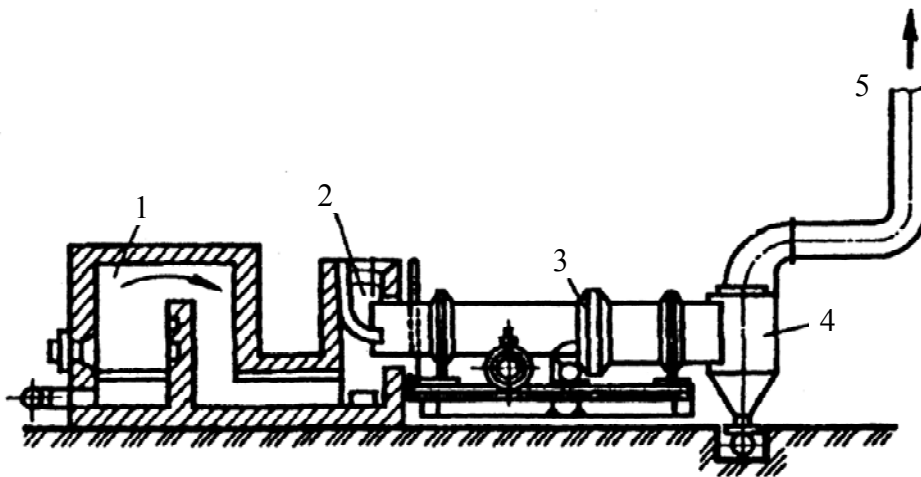


Рис. 115. Барабанная сушилка:

1 — топка; 2 и 4 — загрузочная и разгрузочная камеры;
3 — барабан; 5 — отвод дымовых газов [3]

Барабанные сушилки имеют большую единичную производительность, но малое напряжение по влаге, что обуславливает их большие габариты, массу и металлоемкость. Они имеют низкий КПД, требуют высоких капитальных затрат и относительно сложны в эксплуатации.

Сушилки со встречными струями. Основными элементами сушильной установки (рис. 116) являются аппарат со встречными струями, который выполнен в виде двух горизонтальных разгонных труб, врезанных в вертикальную пневмотрубу, и воздушно-проходной сепаратор. Обезвоженный осадок подается ленточным конвейером 11 и шнековыми питателями 13 в сушильную камеру со встречными струями 14, а затем в вертикальный стояк 16. Сушка производится по ретурной схеме, т. е. с добавкой высушенного осадка (ретура) к осадку, подаваемому на сушку. Выгрузка высушенного гранулированного осадка производится из сепаратора 17. Смешивание кека с ретуром производится в шнековом питателе, обеспечивающем подачу однородной по составу и влажности смеси. Окончательная сушка осадка проходит в сепараторе воздушно-проходного типа (аэрофонтане) 17. В нем увеличивается время контакта сушильного агента с осадком и происходит классификация частиц. Крупные частицы осадка через шлюзовый затвор 19 поступают в бункер готового продукта, а мелкие частицы потоком сушильного агента увлекаются в водяной скруббер 21.

Сушилки со встречными струями имеют производительность 0,7—3 т/ч по испаряемой влаге. Эти сушилки по сравнению с барабанными сушилками позволяют сократить капитальные затраты в 3—4 раза, а эксплуатационные — на 15 %.

В последние годы широкое применение получили сушилки с подвижным слоем. В сушилке с фонтанирующим слоем (рис. 117) влажный осадок с помощью питателя подается в сушильную камеру.

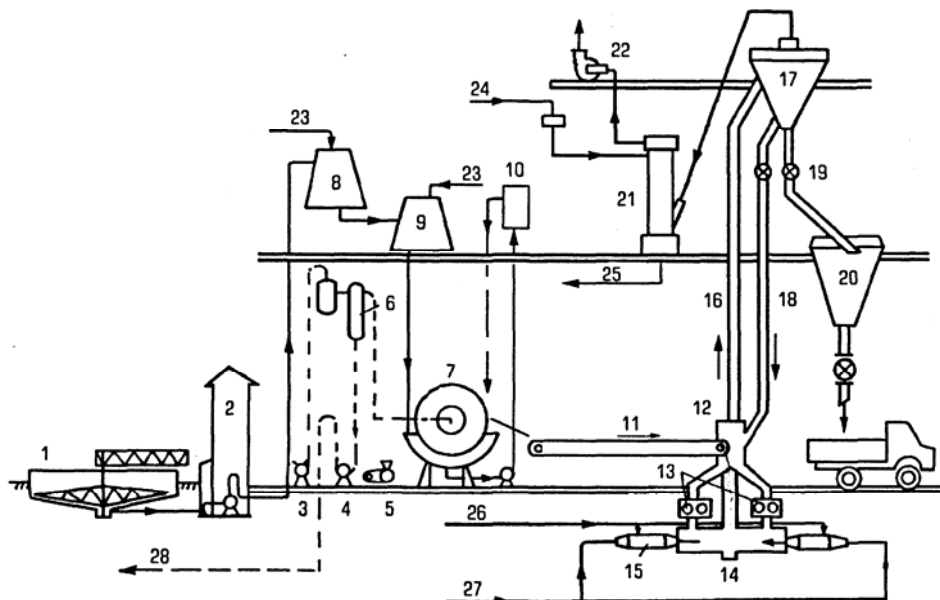


Рис. 116. Схема установки для термической сушки механически обезвоженных осадков в сушилке со встречными струями:

- 1 — осадкоуплотнитель; 2 — насосная станция; 3 — вакуум-насос;
 4 — насос для откачки фильтрата; 5 — компрессор; 6 — ресивер; 7 — вакуум-фильтр;
 8, 9 — смесители; 10 — емкость для ингибированной кислоты;
 11 — ленточный конвейер для подачи осадка; 12 — приемная камера;
 13 — двухвалковые шнековые питатели; 14 — сушильная камера с разгонными трубами;
 15 — камеры сгорания; 16 — вертикальный стояк; 17 — сепаратор воздушно-проходного типа; 18 — трубопровод ретура; 19 — шлюзовые затворы; 20 — подача сухого осадка в бункер готового продукта; 21 — водяной скруббер; 22 — вентилятор;
 23 — подача реагентов; 24 — подача воды; 25 — отвод шлама;
 26 — подача газа; 27 — подача воздуха; 28 — отвод фильтрата [3]

Теплоноситель, поступающий в ее нижнюю часть через газораспределительную решетку, подхватывает частицы влажного осадка, увлекает их за собой и фонтаном отбрасывает к стенкам камеры. Частицы осадка сползают по боковым поверхностям конуса к решетке, где вновь подхватываются потоком теплоносителя. Таким образом происходит циркуляция осадка в сушильной камере. Высушенный осадок выгружается через разгрузочное устройство.

Сушилки с кипящим слоем используют для сушки относительно небольших объемов обводненных осадков, когда это экономически целесообразно. Например, для сушки активного ила и использования его в качестве кормовой добавки к рациону сельскохозяйственных животных. Сушка таких осадков требует большого расхода теплоты на испарение влаги. Поэтому температура теплоносителя не бывает более 250 °С. Для быстрого снижения содержания влаги осадка при относительно низкой температуре необходима большая поверхность испарения. Поэтому камера сушилки загружается инертным материалом — носителем. В качестве инертного носителя используют кварцевый песок, стеклянные шарики, фторопластовую крошку.

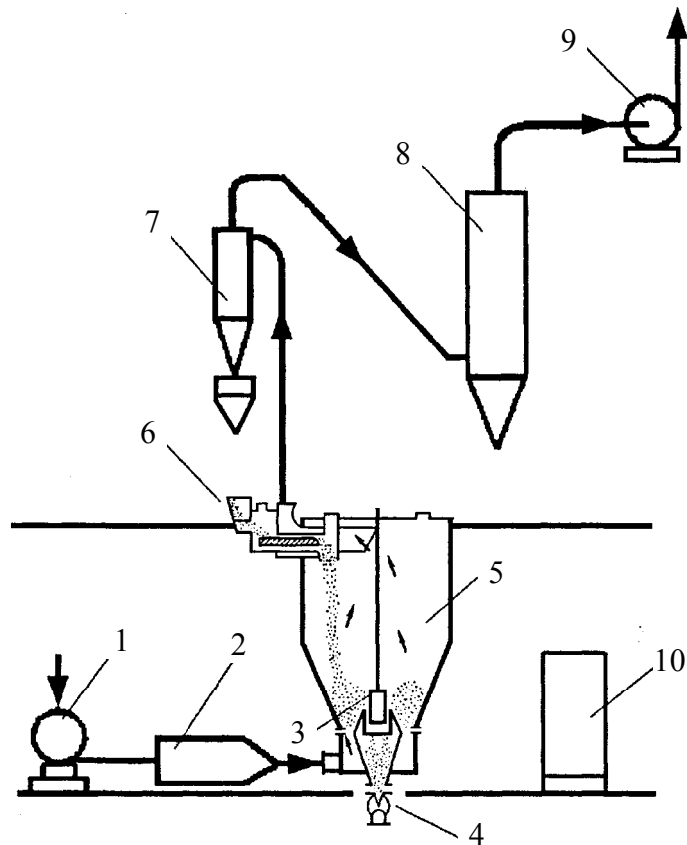


Рис. 117. Схема установки для сушки осадка в сушилке с фонтанирующим слоем:
 1 — воздуходувка; 2 — топка; 3 — переливной порог; 4 — разгрузочное устройство сухого осадка; 5 — сушильная камера; 6 — загрузочный бункер осадка; 7 — батарейный циклон; 8 — мокрый скруббер; 9 — дымосос; 10 — пульт управления с контрольно-измерительными приборами [3]

Инертный носитель покоится на газораспределительной опорной решетке, через которую подается газ-теплоноситель (рис. 118). При определенной скорости газового потока инертный носитель приходит во взвешенное состояние, создавая кипящий или псевдооживленный слой. Осадок через форсунку впрыскивается в этот слой, сорбируется на частицах инертного носителя и высушивается. Вместе с газовым потоком частицы высушенного осадка выносятся из сушилки в циклон, где происходит их разделение.

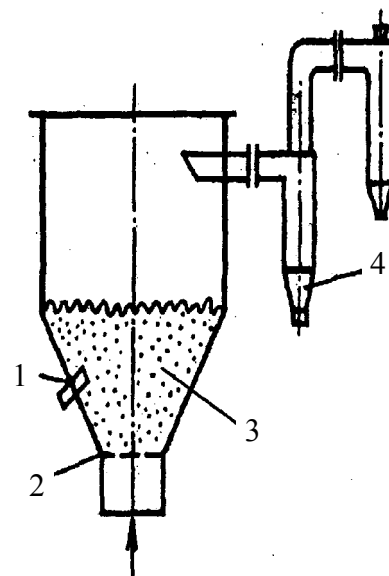


Рис. 118. Схема сушилки с кипящим слоем инертного носителя: 1 — форсунка; 2 — газораспределительная опорная решетка; 3 — слой инертного материала и осадка; 4 — циклон [3]

8.6. Сжигание осадков сточных вод

Сжигание осадков осуществляют, если их утилизация в исходном виде невозможна или экономически нецелесообразна.

Сжигание — это процесс окисления органической части осадков до нетоксичных газов (диоксид углерода, водяные пары и азот) и золы. Перед сжиганием осадки должны быть или механически обезвожены, или подвергнуты термической сушке, или пройти оба этих процесса. Возможное присутствие в газах при сжигании осадков токсичных компонентов может вызвать серьезные трудности при очистке этих газов перед выбросом их в атмосферу.

Процесс сжигания осадков состоит из следующих стадий: нагревания, сушки, отгонки летучих веществ, сжигание органической части и прокаливания для выгорания остатков углерода.

Возгорание осадка происходит при температуре 200—500 °С. Прокаливание зольной части осадка завершается его охлаждением. Температура в топке печи должна быть в пределах 700—900 °С. Установки для сжигания осадков должны обеспечивать полноту сгорания органической части осадка и утилизацию теплоты отходящих газов.

Для сжигания осадков наибольшее распространение получили многоподовые печи и печи кипящего слоя.

Многоподовая печь. Корпус многоподовой печи (рис. 119) представляет собой вертикальный стальной цилиндр, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Топочное пространство печи разделено по высоте на 7—9 горизонтальных подов. В центре печи имеется вертикальный вал, на котором укреплены горизонтальные фермы гребковых устройств. Каждый под имеет отверстия, расположенные у одного пода на периферии, а у другого — в центральной части. Осадок подается конвейером через загрузочный люк в верхнюю камеру печи, перемещается гребками к пересыпному отверстию, сбрасывается на лежащий ниже под и т. д. Вертикальный вал и фермы гребковых механизмов выполняются полыми и охлаждаются воздухом, подаваемым вентилятором. На верхних подах осадок сушится, на средних органическая часть осадка сгорает при температуре 600—950 °С, а на нижних охлаждается зола перед сбросом в бункер. Из печи газы отводятся в мокрый пылеуловитель и дымососом выбрасываются в атмосферу.

Многоподовые печи просты и надежны в эксплуатации. К их недостаткам относятся высокая строительная стоимость, большие габариты, частый выход из строя гребковых устройств.

Печь кипящего слоя представляет собой вертикальный стальной цилиндр, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Внутри печи имеются топочная камера, конусная часть с воздухораспределительной

беспровальной решеткой и куполообразным сводом (рис. 120). Обезвоженный осадок подается транспортером через загрузочный бункер в печь. Попадая в кипящий слой песка, температура которого 750—800 °С, осадок интенсивно отдает влагу и измельчается. В кипящем слое происходят доиспарение влаги и горение осадка.

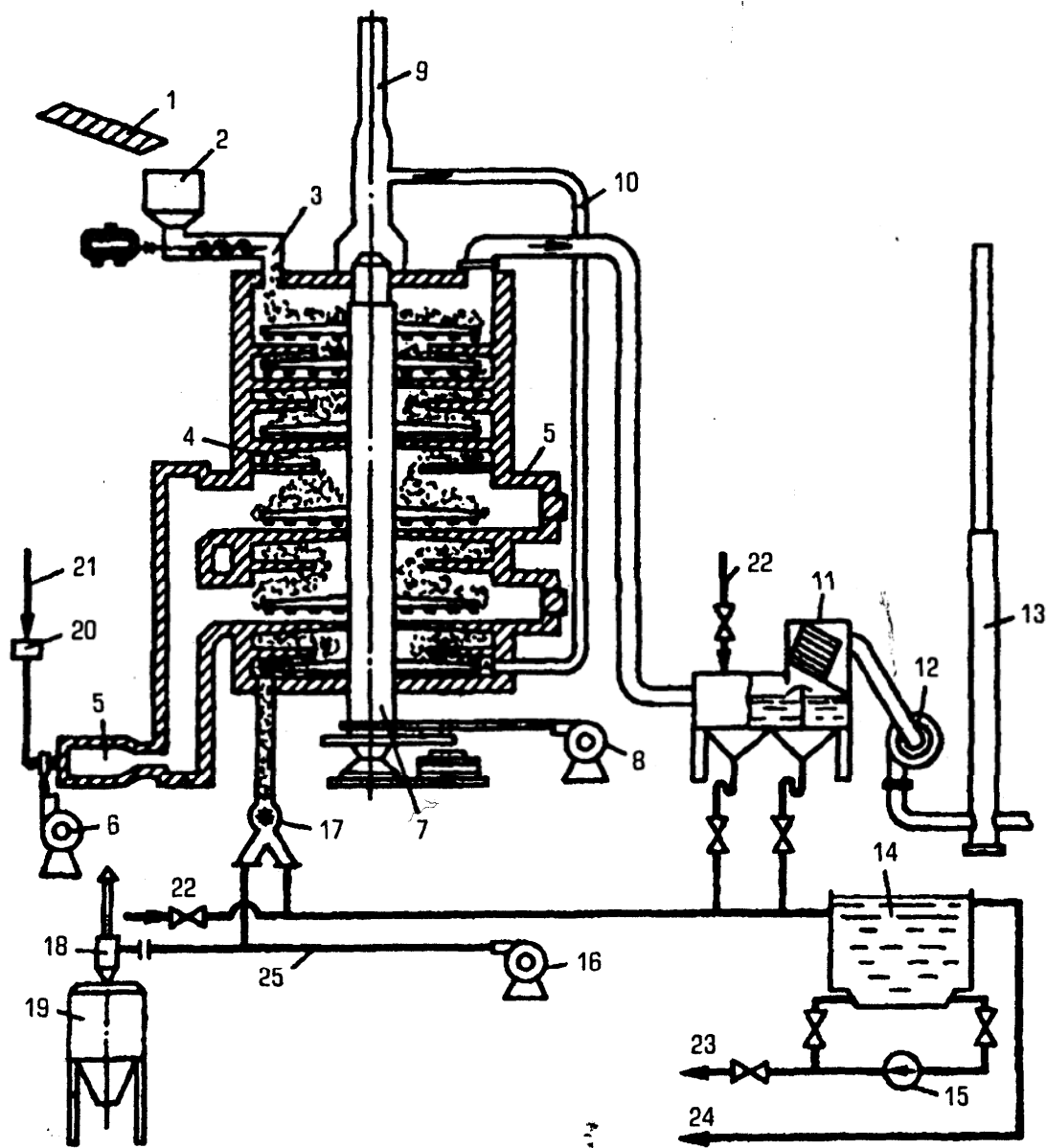


Рис. 119. Схема сжигания осадков в многоподовой печи:

- 1 — конвейер ленточный; 2 — бункер загрузки осадка; 3 — шнековый питатель; 4 — многоподовая печь; 5 — наружная топка; 6 — дутьевой вентилятор; 7 — вал; 8 — вентилятор охлаждения; 9 — атмосферная труба; 10 — рециркуляционный трубопровод; 11 — мокрый пылеуловитель; 12 — дымосос; 13 — дымовая труба; 14 — сборник золы; 15 — насос перекачки золовой воды; 16 — вентилятор пневмотранспорта; 17 — шлюзовой питатель; 18 — циклонный разгрузитель; 19 — бункер выгрузки золы; 20 — газорегуляционная установка; 21 — трубопровод топливного газа; 22 — водопровод; 23 — золопровод; 24 — трубопровод водоотведения; 25 — воздуховод [3]

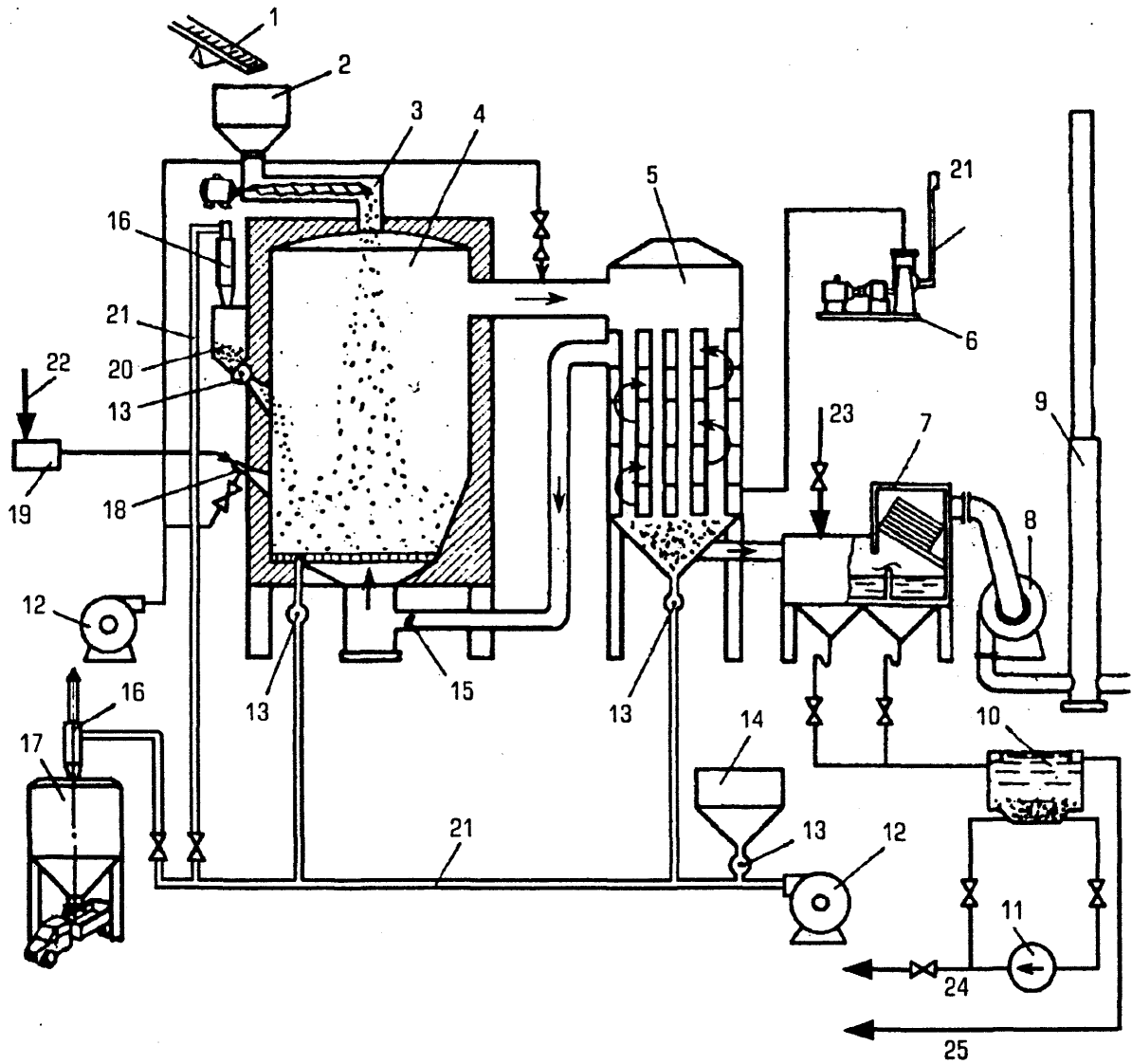


Рис. 120. Схема сжигания осадков в печи кипящего слоя:

- 1 — ленточный транспортер; 2 — бункер загрузки осадка; 3 — шнековый питатель;
 4 — печь; 5 — рекуператор; 6 — воздуходувка; 7 — мокрый пылеуловитель;
 8 — дымосос; 9 — дымовая труба; 10 — золовая емкость; 11 — насос перекачки золовой
 воды; 12 — вентилятор; 13 — шлюзовый питатель; 14 — бункер для песка;
 15 — заслонка; 16 — циклонный разгрузитель; 17 — бункер выгрузки золы;
 18 — газовая горелка; 19 — газорегуляторная установка; 20 — бункер-дозатор;
 21 — воздуховод; 22 — трубопровод топливного газа; 23 — водопровод;
 24 — золопровод; 25 — трубопровод водоотведения [3]

Продолжительность процесса составляет 1—2 мин. Образовавшаяся зола выносится из печи с потоком отходящих газов, которые по газопроводу поступают в рекуператор, затем в мокрый золоуловитель и далее дымососом выбрасываются в атмосферу. Основная масса воздуха на создание кипящего слоя и обеспечение горения подается воздуходувкой через рекуператор под колосниковую решетку печи. Если теплотворной способности осадка недостаточно для поддержания процесса горения, в печь через горелку вводится дополнительное топливо. Воздух на горение, вторичное дутье, а также на охлаждение газов в газопроводе подает-

ся вентилятором. Восполнение потерь песка в кипящем слое осуществляется из пескового бункера.

8.7. Утилизация осадков городских сточных вод

Осадки, выделяемые при очистке сточных вод городов и населенных мест с малой долей неочищенных производственных стоков, по химическому составу относятся к ценным органоминеральным смесям. Их целесообразно использовать главным образом в сельском хозяйстве в качестве азотно-фосфорных удобрений, содержащих необходимые для развития растений микроэлементы и органические соединения. Попадая в почву, осадок минерализуется, при этом биогенные и другие элементы переходят в доступные для растений соединения.

Активный ил представляет наибольшую ценность как органическое удобрение, особенно богатое азотом и усваиваемыми фосфатами. Содержание этих веществ в осадках определяется составом сточных вод и технологией их очистки. Отношение общего органического углерода к азоту в среднем составляет 15:1. Накопления калия в почве не происходит, так как в осадках недостаточно этого элемента. Минеральная часть осадков представлена в основном соединениями кальция, кремния, алюминия и железа. Поступление на очистные станции городов производственных стоков обуславливает присутствие в осадках ряда микроэлементов, таких, как бор, кобальт, марганец, медь, молибден, цинк.

Внесение осадков значительно уменьшает кислотность почв и увеличивает содержание азота, гумуса и фосфора. Особенно благоприятно действует на кислые почвы осадок, обработанный известью.

Содержание большого количества органических веществ (40—70 % массы сухого вещества) позволяет использовать осадки в качестве рекультиванта почв, у которых потерян верхний плодородный слой, что особенно важно для сохранения плодородия в условиях широкого применения минеральных удобрений, ухудшающих структуру почв, и возвращения сельскому хозяйству земель после использования их промышленностью.

Во многих городах и населенных пунктах, обслуживаемых централизованными системами водоотведения, сточные воды содержат значительную долю разнообразных производственных стоков. Осадки, выделяемые в процессах очистки таких городских сточных вод, могут содержать вредные для растений и животных вещества (яды, химические соединения, радиоактивные вещества, сорняки). Микроэлементы (бор, марганец, медь, молибден, кобальт, цинк) при повышенных концентрациях также могут оказывать неблагоприятное воздействие на рост рас-

тений и качество сельскохозяйственной продукции. Поэтому возможность использования осадков в сельском хозяйстве должна быть оценена с учетом присутствия в них этих соединений.

Перспективным направлением утилизации осадков сточных вод является их переработка с целью получения продуктов, используемых в промышленном производстве и теплоэнергетике. Важно отметить, что для этого направления переработки осадков нет жестких ограничений по санитарным показателям и присутствию токсичных соединений. Благодаря этому возможно использование процессов утилизации осадков бытовых сточных вод в комплексе с переработкой других отходов населенных мест и промышленных предприятий [3].

Контрольные вопросы

1. Что относится к первичным и к вторичным осадкам?
2. Что входит в 5-ю группу осадков?
3. Для чего необходимо знать химический состав и бактериальную заселенность осадков?
4. Что такое свободная влага, чем она характеризуется и как удаляется из осадков?
5. Что такое удельное сопротивление фильтрации осадка?
6. При каких температурах метан образуется в природе?
7. Что такое мезофильный режим?
8. Что оказывает ингибирующее воздействие на процесс брожения?
9. Перечислите основные элементы конструкции метантенка.
10. Для чего нужны иловые площадки?
11. Дайте определение иловой карты.
12. Какие аппараты применяют для механического обезвреживания осадков?
13. Как устроен барабанный вакуум-фильтр?
14. Из каких фаз состоит процесс компостирования?
15. При какой температуре обработки и времени экспозиции вымирают вирусы?
16. В каких случаях применяется химическое обеззараживание?
17. Как утилизируют осадки городских сточных вод?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очистка сточной воды от различных загрязнений является сложным многоуровневым процессом, требующим широкого спектра знаний во многих областях науки и техники, начиная от химических особенностей строения молекулы воды и заканчивая сложными технологическими расчетами, основанными на конкретных физических явлениях и закономерностях.

Учебное пособие призвано стать базой для понимания основных технологических способов очистки сточных вод от различных загрязнений. Пособие содержит восемь разделов: состав и свойства сточных вод, методы очистки, механическая очистка, физико-химические методы, электрохимические методы, термические методы, биологические, методы обезвреживания и утилизации осадка сточных вод. Каждый раздел дополнен контрольными вопросами, служащими для самопроверки освоения изученного материала.

Содержание пособия полностью соответствует требованиям государственного образовательного стандарта. Материал в пособии изложен логично, грамотно и доступно для понимания, он охватывает все этапы и особенности процесса очистки сточных вод.

Полученные знания в полной мере освещают современные представления и тенденции в этой области и позволят сформировать широкий круг знаний для дальнейшей полноценной профессиональной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Рекомендуемая литература

1. **Самусь, О. Р.** Водоснабжение и водоотведение с основами гидравлики [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О. Р. Самусь, В. М. Овсянников, А. С. Кондратьев ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). — Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. — 128 с. — Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=253622>.
2. **Стрелков, А. К.** Охрана окружающей среды и экология гидросферы [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов / А. К. Стрелков, С. Ю. Теплых ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). — 2-е изд. перераб. и доп. — Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. — 488 с. — Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256154>.

Использованная литература

1. **Ветошкин, А. Г.** Процессы и аппараты защиты гидросферы [Текст] : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. — Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. — 188 с. 2
2. Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] : от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 25.06.2012). — Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=131680;dst=0;ts=53F492BA5DEFC1B70BAE1C8ED2E133F6;ts=882089BAA44723D1EA971BC238183676> / (29.09.2012). — Загл. с экрана.
3. **Воронов, Ю. В.** Водоотведение [Текст] : учебник / Ю. В. Воронов, Е. В. Алексеев, В. П. Саломеев, Е. А. Пугачев. — Москва : ИНФРА-М, 2007. — 415 с.
4. **Воронов, Ю. В.** Водоотведение и очистка сточных вод [Текст] : учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. — Москва : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. — 704 с.
5. **Гребенюк, В. Д.** Обессоливание воды ионитами [Текст] / В. Д. Гребенюк. — Москва : Химия, 1980. — 256 с.
6. **Гудков, А. Г.** Биологическая очистка городских сточных вод [Текст] / А. Г. Гудков. — Вологда : ВоГТУ, 2002. — 127 с.
7. **Гудков, А. Г.** Механическая очистка сточных вод [Текст] : учеб. пособие / А. Г. Гудков. — Вологда : ВоГТУ, 2003. — 152 с.
8. **Жмур, Н. С.** Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст] / Н. С. Жмур. — Москва : АКВА-РОС, 2003. — 512 с.
9. **Комарова, Л. Ф.** Инженерные методы защиты окружающей среды [Текст] / Л. Ф. Комарова, Л. А. Кормина. — Барнаул, 2000. — 391 с.
10. **Родионов, А. И.** Техника защиты окружающей среды [Текст] / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников. — Москва : Химия, 1989. — 512 с.
11. **Родионов, А. И.** Технологические процессы экологической безопасности (основы энвайронменталистики) [Текст] / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, В. Г. Систер. — Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. — 800 с.
12. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=card;page=splus;ts=30DE3EC2DBA18238550BA47607203C20/>. — (31.10.2014). — Загл. с экрана.

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Агломерат (англ. *agglomerate*) — совокупность частиц, прочно удерживаемых между собой.

Биокоагуляция — предварительная коагуляция загрязнений в условиях искусственной аэрации и непрерывного перемешивания сточных вод с активным илом.

Биоценоз (от греч. βίος — «жизнь» и κοινός — «общий») — это исторически сложившаяся совокупность животных, растений, грибов и микроорганизмов, населяющих относительно однородное жизненное пространство (определенный участок суши или акватории), и связанных между собой и окружающей их средой.

Брюшной тиф — острое инфекционное заболевание человека, характеризующееся лихорадочной реакцией, интоксикацией, поражением сердечно-сосудистой, нервной и пищеварительной систем (образование язв в стенке кишечника).

Дизентерия (греч. *dysenteria*, от *dys...* — приставка, означающая затруднение, нарушение, и *énteron* — кишка) — острое или хронически рецидивирующее инфекционное заболевание человека, сопровождающееся преимущественным поражением толстого кишечника.

Коалесценция (от лат. *coalesco* — срастаюсь, соединяюсь) — слияние частиц (например, капель или пузырей) внутри подвижной среды (жидкости, газа) или на поверхности тела.

Мезофильные микроорганизмы — занимают промежуточное положение между психрофильными и термофильными микроорганизмами. Оптимальная температура роста для **М. м.** 25—37 °С, минимальная — 10—20 °С, максимальная — 40—45 °С. К **М. м.** относится большинство бактерий (в том числе актиномицеты), дрожжей и мицелиальных грибов, микроводорослей, обитающих в воде, почве, организме животных, растений и т. д. Свободноживущие мезофильные микроорганизмы в холодные сезоны года неактивны.

Паратифы — (от греч. *para* — около и тиф) — группа кишечных инфекций, вызываемых микроорганизмами рода сальмонелла.

Преаэрация — продувание сточных вод атмосферным воздухом перед их отстаиванием, ускоряющее процесс очистки.

Психрофильные микроорганизмы (от греч. *psychrós* — холодный и *philéo* — люблю) — криофильные микроорганизмы, бактерии, дрожжи, микроскопические грибы и водоросли, способные расти при низких температурах (от + 5 до –6 °С). При более высоких температурах размножаются быстрее. В отличие от мезофильных микробов, совсем не растут при 27—37 °С. **П. м.** обитают в водах Арктики и Антарктики, на поверхности снега и ледников в горах. Некоторые психрофильные мик-

роорганизмы образуют оранжевые или красные пигменты; развиваясь на поверхности снега, они окрашивают его в красный цвет («красный снег»). Размножаясь на мясе, фруктах и других пищевых продуктах, сохраняемых в холодильниках, **П. м.** вызывают порчу продуктов.

Сточная вода — это воды, бывшая в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшая через какую-либо загрязненную территорию.

Суспензия — это грубодисперсная система с твердой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой. Обычно частицы дисперсной фазы настолько велики (более 10 мкм), что оседают под действием силы тяжести (седиментируют). Суспензии, в которых седиментация идет очень медленно из-за малой разницы в плотности дисперсной фазы и дисперсионной среды, иногда называют взвешьями.

Термофильные микроорганизмы — группа микроорганизмов, нижняя граница роста которых выше 45 °С. Выделяют термотолерантные, факультативные и облигатные термофильные микроорганизмы. Оптимальная зона роста термофильных микробов равна 45—50° С, но они могут размножаться и при более низких температурах (до 30 °С). Зона роста факультативных термофильных микроорганизмов соответствует 5—65 °С, но задержанный рост может наблюдаться при более низких температурах. Температурные границы роста облигатных термофильных микроорганизмов равны 45—93 °С. Предельные температуры роста простейших находятся в границах 56 °С, водорослей — 55—60 °С, грибов — 60—62 °С, фотобактерий — 70—72 °С, хемолитотрофов и гетеротрофов — выше 90 °С. Архебактерии могут размножаться в средах с температурой в несколько сотен градусов, но не растут при 100 °С. Облигатные термофильные микроорганизмы обитают в фумаралах кипящих и горячих водоисточниках, промышленных и бытовых водах, самовозгорающихся материалах, конденсатах паровых труб.

Эмульсия (новолат. *emulsio*; от лат. *emulgeo* — дою, выдаиваю) — дисперсная система, состоящая из микроскопических капель жидкости (дисперсной фазы), распределенных в другой жидкости (дисперсионной среде).

Эрлифт (англ. *airlift*, от *air* — воздух и *lift* — поднимать), устройство для подъема жидкости за счет энергии пузырьков смешиваемого с ней сжатого воздуха.