

Владимирский государственный университет

Б. Н. БОРИСОВ Н. А. МАРКОВ А. Н. СТАРИКОВ

МЕТОДОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Учебное пособие



Владимир 2026

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Б. Н. БОРИСОВ Н. А. МАРКОВ А. Н. СТАРИКОВ

МЕТОДОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Учебное пособие

Электронное издание



Владимир 2026

ISBN 978-5-9984-1652-1

© Борисов Б. Н., Марков Н. А., Старикив А. Н., 2026

УДК 628.31
ББК 38.761.2

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор
профессор кафедры автоматизации, мехатроники и робототехники
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
О. В. Веселов

Кандидат технических наук
генеральный директор ООО «Рарок»
А. В. Власов

Борисов, Б. Н. Методология очистки промышленных сточных вод [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Б. Н. Борисов, Н. А. Марков, А. Н. Стариков ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2026. – 492 с. – ISBN 978-5-9984-1652-1. – Электрон. дан. (16,5 Мб). – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод DVD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены общие методы и приемы очистки промышленных стоков и их обработка. Даны принципы функционирования систем водоотведения, их классификация, основные элементы, элементы эксплуатации, обслуживания, проектирования и др.

Предназначено для студентов вузов направления подготовки 08.04.01 – Строительство, профиль «Водоснабжение городов и промышленных предприятий» всех форм обучения.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 85. Ил. 164. Библиогр.: 60 назв.

ISBN 978-5-9984-1652-1

© Борисов Б. Н., Марков Н. А.,
Стариков А. Н., 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
Глава 1. ВОДОЁМЫ КАК ЭЛЕМЕНТ ЭКОСИСТЕМЫ	10
Глава 2. ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СФЕРЕ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕЛЕЙ	20
2.1. Интеграция защиты окружающей среды в промышленные процессы	20
2.1.1. Дополнительная охрана окружающей среды	24
2.1.2. Интегрированная охрана окружающей среды	25
2.2. Основы планирования	29
2.2.1. Методы, интегрированные в технологические процессы	41
2.2.2. Методы, интегрированные в производство	42
2.2.3. Предварительная обработка сточных вод	48
2.2.4. Сравнительный анализ	49
Глава 3. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ	54
3.1. Сороудерживающие решетки и сита	61
3.2. Осаждение	64
3.2.1. Отстойники	67
3.2.2. Песколовки	69
3.2.3. Гидроциклоны, центрифуги	75
3.3. Флотация и улавливание легких жидкостей, жиров и эмульсий	78
3.3.1. Флотация путем соединения пузырьков газа	79
3.3.2. Отделительные сооружения для легких жидкостей, жиров и эмульсий	92
3.4. Фильтрация	103
3.4.1. Объемная фильтрация	104
3.4.2. Поверхностная фильтрация	115
3.5. Мембранная технология	116
3.5.1. Диффузия и осмотическое давление	118
3.5.2. Мембраны и модули	125
3.6. Выпаривание, высушивание	128
Глава 4. ХИМИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ	135
4.1. Нейтрализация	137
4.2. Осаждение	142
4.2.1. Осаждение катионов или металлов	145
4.2.2. Осаждение анионов	156
4.3. Флокуляция	161
4.4. Способы реализации химико-физических методов	166

4.4.1. Методы нейтрализации и осаждения.....	166
4.4.2. Метод флокуляции.....	168
4.4.3. Дезэмульгирование	171
4.5. Адсорбция.....	172
4.5.1. Адсорбция активированным углем.....	175
4.5.2. Методы адсорбции.....	184
4.5.3. Метод использования зерненого угля	187
4.5.4. Сочетание адсорбция-биология.....	193
4.5.5. Регенерация активированного угля	194
4.5.6. Метод ионного обмена	196
4.6. Процессы окисления и восстановления.....	197
Глава 5. БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ	
ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД	207
5.1. Примеси сточных вод	208
5.2. Аэробное биологическое превращение веществ	213
5.2.1. Расщепление углеродных соединений	214
5.2.2. Превращения азота	222
5.2.3. Биологическая элиминация фосфора.....	232
5.2.4. Структура аэробного активного ила	235
5.3. Аэробные реакторы	240
5.3.1. Аэробные методы без удержания биомассы.....	244
5.3.2. Аэробные методы с суспендированной биомассой	245
5.3.3. Аэробные методы с неподвижной биомассой	259
5.4. Анаэробное биологическое превращение веществ	267
5.4.1. Обмен веществ, биологический рост	268
5.4.2. Структура анаэробного активного ила	275
5.5. Анаэробные реакторы	276
Глава 6. ПРИМЕРЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОЧИСТКИ	
СТОЧНЫХ ВОД	289
6.1. Сахарные заводы.....	296
6.2. Крахмальные заводы	304
6.3. Производство пищевого растительного масла и жира	311
6.4. Картофелеперерабатывающая промышленность	319
6.5. Промышленность, перерабатывающая овощи и фрукты	325
6.6. Пивоваренные заводы	334
6.7. Спиртовое производство	341
6.8. Молокоперерабатывающая промышленность.....	344
6.9. Скотобойни.....	349
6.10. Текстильная промышленность	358
6.11. Кожевенное производство	370
6.12. Целлюлозно-бумажное производство	374

6.13. Химическая промышленность.....	399
6.14. Обработка сточных вод в металлургической промышленности	408
6.15. Гальванотехника	415
6.16. Металлургические заводы	425
6.17. Цветная металлургия	430
6.18. Нерудная промышленность	432
6.19. Стекольная промышленность	433
6.20. Нефтеперерабатывающие заводы	435
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	442
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	486
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	491

СПИСОК АББРЕВИАТУР

BP – British Petroleum
DIN – Немецкий институт стандартизации
АДФ – аденозиндифосфат
АОГ – адсорбируемые органические галогенные соединения
АПД – адсорбция при переменном давлении
АПФ – ангиотензинпревращающий фермент
АТФ – аденозинтрифосфат
АУ – активированный уголь
ВПК – биологическое потребление кислорода
ГАУ – гранулированный активированный уголь
ГУВ – галогенированные углеводороды
ДДТ – дихлордифенилтрихлорэтан
КПД – коэффициент полезного действия
МАФ – магний-аммоний-фосфат
МО – модельный организм
МСП – малые и средние предприятия
МФ – микрофльтрация
НАД – никотинамидадениндинуклеотид
НПЗ – нефтеперерабатывающий завод
НР – номинальный размер
НСРИ – насосная станция рециркуляционного ила
НТА – нитрилотриуксусная кислота
НФ – нанофльтрация
ОДВ – отстойник для дождевых вод
ОО – обратный осмос
ООСВ – Объединение обработки сточных вод
ООУ – общий органический связанный углерод
ОЭП – оценка экологической приемлемости
ПАА – полиакриламиды
ПА – полиамидный
ПАВ – поверхностно-активные вещества
ПАК – полный азот по Кьельдалю
ПАУ – порошковый активированный уголь
ПВХ – поливинилхлорид
ПГБ – поли-2-гидроксипропановая кислота

ПКК – поликарбоксилаты
ПОУ – полиароматические углеводороды
ПХБ – полихлорбифенилы
ПХД – полихлорированные дифенилы
РОУ – растворенный органический углерод
РПД – реактор переменного действия
РСГИ – расширенный слой гранулированного ила (метод)
СВ – сухие вещества
СУ-резервуары – смешительные и уравнивающие резервуары
СЭЭ – стратегическая экологическая экспертиза
ТП – точка поступления
УФ – ультрафильтрация
ХПК – химическое потребление кислорода
ХУВ – хлорированные углеводороды
ЭДТА – этилендиаминтетрауксусная кислота
ЭЖ – эквивалентное число жителей
ЭОГ – экстрагируемые органические галогенные соединения

ВВЕДЕНИЕ

Охрана окружающей природной среды и рациональное использование природных ресурсов приобретает в наши дни все большее значение для предотвращения загрязнения водоемов промышленными сточными водами. В связи с разнообразием состава, свойств и расхода сточных вод промышленных предприятий необходима разработка и применение различных методов и сооружений по очистке воды и обработке осадка.

Переход на бессточные системы или системы с минимальным сбросом сточных вод может быть осуществлен путем многократного использования отработавших вод и замены водяного охлаждения на воздушное. При переводе ряда отраслей промышленности на безводные технологические процессы исключается образование сточных вод.

В учебном пособии рассматриваются основные вопросы теории построения и проектирования систем водоотведения с применением энергосберегающих и природоохранных решений и технологий, исходя из задач подготовки специалистов по основной образовательной программе «Водоснабжение, водоотведение» по направлению подготовки магистров 08.04.01 «Строительство».

Изучение материалов пособия дает возможность студентам лучше ориентироваться в условиях динамично меняющихся норм, методов расчета, материалов и оборудования; повысить профессиональный уровень проектирования новых и анализа эффективности работы существующих систем; усовершенствовать и усилить обоснованность расчетов, относящихся к внедрению решений в области водоочистки.

Структура учебного пособия сформирована таким образом, чтобы в процессе изучения дисциплины магистрант переходил от более общих и теоретических вопросов, осваивая правильную терминологию, к решению конкретных задач по водоочистке.

Работа охватывает целый комплекс теоретических и практических вопросов транспортировки, селективности, сепарации, очистки и утилизации вод. Необходимо учитывать, что научно-техническое направление «водоотведение» находится в непрерывном и очень динамичном развитии. Особо следует выделить опыт европейских стран.

При работе над текстом учебного пособия сделана попытка сохранить сбалансированное соотношение теоретических основ и информации по их практическому применению для расчетов и проектирования с учетом междисциплинарных связей, лежащих в основе взаимодействия дисциплин.

Работа не является оригинальной и уникальной, а построена на анализе современной научно-методической литературы в области водоотведения. Отдельно можно выделить монографию «Очистка сточных вод» под руководством профессора Й. Лондонга [4] – чёткость, глубина, сбалансированность и лаконичность изложения материала по праву заслуживают уважения и внимания. Данное издание послужило толчком и стала осью для создания данного учебного пособия.

Авторы убеждены, что идеи развития современных систем водоотведения и канализации имеют общую экологическую и социальную значимость для всех регионов и стран.

Глава 1. ВОДОЁМЫ КАК ЭЛЕМЕНТ ЭКОСИСТЕМЫ

В настоящей главе рассмотрены последствия антропогенной нагрузки на водоемы в результате спусков сточных вод. Частично затрагиваются вопросы гидроморфологических нагрузках на водоемы. Водоемы и нагрузки на них рассматриваются как единая система, так как и подземные воды, и воздействия нагрузок на компоненты экосистемы водоема находятся во взаимной зависимости.

На территории промышленных предприятий образуются три категории сточных вод: производственные, бытовые и атмосферные.

Производственные сточные воды (ПСВ) – воды, образующиеся в технологическом процессе или при добыче и обогащении полезных ископаемых, а также воды от охлаждения продуктов и агрегатов. Производственные сточные воды делятся на: условно чистые (охлаждающая вода, незагрязняющаяся в процессе производства) и загрязненные.

Бытовые сточные воды (БСВ) – это сточные воды от санитарных узлов, душевых и др. бытовых объектов.

Атмосферные сточные воды (АСВ) – это дождевые и талые воды. При сильном загрязнении территории они могут быть загрязнены специфическими продуктами производства, взвешенными веществами минерального и органического происхождения, а также нефтепродуктами.

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

Загрязненные производственные сточные воды содержат различные примеси и подразделяются на три группы:

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

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

3) загрязненные минеральными и органическими примесями (предприятия нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, текстильной, легкой. фармацевтической промышленности:

заводы по производству консервов, сахара. продуктов органического синтеза, бумаги, витаминов и др.)

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

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

По степени агрессивности эти воды разделяют на слабоагрессивные (слабокислые с $\text{pH} = 6-6.5$ и слабощелочные с $\text{pH} = 8-9$). сильноагрессивные (сильнокислые с $\text{pH} < 6$ и сильнощелочные с $\text{pH} > 9$) и неагрессивные ($\text{pH} = 6.5-8$).

Кроме того, загрязненные производственные сточные воды классифицируются по содержанию токсичных и опасных в эпидемиологическом отношении веществ и примесей, а также по наличию концентрированных отходов производства, не подлежащих спуску в водоотводящую сеть.

Незагрязненные производственные сточные воды поступают от холодильников. компрессорных, теплообменных аппаратов.

Состав сточных вод зависит так же от технологического процесса, применяемых компонентов промежуточных изделий и продуктов, выпускаемой продукции. состава исходной свежей воды, местных условий и др.

Эффективность использования воды на промышленных предприятиях оценивается:

- по проценту использования воды в обороте;
- по рациональности использования воды источника;
- по проценту потерь воды.

Расчетные расходы производственных сточных вод определяются либо по данным технологов, либо по производительности предприятия и удельным расходам.

Расчетные расходы бытовых вод определяются по смене с максимальным числом работающих по существующим нормам водоотведения для холодных и горячих цехов.

Расходы душевых вод определяются числом душевых сеток (д.с.), — от 3 до 15 чел. на 1 д.с. в зависимости от характера производства. Из условия отведения этих сточных вод в течение 45 мин. после

смены и нормы водоотведения 500 л/ч на 1 д.с. На предприятиях также определяются расходы от столовых и прачечных.

Расчетные расходы дождевых и талых вод определяются в зависимости от местных производственных и климатических условий, от рельефа местности и степени благоустройства территории по известным методикам.

При выборе системы и схемы водоотведения промышленных предприятий необходимо учитывать:

- 1) требования к качеству воды, используемой в различных технологических процессах, и их количество;
- 2) количество, состав и свойства - сточных вод отдельных производственных цехов и предприятия в целом, а также режимы водоотведения;
- 3) возможность сокращения количества загрязненных производственных сточных вод предприятия путем совершенствования технологических процессов;
- 4) возможность повторного использования производственных сточных вод в системе оборотного водоснабжения или для технологических нужд другого производства;
- 5) целесообразность извлечения и использования ценных веществ, содержащихся в сточных водах;
- 6) возможность разделения производственных сточных вод для повторного использования незагрязненных вод в производстве и обработки загрязненных;
- 7) возможность и целесообразность совместного отведения сточных вод от нескольких близко расположенных промышленных предприятий, а также возможность комплексного решения водоотведения от промышленного предприятия и населенного пункта;
- 8) возможность использования в технологическом процессе очищенных бытовых сточных вод;
- 9) возможность и целесообразность использования производственных сточных вод для орошения сельскохозяйственных и технических культур;
- 10) целесообразность локальной очистки сточных вод отдельных производств и цехов;

11) самоочищающую способность водоема, условия спуска производственных сточных вод в него и необходимую степень очистки этих вод по лимитирующим показателям;

12) целесообразность применения каждого метода очистки.

При вариантном проектировании водоотводящих систем промышленного предприятия на основании технико-экономических показателей принимается оптимальное решение.

Водоотведение от промышленных предприятий, как правило, осуществляется по полной раздельной системе.

Производственные сточные воды в зависимости от вида загрязняющих веществ и их концентрации, а также от количества сточных вод и мест их образования отводятся несколькими самостоятельными потоками: слабозагрязненные, содержащие один или несколько видов загрязнений; содержащие токсичные и ядовитые вещества; кислые; щелочные; сильноминерализованные; содержащие масла и жиры, волокно, ПАВ и т.д. Незагрязненные сточные воды, как правило, объединяют в отдельный поток.

Бытовые сточные воды, образующиеся на промышленном предприятии, отводятся и очищаются отдельно, если производственные сточные воды по своему составу не требуют биологической очистки.

Совместное отведение бытовых и производственных сточных вод целесообразно, если последние загрязнены органическими веществами, деструкция которых возможна биологическим путем: при этом концентрация токсичных примесей не должна превышать предельно допустимую.

Дождевые воды с незагрязненных территорий промышленного предприятия, отводятся отдельной водоотводящей сетью или объединяются с незагрязненными производственными сточными водами и спускаются в водоем без очистки.

Дождевые воды с площадок для складирования сырья, жидкого и твердого топлива, масел, красителей и т.п., отводятся вместе с загрязненными производственными сточными водами и подлежат совместной очистке перед выпуском в водоем (рис. 1.1, а).

Целесообразность разделения или объединения отдельных потоков сточных вод при проектировании водоотводящих систем промышленного предприятия является одним из наиболее актуальных вопро-

сов, от правильного решения которого зависят сметная стоимость строительства и затраты на эксплуатацию очистных сооружений. надежность охраны водоемов от загрязнения и рентабельность основного производства.

На предприятиях, где производственные сточные воды по своему составу близки к бытовым (например, предприятия пищевой промышленности), сточные воды можно отводить по двум сетям: производственно-бытовой и дождевой.

В дождевую сеть могут сбрасываться и незагрязненные производственные сточные воды (рис. 1.1, б). В большинстве случаев производственные сточные воды очищать совместно с бытовыми нельзя.

В этом случае следует устраивать локальные прицеховые очистные сооружения: жироловушки, маслоуловители, бензоуловители, нефтеловушки, смолоотстойники, волокноуловители, нейтрализаторы, установки по обезвреживанию сточных вод (рис. 1.1, в).

После локальной очистки сточные воды могут объединяться и очищаться совместно.

Разделение производственных сточных вод может быть продиктовано санитарными причинами, пожаро- и взрывоопасностью, возможностью зарастания и разрушения трубопроводов.

Не всегда целесообразно совместное отведение даже сточных вод одинакового состава, но различных по концентрации в них загрязняющих веществ. Если эти вещества представляют собой товарную ценность, то экономичнее извлекать их из наиболее концентрированных сточных вод и уже потом смешивать слабо концентрированные сточные воды для их последующей очистки.

Раздельная очистка сточных вод предпочтительна и в том случае, если в каких-либо сточных водах загрязняющее вещество легко удаляется из воды. Целесообразно также объединение сточных вод, содержащих значительное количество механических примесей минерального происхождения, а также нефть и масла, с бытовыми сточными водами. Такое объединение усложняет технологию очистки, препятствует возможности повторного использования производственных сточных вод и извлечению из них ценных примесей. Поэтому на большинстве промышленных предприятий (металлургических, химических, нефтеперерабатывающих, целлюлозно-бумажных, пищевых) проектируется полная раздельная система водоотведения (рис. 1.1, г) с

устройством производственных, бытовых и дождевых сетей. На рис. 1.1 представлена схемы водоотведения промышленных сточных вод.

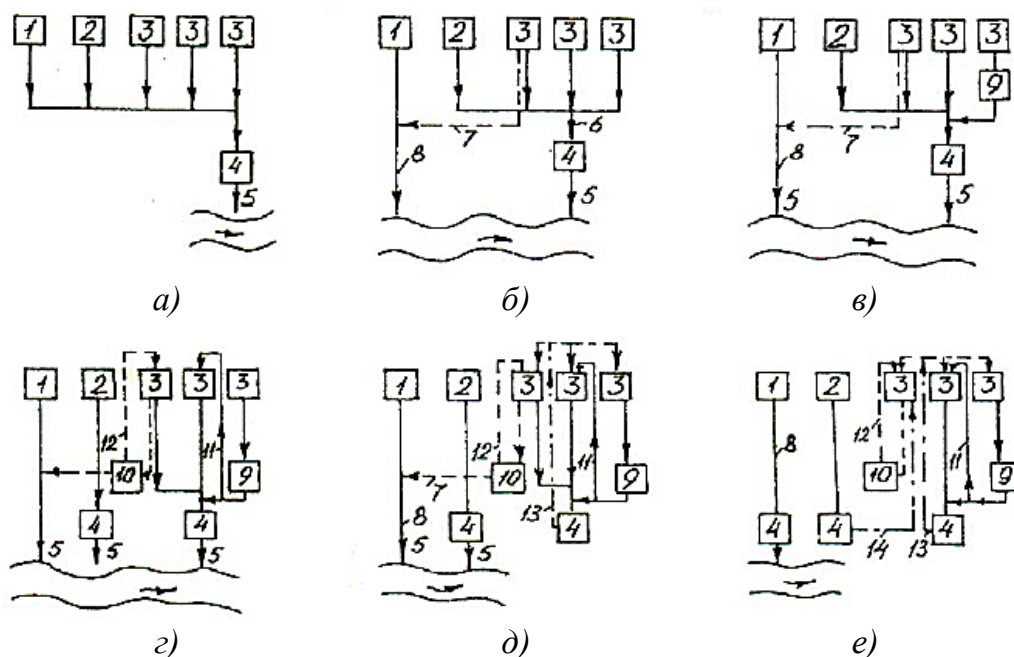


Рис. 1.1. Схемы водоотведения промышленных предприятий.

Показаны общие принципы: *а* – общесплавной системы; *б* – раздельной системы с дождевой и производственно-бытовыми сетями; *в* – то же и с локальными очистными сооружениями; *г* – раздельной системы с дождевой, бытовой и производственными сетями; *д* – то же, но с полным оборотом производственных сточных вод; *е* – раздельной бессточной системы водоотведения.

На рис. 1.1 показаны: 1 – дождевые воды; 2 – бытовые сточные воды; 3 – производственные сточные воды; 4 – очистные сооружения; 5 – выпуск в водоем; 6 – сеть бытовых и загрязненных производственных сточных вод; 7 – сеть незагрязненных производственных сточных вод; 8 – сеть дождевых вод; 9 – локальные очистные сооружения; 10 – сооружения по охлаждению незагрязненных сточных вод; 11, 12 – сеть оборотного водоснабжения соответственно после локальной очистки загрязненных и незагрязненных (после охлаждения) производственных сточных вод; 13, 14 – сеть оборотного водоснабжения после очистки соответственно загрязненных производственных и бытовых сточных вод.

В настоящее время ведущее место занимает вопрос повышения процента вод, находящихся в системе оборотного водоснабжения, с целью дальнейшего полного перехода на малоотходные и бессточные системы водоотведения (рис. 1.1, *д, е*). В бессточных системах промышленных предприятий в оборот включаются также и бытовые сточные воды после соответствующей очистки и доочистки, а в водоем опускаются лишь дождевые.

Схемы водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий и населенных пунктов в целях достижения наиболее экономических и комплексных решений разрабатываются, как правило, одновременно на основании проекта районной планировки и застройки по единому генеральному плану.

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

При значительном удалении объектов друг от друга целесообразность совместной или раздельной очистки сточных вод этих объектов определяется путем технико-экономического сравнения вариантов централизованной и децентрализованной схем водоотведения.

Объекты с прямым сбросом сточных вод

При рассмотрении правового статуса водопользователя, осуществляющего сброс сточных вод, решающее значение имеет условие, должен ли сброс сточных вод выполняться прямо в водоем. Если да, то речь идет о прямом сбросе сточных вод. Сточные воды не должны при сбросе наносить ущерб хорошему состоянию водоема.

Водное право РФ требует соблюдения определенных предельных значений во избежание вредного воздействия прямого сброса сточных вод на качество воды в водоеме. Важное значение при этом имеет

Правовые документы об обязанности предприятий возводить водоочистные сооружения, которое требует очищать сбрасываемые сточные воды в соответствии с уровнем развития технологий, а также Закон о налоге на сточные воды, который обязывает водопользователей в случае превышения предельных значений после очистки к уплате налога по числу единиц загрязнения.

Объекты с непрямым сбросом сточных вод

Если сброс сточных вод осуществляется не прямо в водоем, а в общественную канализационную сеть или непосредственно в коммунальное очистное сооружение, то речь идет о непрямом сбросе сточных вод.

Для водопользователей с непрямым сбросом сточных вод, прежде всего, действуют «Требования к сточным водам до смешения» или «для места сброса», установленные в федеральных законах. Установлены обязанности предприятий возводить водоочистные сооружения, которые при определенных условиях требуют самостоятельной раздельной обработки потоков.

Поскольку при отведении сточных вод в канализацию изменяются имущественные отношения, то лицо, эксплуатирующее канализационную сеть или очистное сооружение, может устанавливать требования к качеству сбрасываемых сточных вод. Требования к непрямому сбросу сточных вод устанавливаются в рамках федеральных законов. Если промышленное предприятие не придерживается значений, определенных в местном уставе, то муниципальное образование может отказаться от обязанности утилизировать промышленные сточные воды и запретить их сброс.

Охрана окружающей среды, интегрированная в производство

Вторичное использование ресурсов или охрана окружающей среды, интегрированная в, расставляет следующие акценты в производственном процессе:

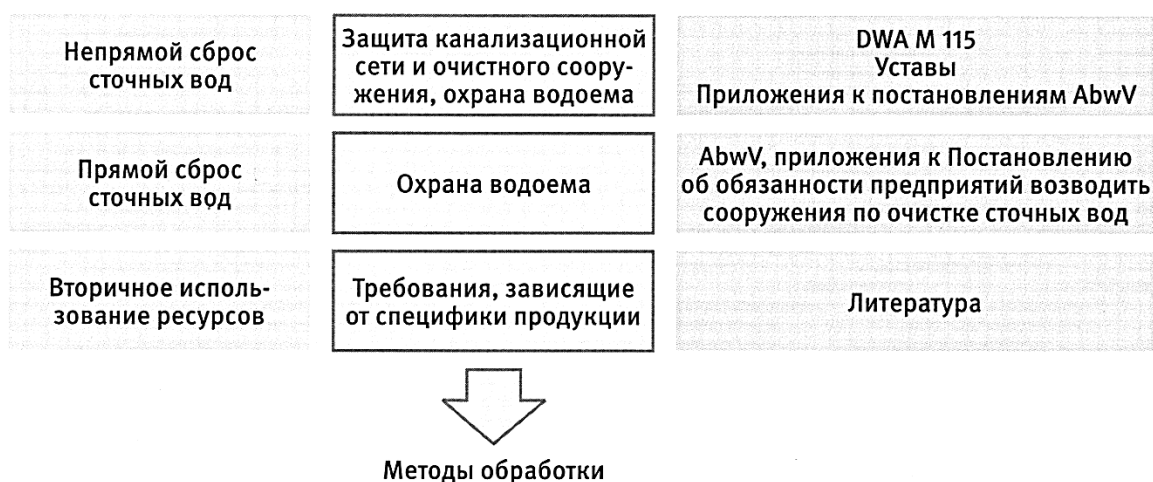


Рис. 1.2. Цели очистки и требования к обработке сточных вод

- многократное использование неизбежной технологической, моечной и промывочной воды;
- работа по замкнутому циклу;
- рециркуляция веществ;
- переработка.

Требования к качеству переработанной воды (технической воды) зависят от специфики продукции. Так, например, может потребоваться качество питьевой воды или применение мягкой воды.

Требования к качеству сточных вод, которые влияют на выбор способа подготовки, обобщены на рис. 1.2.

Вопросы для самоконтроля

1. Определение сточных вод. Классификация сточных вод по происхождению и их краткая характеристика.
2. Классификация производственных сточных вод.
3. Основные загрязняющие вещества в сточных водах различных производств.
4. Основные показатели сточных вод.
5. Оценка качества сточных вод.
6. Значение показателей ХПК и БПК при оценке качества сточных вод.
7. Классификация и значение показателей СПАВ в производственных сточных водах.

8. Связь между системами водообеспечения и водоотведения на промышленном предприятии.
9. Схемы водоснабжения промышленных предприятий.
10. Показатели оценки эффективности использования воды на промышленных предприятиях.
11. Роль оборотного водоснабжения в деятельности промышленного предприятия.
12. Системы канализации на промышленных предприятиях.

Глава 2. ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СФЕРЕ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕЛЕЙ

1.1. Интеграция защиты окружающей среды в промышленные процессы

Под основной идеей «Лучшие сточные воды те, которые не образуются вовсе» подразумевается, что в самом лучшем варианте сточных вод не должно образовываться благодаря целенаправленной организации производственного процесса, при которой следует критически контролировать воздействие на другие среды (воздух, отходы, энергию). Производственный процесс должен быть технически и экономически осуществимым и экологически рациональным.

Мероприятия по защите окружающей среды можно подразделить в соответствии с представленным на рис. 2.1 соотношением с продукцией или производством.



Рис. 2.1. Охрана окружающей среды в промышленном водном хозяйстве

При охране окружающей среды, касающейся продукции, объектом интереса являются в том числе расход ресурсов, потребительские свойства, долговечность, а также возможности переработки и утилизации продукции. Подробнее данные «параметры продукции» здесь не описываются.

Под охраной окружающей среды, касающейся производства, следует понимать все мероприятия, которые имеют целью снижение потребления ресурсов для производства и сокращение выбросов при производстве.

Меры по защите окружающей среды, касающиеся производства, делятся на интегрированные и дополнительные. В рамках дополнительной защиты окружающей среды проводятся мероприятия по снижению выбросов в связи с производственным процессом.

Интегрированные мероприятия обозначаются в соответствии с их уровнем применения или действия в производстве как интегрированные в процесс или производство.

Интегрированная охрана окружающей среды, т. е. охрана окружающей среды, интегрированная в процессы и производство, а также дополнительные мероприятия относятся к мероприятиям современного промышленного водного хозяйства, где при общем рассмотрении с точки зрения экологии приоритет должен отдаваться мероприятиям, интегрированным в процессы и производство.

На практике рассматривать различные мероприятия по охране окружающей среды (дополнительные, интегрированные в производство, интегрированные в процессы) полностью отдельно не удастся. Охрана окружающей среды, интегрированная в процессы и производство, должна одновременно отвечать требованиям производства и охраны окружающей среды. Таким образом, обязательным условием реализации консультантов, проектировщиков, строителей сооружений и предприятий, осуществляющих их эксплуатацию, а также согласующих органов.

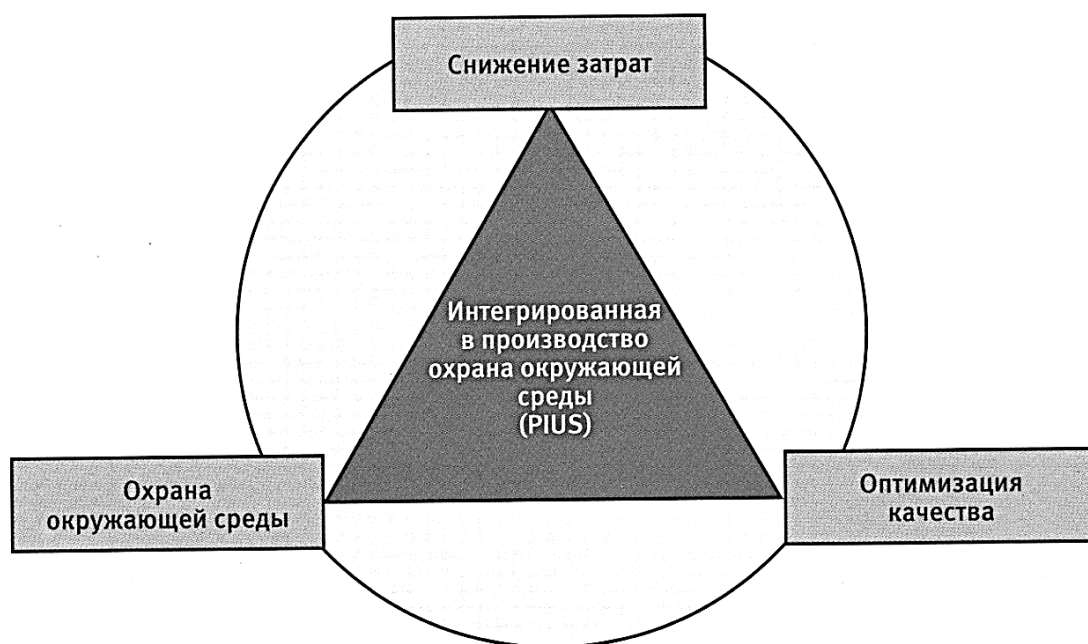


Рис. 2.2. Интегрированный принцип охраны окружающей среды

В табл. 2.1 противопоставляются дополнительная и интегрированная охрана окружающей среды. По этому сравнению видно, что способы охраны окружающей среды, применяемые в большинстве отраслей, даже в среднесрочной и долгосрочной перспективе нельзя отнести только к дополнительному или интегрированному виду, а следует комбинировать дополнительные и интегрированные мероприятия в зависимости от специфики производственной ситуации.

Таблица 2.1

Сравнение дополнительных и интегрированных мероприятий по охране окружающей среды

Показатель	Дополнительная охрана окружающей среды	Интегрированная охрана окружающей среды
Цели	Актуально низкие производственные затраты Мероприятия по охране окружающей среды с последующим действием	Низкие производственные затраты в течение длительного времени Экологически приемлемое производство

Исходное положение	Мероприятия осуществляются после производственного процесса Низкие собственные затраты на исследования, разработку и адаптацию Низкий технический риск (стандартными являются технологии обработки отходов в конце производственного процесса (end-of-pipe)) Секторально возможен перенос проблем, названных вредными веществами, в другие окружающие среды	Производственный процесс оптимизирован относительно потоков веществ и мероприятий, связанных с процессами и предприятием Высокие затраты на исследования и разработки Конкурентные преимущества благодаря продвижению инноваций, интегрированных в производство и продукцию, выходящие за пределы отраслей и сред Сбережение ресурсов Экономия затрат на утилизацию Экономия затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание
Преобразование	Понижение предельных значений выбросов ведет к возрастанию эксплуатационных расходов и, начиная с определенного уровня, связано с новыми инвестициями Небольшое дооснащение существующих сооружений	Отсутствие проблем при ужесточении предельных значений Уменьшение или предотвращение вредных воздействий на экологию
	Высокие капитальные затраты, независимые Возможны негативные воздействия на прирост показателей объема производства Дополнительные сооружения нуждаются в определенной минимальной загрузке и представляют собой, таким образом, препятствие для инноваций, ориентированных на процессы	Возможны негативные воздействия на производственное объединение Возможно нарушение функционирования производственных сооружений с обработкой отходов в конце производственного процесса (end-of-pipe) (например, в биологической обработке сточных вод) Технические и (или) технологические улучшения в контексте охраны окружающей среды, интегрированной в производство, не всегда возможны

1.1.1. Дополнительная охрана окружающей среды

Под дополнительной охраной окружающей среды понимаются все методы, которые применяются после завершения производственного процесса (отсюда второе название – после производственная охрана окружающей среды) с целью снизить воздействие выбросов на окружающую среду. Существуют и другие названия дополнительной охраны окружающей среды – end-of-pipe (методы, применяемые в конце производственного цикла), или вторичные меры.

В связи с мероприятиями, проводимыми по завершении производственного процесса, может произойти смешение различных потоков сточных вод. И тогда вместе с растущими требованиями к эффективности очистки непропорционально высоко поднимаются затраты и стоимость очистки. После производственные мероприятия всегда связаны с дополнительными инвестициями и производственными затратами и поэтому с точки зрения работы предприятия являются непродуктивными расходами. С другой стороны, дополнительные мероприятия имеют преимущество с точки зрения производства, поскольку на существующие производственные процессы они не влияют либо влияют незначительно.

Помимо экономических аспектов причинами для перехода от дополнительных мероприятий к мероприятиям, интегрированным в процессы и производство, также являются положения законодательства.

Интегрированные мероприятия по охране окружающей среды утверждены в водном праве, при этом разрешение на сброс сточных вод в водоем может быть выдано лишь в том случае, если содержание вредных веществ поддерживается на минимально возможном уровне, и, если в ходе производства применяются водосберегающие технологии.

В связи с этим технологии end-of-pipe все больше наталкиваются на границы экологической и экономической рациональности.

Требованием для получения разрешения является применение наилучших доступных технологий. Кроме того, данное требование выполняется, прежде всего, в том случае, если имеет место «развитие вторичной переработки и повторного использования веществ, произведенных и использованных различными способами, и, при необходимости, отходов».

Таким образом, интегрированные мероприятия находят все большее применение в промышленности, тем не менее они не дают возможности полностью отказаться от дополнительных мероприятий. Часто в промышленном производстве выбросы невозможно полностью предотвратить или утилизировать, а мероприятия, интегрированные в процессы и производство, не представляют собой экономичного решения. В этом случае подойдут технологии end-of-pipe, при помощи которых внутри производства выполняется такая предварительная обработка, что после нее можно осуществлять отведение сточных вод, например не прямой сброс сточных вод.

1.1.2. Интегрированная охрана окружающей среды

Под интегрированной охраной окружающей среды следует понимать все мероприятия, которые имеют целью предотвратить и уменьшить выбросы уже в процессе производства, а также сберечь ресурсы (рис. 2.3). Постановку задачи определяют ключевые понятия «предотвращение», «снижение» и «переработка», в связи с чем они также относятся к первичным, или предохранительным, мероприятиям по охране окружающей среды. Данная постановка задачи несколько лет усиленно обсуждается под ключевым названием sustainable development (устойчивое развитие) или как требование «устойчивого развития» и уже во многих отраслях давно относится к центральным задачам планирования производства и выпуска продукции. Интегрированные мероприятия часто требуют значительных инвестиций, но благодаря достигнутому с их помощью снижению расхода ресурсов (например, воды, энергии и исходного сырья) и объема выбросов дают экономию затрат. Таким образом, в среднесрочной и долгосрочной перспективе интегрированная охрана окружающей среды является экономической целью предпринимательской деятельности.

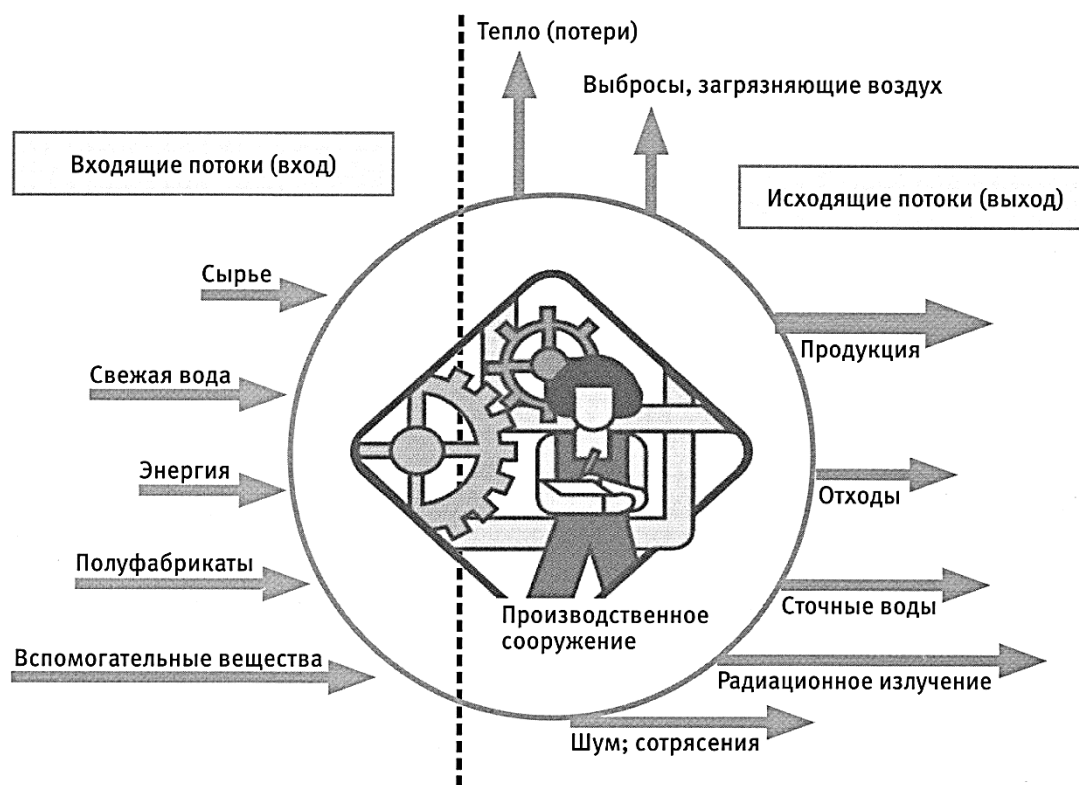


Рис. 2.3. Влияние на производство и производственный процесс

Невыгодным с точки зрения производства является то, что для интегрированной охраны окружающей среды часто необходимо значительное вмешательство в отдельные процессы и (или) производство.

Различают охрану окружающей среды, интегрированную в производство и интегрированную в процессы. Мероприятия, интегрированные в производство, предполагают, что при возможности неизбежные остатки веществ должны как исходные или вспомогательные вещества использоваться вновь в других процессах. При помощи мероприятий по охране окружающей среды, интегрированных в производство, выбросы должны быть обработаны так, чтобы они могли использоваться повторно.

Мероприятия по охране окружающей среды, интегрированные в процессы, предполагают, как правило, усовершенствование и изменение технологий в сторону уменьшения воздействия на окружающую среду, например разработка малоотходных или безотходных технологий. Поэтому охрана окружающей среды, интегрированная в процессы, имеет приоритет по сравнению с интегрированной в производство.

На практике полностью раздельное рассмотрение мероприятий по охране окружающей среды, интегрированных в процессы и производство, невозможно. Оптимальное решение для отдельного предприятия, как правило, будет представлять собой комбинацию мероприятий двух видов, адаптированную к специфике производства. Кроме того, успеха общей концепции зачастую можно достичь только путем согласованного взаимодействия мероприятий, интегрированных в процессы и производство.

Так, например, для успеха концепций рециркуляции определенных веществ, интегрированных в производство, необходим не только правильный выбор метода разделения и концентрации, но и интегрированный в процессы выбор соответственно устойчивого исходного сырья.

Охрана окружающей среды, интегрированная в производство

Основным принципом охраны окружающей среды, интегрированной в производство, является необходимость проводить защитные мероприятия перед мероприятиями по переработке и утилизации. При методах, интегрированных в производство, так же как при дополнительных методах, выбросы, обусловленные технологическими процессами, проходят дальнейшую обработку. Тем не менее предпринимается попытка провести обработку так, чтобы вещества можно было использовать повторно. Таким образом, цель заключается в том, чтобы значительно снизить процент производственных отходов и отводимых сточных вод, не пригодных для повторного использования. Отсюда ключевые пункты мероприятий, интегрированных в производство:

- многократное использование необходимой технологической, моечной и промывочной воды;
- работа по замкнутому циклу;
- рециркуляция веществ;
- переработка.

На практике для этого применяются дополнительные методы, но они не следуют за производственным процессом, а интегрированы в него. Они дополняют либо отдельные этапы производства, либо сферы производства и поэтому неидентичных технологиям end-of-pipe. Для

разделения, очистки или концентрации непреобразованных и захваченных исходных и вспомогательных веществ, а также побочных продуктов, растворителей и т. д., чтобы они могли снова использоваться в технологическом процессе, в качестве основных применяются:

- селективный метод разделения;
- метод концентрации;
- метод очистки;
- метод регенерации;
- мероприятия по замыканию циклов.

Это может быть тот же самый или другой процесс, как на том же самом, так и на другом предприятии или в другой отрасли.

Экономическая польза складывается:

- из использования производственных отходов;
- снижения затрат на утилизацию.

Важной предпосылкой технического и экономического успеха методов, интегрированных в производство, является их действие уже на отдельных этапах производства и потоках, так как при многократном увеличении затраты на рекуперацию или селективное разделение производственных отходов после соединения и смешения потоков веществ и сточных вод из отдельных этапов процесса или различных процессов будут неприемлемы по техническим или экономическим причинам.

Охрана окружающей среды, интегрированная в процессы (технология)

Мероприятия по охране окружающей среды, интегрированные в процессы, связаны, как правило, с адаптацией технологий в сторону уменьшения воздействия на экологию или с полным переходом на новые технологии и поэтому предполагают существенную переориентацию по сравнению с прошлой «философией end-of-pipe». Основные цели:

- минимизация потребления сырья и энергии;
- оптимизация выхода продуктов;
- воплощение методик и устройств, производящих минимальные выбросы или, предпочтительно, не производящих их.

С выполнением этих задач наиболее эффективно достигается общая цель экологичного производства. Связанная с этим экономия затрат позволяет ожидать более быстрой окупаемости и вместе с этим более экономичных решений.

С другой стороны, полный переход на новые технологии с учетом требований охраны окружающей среды, интегрированной в процессы, как правило, связан с большими временными и материальными затратами на исследования и разработки и при определенных обстоятельствах даже требует полной перестройки производственных сооружений. Поэтому охрану окружающей среды, интегрированную в процессы, следует рассматривать, скорее, как стратегию, действие которой направлено на среднесрочную и долгосрочную перспективы.

1.2. Основы планирования

Перед проведением внутрипроизводственных мероприятий по охране окружающей среды сначала необходимо рассмотреть ситуацию с производственными сточными водами. На основе этой оценки можно осуществлять планирование производственной концепции обработки сточных вод. Разработка концепции может проходить в несколько этапов, рис. 2.4.

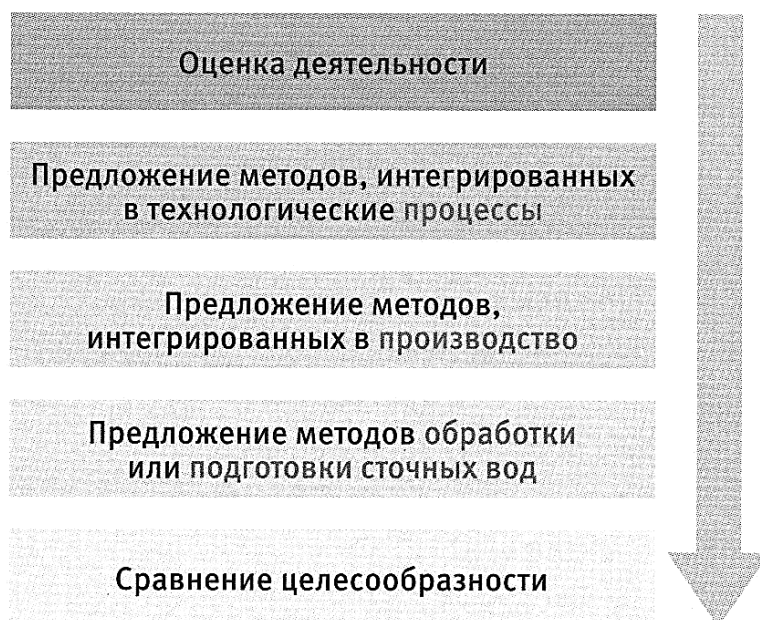


Рис. 2.4. Порядок действий при выборе внутрипроизводственных мероприятий по охране окружающей среды

Оценка деятельности

В водопотреблении ($\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{м}^3/\text{сут}$, $\text{м}^3/\text{год}$), в удельном объеме водопотребления учитываются:

- вид водоснабжения и водопотребления;
- питьевая вода;
- питательная вода для котлов;
- технологическая вода;
- остаток воды в продукте;
- испарение воды;
- циркуляция воды;
- объемы циркуляции воды и удаления ила.

На промышленных предприятиях в связи с большим количеством продукции и производственных технологий существует широкий спектр различных отдельных потоков сточных вод, за которыми в зависимости от отрасли промышленности часто уже закрепились определенные специфические, узкопрофессиональные названия (например, лютерная вода для обозначения остатка второй стадии переработки в процессе дистилляции). Указанные ниже отдельные потоки сточных вод представляют собой важнейшие источники сточных вод, причем каждый из этих потоков не обязательно образуется на предприятии:

- дождевые воды;
- сточные воды из санитарно-гигиенической и социальной отраслей;
- охлаждающая вода;
- сточные воды из внутрипроизводственного процесса водоподготовки;
- промышленные сточные воды;
- моечная и транспортно-моечная вода;
- соковая вода;
- конденсат сокового пара;
- сточные воды, образующиеся при очистке.

Представление отдельных потоков:

- по характеристикам потока ($\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{м}^3/\text{сут}$, $\text{м}^3/\text{год}$);
- по параметрам загрязнения (например, показатель pH, взвешенные вещества, ХПК, БПК₅, азот и фосфор) и их концентрации ($\text{г}/\text{м}^3$);
- по массе загрязняющих веществ ($\text{кг}/\text{ч}$, $\text{кг}/\text{сут}$, $\text{кг}/\text{год}$).

Представление вида, свойств, количества, места сброса и остатка жидкостей, ила или твердых веществ, сброс которых со сточными водами недопустим.

Представление существующих сооружений для отвода дождевых и сточных вод и обработки сточных вод (чертежи, технические описания, КПД).

Представление площади сбора дождевой воды и дренажной сети:

- раздельная система;
- общесплавная система или отведение дождевых вод, при необходимости – инфильтрация.

Представление возможной ситуации во время паводка:

- границы района затопления или
- уровень обратного подпора в сети каналов.

Представление утилизации вторсырья, отходов и ила:

- лимиты на отходы;
- разрешения о размещении.

Представление возможных зон санитарной охраны воды.

На рис. 2.5 изображена общая схема описания сооружений и технологических процессов, а также сбора данных.

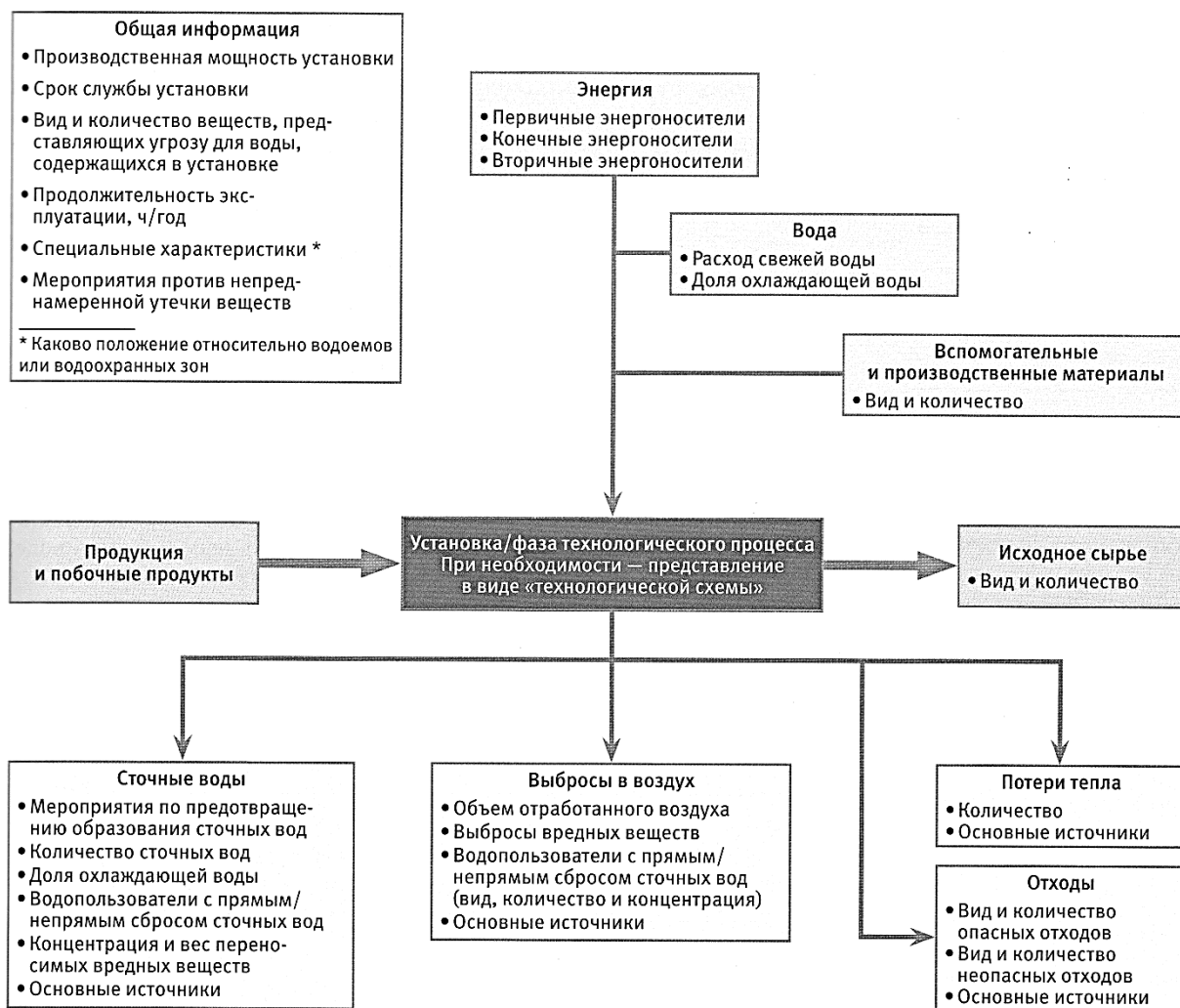


Рис. 2.5. Схема описания сооружений отдельных фаз технологического процесса и сбора данных

Дождевые воды

В зависимости от размера закрепленной площади дождевые воды периодически могут составлять большую часть объема сточных вод. Имеет смысл отличать незначительно загрязненную дождевую воду (например, с крыш цехов), которая отводится непосредственно в ливневую канализацию или водоем, от дождевой воды с производственных площадей (например, с места заправки транспортного средства с потерей продукта и загрязнением транспортного средства), которая должна отводиться после предварительной обработки или в канал для загрязненной воды.

Сточные воды из санитарно-гигиенической и социальной отраслей

Сточные воды из санитарно-гигиенической и социальной отраслей похожи на бытовые сточные воды и поэтому должны, как правило, собираться отдельно от промышленных сточных вод и отводиться прямо в коммунальную хозяйственно-бытовую канализацию. Но совместная внутризаводская обработка также возможна. Если на заводе имеется большая столовая, то от нее поток сточных вод должен рассматриваться отдельно.

В качестве нормы отведения сточных вод можно установить около 40-80 л на одного рабочего за одну смену, причем качество оборудования душевых, санузлов и нагрузка по загрязнениям на рабочем месте (требование использовать душевые) имеют решающее влияние.

Норма переносимых веществ на одного работника за одну смену может быть определена как 20-40 г БПК₅, 3-8 г N_{общ} и 0,8-1,6 г Р_{общ}.

Охлаждающая вода

Если требуется охлаждение и оно осуществляется водой, то следует различать проточную технологию (очень высокий расход воды) и циркуляционную технологию (концентрирование компонентов).

Принять общее для всех значение нормы расхода охлаждающей воды невозможно, поскольку потребность в охлаждении сильно отличается в различных отраслях промышленности. В градирне циркуляционного типа в качестве приблизительного значения следует отобрать из системы около 3-5% от используемого количества в зависимости от содержания солей в используемой воде, чтобы противодействовать концентрированию компонентов.

Если в градирне проточного типа можно исключить негерметичность, а также если в процессе охлаждения не используются химические добавки, то до повышения температуры состав сточных вод не изменяется. В градирне циркуляционного типа концентрирование компонентов происходит по причине испарения воды.

Сточные воды из внутрипроизводственного процесса водоподготовки могут образовываться при самостоятельном получении питьевой воды из артезианской воды или при умягчении, декарбонизации, опреснении воды. Компоненты определяются качеством исходной воды и применяемой технологии.

Потоки сточных вод из производства

Промышленные сточные воды – это широкое понятие, объединяющее множество различных отдельных потоков сточных вод. Более точные названия можно привести лишь в сочетании с названием отрасли промышленности. Указанные ниже потоки сточных вод рассматриваются либо отдельно, либо как часть промышленных сточных вод.

Во многих отраслях пищевой промышленности моечная вода используется одновременно и как транспортирующая вода для транспортировки продуктов.

Стоковой водой называется вода, содержащаяся в таком транспортируемом продукте, как картофель, которая удаляется, например, при производстве картофельного крахмала.

Конденсатом вторичного пара называют сточные воды, конденсируемые после выпарной или сушильной установки.

Очистные сточные воды образуются при очистке продуктовых линий (трубопроводов, резервуаров), очистке производственных помещений, а также транспортной тары (например, при мытье бутылок).

При помощи данных об объемах водопотребления или образования сточных вод, полученных при проведении оценки, можно рассчитать удельный объем водопотребления или образования сточных вод на единицу продукции:

$$Q_{\text{уд}} = \frac{Q}{P}, \quad (2.1)$$

где $Q_{\text{уд}}$ – удельный объем водопотребления, м³/кг;

Q – объем водопотребления, м³/сут;

P – количество продукции (например), кг/сут.

Норма отведения сточных вод либо измеряется непосредственно, либо определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{ст.уд}} = \frac{Q - Q_{\text{впр}} - Q_{\text{испар}} - Q_{\text{капл}} - Q_{\text{из пр}}}{P}, \quad (2.2)$$

где $Q_{\text{ст.уд}}$ – удельная норма отведения сточных вод, м³/кг;

Q – объем водопотребления, м³/сут;

P – количество продукции (например), кг/сут;

$Q_{\text{впр}}$ – количество воды, которое идет в продукт, м³/сут;

$Q_{\text{испар}}$ – потери через испарение, м³/сут;

$Q_{\text{капл}}$ – потери через капле образование, м³/сут;

$Q_{\text{из пр}}$ – объем воды, который выходит из продукта, м³/сут.

Кратко указываются самые важные компоненты сточных вод, является их значение для поддержания характеристик производственных помещений и влияние на мероприятия по обработке сточных вод.

Температура

Прежде всего температура оказывает влияние на выбор материалов. Высокие температуры вредны для определенных синтетических материалов и могут разрушать уплотнительные прокладки и т. д. По этой причине необходимо ограничивать температуру при отведении сточных вод в коммунальную канализацию. Обычно на входе в канализацию требуется соблюдение температуры <35 °С. В связи с коррозионным воздействием на стальные элементы помимо содержания хлорида также большое значение имеет содержание кислорода. Кроме того, при высоких температурах летучие вещества легче выделяются из сточных вод.

Повышенная температура оказывает положительное влияние на биологическую очистку сточных вод, поскольку вместе с возрастанием температуры ускоряются обменные процессы микроорганизмов. Слишком высокие и сильно меняющиеся температуры, напротив, имеют негативный эффект. При аэробной очистке сточных вод вместе с возрастанием температуры снижается интенсивность передачи кислорода аэрационных систем.

Показатель рН

Показатель рН, так же, как и температура, оказывает влияние на выбор материалов и активность микроорганизмов. Во избежание повреждений канализации и присоединенной к ней очистной установки, как правило, отведение сточных вод производится с показателем рН в диапазоне 6,5÷10.

Относительно нейтральное значение рН создает лучшие краевые условия для многих микроорганизмов. Анаэробные методы обработки сточных вод особенно чувствительны к колебаниям показателя рН.

Химическая нейтрализация зачастую не требуется, если существует биологическая стадия очистки, поскольку тогда органические

кислоты расщепляются биологическим путем, а щелочи нейтрализуются CO_2 , образующимся при биологическом расщеплении. Это недействительно для неорганических кислот.

Механический состав веществ оказывает большое влияние на содержание органических веществ. Различают осаждаемые вещества, которые не включают взвешенные вещества и плавающий мусор; вещества, которые можно отфильтровать, которые улавливаются при помощи мембранного фильтра (0,45 мм); сухой остаток, который включает все частицы и растворенные вещества, образовавшиеся после испарения воды.

Органические вещества (углерод)

Органические вещества представляют собой основной источник загрязнения на большинстве предприятий пищевой промышленности. Во избежание прямого потребления кислорода в последующем водоеме их необходимо удалить в максимально возможной степени. Существует множество суммарных параметров, чтобы получить данные о содержании органического материала. Тем не менее данные суммарные параметры не дают информации о виде органических веществ.

Химическое потребление кислорода (ХПК) все больше рассматривается как самый важный параметр, поскольку в противоположность БПК₅ (биологическому потреблению кислорода за пять дней) он дает быстрые результаты и при проведении кюветных тестов может быть определен с малыми затратами.

Соотношение ХПК/БПК₅ – это важный показатель для оценки биологической способности сточных вод к расщеплению. Если это соотношение меньше 2, то можно говорить о сточных водах, имеющих хорошую способность к биологическому расщеплению. Рефрактерные органические вещества – это вещества, которые не могут быть эффективно удалены путем биологического расщепления.

Чтобы сравнить загрязненность сточных вод предприятия со сточными водами муниципального образования или другого промышленного предприятия, применяется термин «эквивалентное число жителей» (ЭЖ). При этом масса переносимых загрязняющих веществ одного предприятия соотносится с соответствующей удельной массой загрязняющих веществ, приходящейся на одного жителя, г/(чел·сут). В табл. 2.2 приводятся значения удельного веса переносимых загрязняющих веществ на душу населения.

Пример расчета 2.1

- Предприятие сбрасывает 800 м³ сточных вод в сутки;
- Средняя концентрация БПК: 700 г/ м³ БПК;
- Вес переносимых загрязняющих веществ БПК: $V_{\text{сут}} = 800 \cdot 700 / 1000 = 560 \text{ кг/сут}$
- Эквивалентное число жителей относительно БПК: $560 \cdot 1000 / 60 = 9333 \text{ эж.}$

Таблица 2.2

Значения веса переносимых загрязняющих веществ на душу населения, г/(чел.·сут), которые не превышаются на протяжении 85% дней

БПК ₅	60
ХПК	120
Взвешенные вещества, поддающиеся фильтрации (сухие вещества (CB/TS))	70
Полный азот по Кьельдалю (ПАК/TKN)	11
<i>P</i>	1,8

Значения удельной массы переносимых загрязняющих веществ на душу населения используются также в качестве параметров, влияющих на стоимость, при введении налогов на сточные воды, зависящих от степени загрязненности, или доплат за сильное загрязнение для водопользователей с непрямым сбросом сточных вод.

Питательные элементы, N, P

Поскольку избыток соединений азота и фосфатов в водоемах может стать причиной массового роста водорослей и водных растений и вместе с этим проблем эвтрофикации. В регионах, восприимчивых к этим веществам, необходимо проводить масштабное удаление азота и фосфора перед сбросом сточных вод в водоем.

Для биологического удаления азота и фосфора необходимо наличие достаточного количества углеродных соединений, способных к расщеплению. Поэтому важное значение имеет не только концентрация этих веществ в промышленных сточных водах, но и соотношение с БПК₅ или ХПК.

В некоторых промышленных сточных водах содержание азота и (или) фосфора настолько мало, что для биологической очистки необходимо добавлять азот в форме мочевины и (или) фосфор в форме фосфорной кислоты, чтобы достичь минимального соотношения питательных веществ, необходимого для роста микроорганизмов.

Опасные вещества – это широкое понятие, объединяющее вещества или группы веществ, содержащиеся в сточных водах, которые должны оцениваться как опасные по причине их токсичности, длительного периода распада, способности к концентрации или их канцерогенного, тератогенного или мутагенного воздействия (см. «Вредные вещества, приоритетные вещества, опасные вещества»).

Прежде всего для промышленных сточных вод большое значение имеют:

- адсорбируемые органические галогенные соединения АОГ, экстрагируемые органические галогенные соединения (ЭОГ);
- хлорированные углеводороды (ХУВ) и галогенированные углеводороды (ГУВ);
- углеводороды (например, бензол, фенол и другие производные);
- тяжелые металлы, в частности ртуть, кадмий, хром, медь, никель, цинк;
- цианиды.

Оценка того, является ли вещество токсичным или опасным (см. определение выше), – это в первую очередь вопрос концентрации. Так, многие тяжелые металлы жизненно необходимы в качестве микроэлементов, но опасны в более высоких концентрациях.

По количественному содержанию примесей производственные сточные воды делятся на загрязненные и условно чистые. К условно чистым относятся воды, имеющие такой же состав, как и исходная вода, но отличающиеся от нее температурой. В зависимости от состава примесей и специфичности их действия на водоемы сточные воды делятся на следующие группы:

1. Воды, содержащие неорганические примеси, не обладающие токсичным действием (шлак, песок, частицы пустой породы и др.); для водоема часто особой опасности эти воды не представляют, но способствуют образованию донных отложений, снижению прозрачности воды;

2. Воды, содержащие неорганические примеси со специфическими токсичными свойствами (кислоты, щелочи, соли тяжелых металлов, гидроксиды металлов);

3. Воды, содержащие нетоксичные органические вещества, например, сточные воды предприятий пищевой промышленности; при попадании их в водоем резко возрастает окисляемость, БПК, снижается количество растворенного кислорода;

4. Воды, содержащие органические вещества со специфическими токсичными свойствами (фенолы, эфиры, красители, углеводороды и т.д.), например, сточные воды предприятий органического синтеза по производству полимеров и синтетических волокон и др.

По другой классификации сточные воды промышленных предприятий подразделяются на 3 вида:

1. Воды, образующиеся в результате непосредственного использования воды в технологических операциях в качестве реагента, растворителя и т.д.;

2. Воды от вспомогательных операций и процессов (они, как правило, не загрязнены, но имеют повышенную температуру);

3. Воды от подсобных и обслуживающих цехов (они могут быть загрязнены различными веществами и в разной степени).

Вещества, способствующие коррозии

Оценка того, какие вещества и в каких концентрациях оказывают действие, способствующее коррозии, зависит не только от веществ, но и, прежде всего, от выбора материалов.

При использовании материалов с цементным связующим различают три вида коррозии: расширяющее действие сульфатов; растворяющее действие кислот и растворяющее действие обменных реакций в кристаллической решетке, например, с хлоридом, аммонием, магнием. Достаточное сопротивление бетона присутствует в том случае, если при хорошем качестве бетона и длительной нагрузке не превышаются следующие значения: $SO_4 < 600$ мг/л (для бетона $HS < 3000$ мг/л); неорганические и органические кислоты $pH > 6,5$; угольная кислота, растворяющая известь, < 15 мг/л; магний < 1000 мг/л; аммонийный азот < 300 мг/л.

Коррозия металлов – это электрохимический процесс, при котором должна присутствовать проводящая жидкость, например вода.

Проблему для металлических материалов представляет, прежде всего, высокое содержание хлоридов, которое может стать причиной коррозии даже при использовании высококачественной стали. Указать общее для всех значение концентрации хлоридов невозможно, поскольку опасность коррозии зависит от множества факторов, таких как качество материала, окислительно-восстановительный потенциал, скорость потока, температура, качество переработки и т. д.

Синтетические материалы в широком смысле рассматриваются как материалы, устойчивые к коррозии, тем не менее некоторые синтетические материалы восприимчивы к действию кислот, щелочей, растворителей и масел, вследствие чего для агрессивных сред необходимо принимать во внимание таблицы стойкости и указания производителя.

Производственное сырье и вспомогательные вещества

На промышленных предприятиях применяется множество красящих веществ, средств для очистки, дезинфекции, смазки и т. д. Многие из этих веществ в больших концентрациях оказывают ингибирующее или токсичное влияние на биологические процессы очистки или содержат вещества, например АОГ, которые невозможно удалить на станции очистки сточных вод.

И хотя для промышленных предприятий руководящим принципом считается поддержание постоянного режима производства (например, на предприятиях пищевой промышленности нельзя допустить инфицирования), примеры из практики показывают, что путем целенаправленного выбора подходящих мероприятий, систем контроля расхода или использования особых веществ можно добиться эффективного и экономически выгодного улучшения очистки сточных вод.

Удельный вес переносимых загрязняющих веществ

На основании концентраций загрязняющих веществ, объемов сточных вод и количества произведенной продукции можно рассчитать удельную массу переносимых загрязняющих веществ:

$$V_{уд} = \frac{Q_{ст} C}{P} \quad (2.3)$$

где $V_{уд}$ – удельная масса переносимых загрязняющих веществ (например), кг ХПК/кг;

$Q_{ст}$ – объем отведения сточных вод, м³/сут;

C – концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, кг/м³;
 P – количество продукции (например), кг/сут.

Количество воды и сточных вод, а также вес переносимых загрязняющих веществ представляют собой необходимые базовые данные для дальнейших расчетов и дают возможность сравнить их со значениями, указанными в специальной литературе.

1.2.1. Методы, интегрированные в технологические процессы

На основании оценки на втором этапе выясняют возможности применения мероприятий, интегрированных в процессы.

Переход на новые технологии производства включает:

- снижение количества применяемого производственного сырья и вспомогательных веществ, а также средств для очистки и растворителей (все отрасли);
- замену нерасщепляемых или плохо расщепляемых веществ на вещества, способные к биологическому расщеплению (все отрасли);
- замену хлорсодержащих окислителей на H_2O_2 или озон (например, металлообрабатывающая промышленность, отделочное производство текстильной промышленности);
- применение метода сухой очистки (все отрасли).

Оптимизация производственного процесса предполагает предотвращение потерь продукции и потерь таких вспомогательных веществ и исходного сырья, как, например, жиры, масла, щелочи, кислоты, путем оптимизации производственного процесса (все отрасли).

Реализация вышеперечисленных мероприятий позволяет достичь следующих целей предпринимательской деятельности:

- сокращение расхода сырья и энергии;
- рост выхода и качества продукции;
- снижение количества отходов и сточных вод, подлежащих утилизации.

1.2.2. Методы, интегрированные в производство

В то время как путем изменения технологий производства могут снизиться как объемы потребления воды и отведения сточных вод, так и количество переносимого шлама, интегрированные в производство мероприятия, направленные на многократное использование воды, отражаются сначала только на снижении объемов водопотребления и отведения сточных вод. Если при этом вода многократно используется без какой-либо промежуточной обработки, то это сразу ведет к повышению концентрации загрязнения.

Технологии рекуперации веществ, как правило, способствуют только снижению концентрации сточных вод или количества переносимых ими загрязняющих веществ. Если сточные воды все же проходят обработку и повторно используются в производстве, то это ведет к снижению как объемов сточных вод, так и концентрации веществ, входящих в их состав. Далее приводится описание мероприятий по охране окружающей среды, интегрированных в производство.

Многократное использование воды

Многократное использование воды часто применяется в случае, когда на процесс очистки или промывки готовой продукции требуется большое количество воды. Сферами применения являются, например; металлообрабатывающая или текстильная промышленность.

На рис. 2.6 представлен процесс промывки без многократного использования воды. Здесь загрязненный продукт очищается так называемыми однократными промывками. В зависимости от требуемой степени чистоты продукции необходимо провести последовательно несколько однократных промывок. Для этих процессов требуется высокий расход воды.

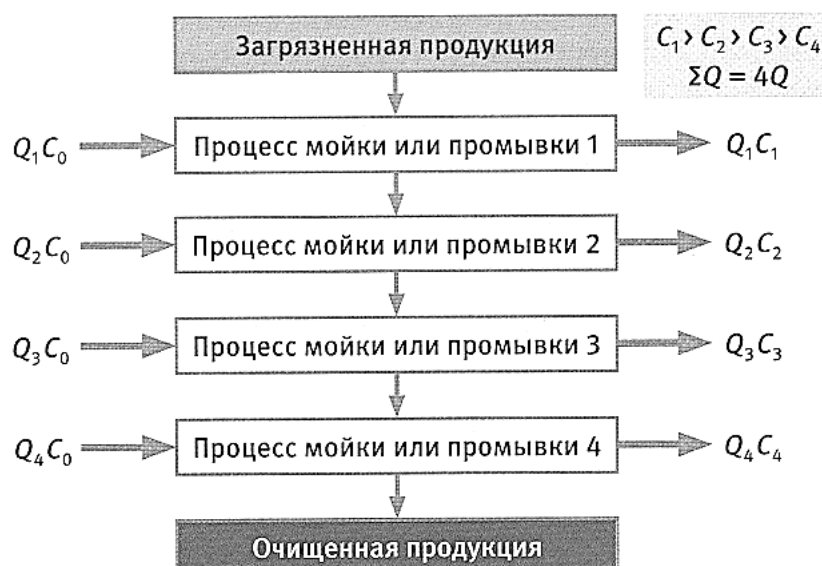


Рис. 2.6. Процесс промывки без многократного использования воды

Путем многократной поэтапной промывки (рис. 2.7) и противоточной или каскадной промывки (рис. 2.8) можно значительно снизить количество сточных вод. При этом поток промывочной воды течет через несколько промывных ванн и против хода продукции таким образом, что сначала промывка осуществляется в самой концентрированной воде и в последнюю очередь – в самой чистой. В приведенном примере процесса промывки в четыре этапа можно снизить объем отведения сточных вод или водопотребления при помощи многократной поэтапной промывки вдвое по сравнению с процессом без многократного использования воды, а при помощи противоточной промывки – даже вчетверо. Тем не менее применение противоточной промывки ограничивается в том случае, если разности концентраций сточных вод из отдельных этапов C_1 и C_2 , или C_2 и C_3 , или C_3 и C_4 очень малы.

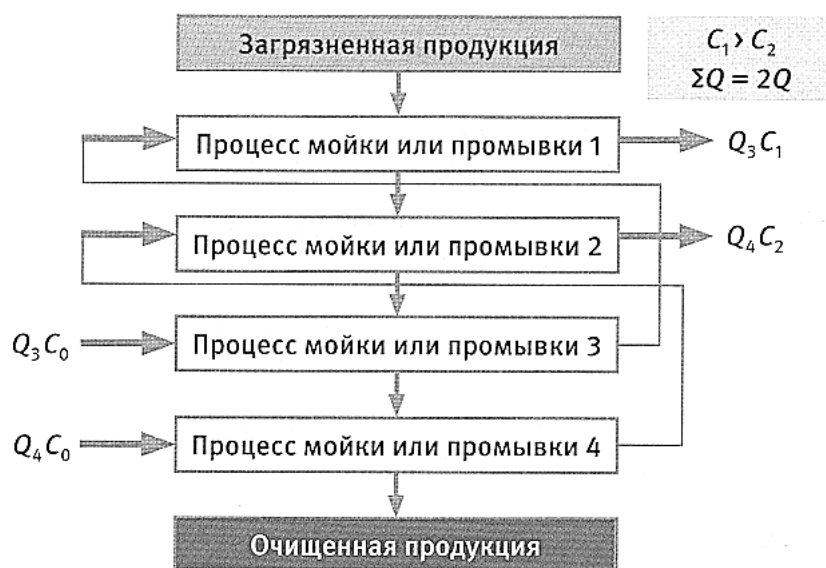


Рис. 2.7. Многократная промывка в четыре этапа

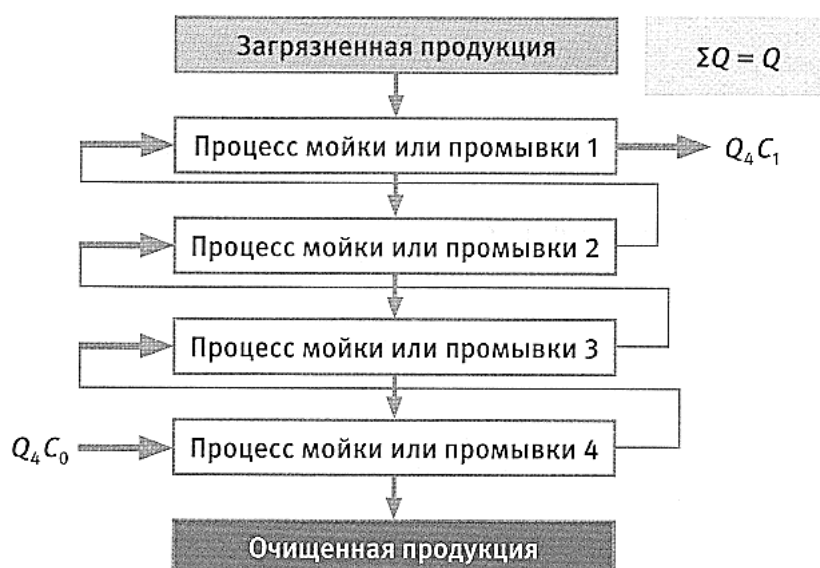


Рис. 2.8. Каскадная или противоточная промывка

Рециркуляция воды

При рециркуляции воды необходимо учитывать, что в связи с возникающими в процессе выбросами происходит концентрирование компонентов в оборотной воде и одновременно в технологической воде. Вследствие этого может быть нарушен производственный процесс или не достигнуто желаемое качество продукции. Поэтому необходимо знать допустимые в технической воде концентрации веществ, оказывающих влияние на процесс производства и качество продукции.

При этом значение могут иметь как химические, так и микробиологические параметры. Чтобы предотвратить накопление веществ в потоке оборотной воды, для соответствующих компонентов воды необходимо включить в процесс очистную установку для очистки стока перед возвратом воды в технологический процесс.

Поскольку очистные установки имеют КПД в отношении удаления веществ меньше 100% и при производстве возможен расход или потеря воды, то полностью замкнутая рециркуляция невозможна. Поэтому в дальнейшем необходимо подавать свежую воду либо для «разбавления», либо для компенсации потерь.

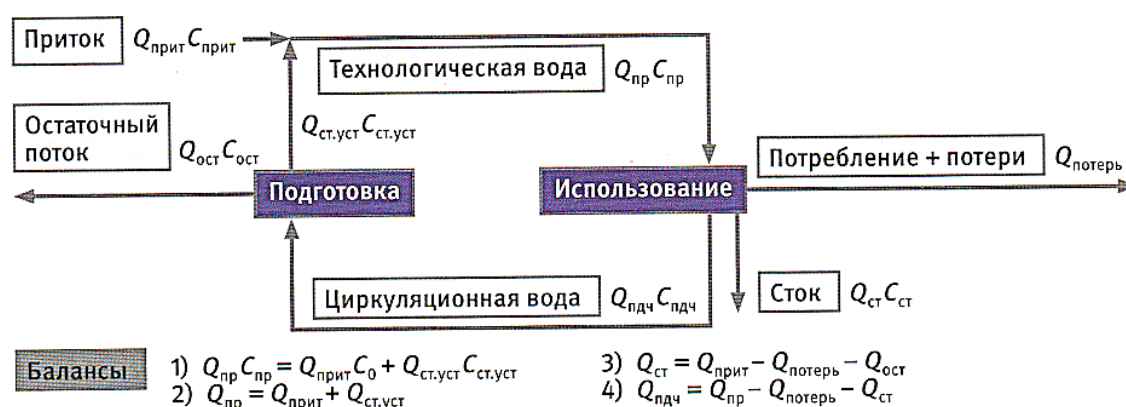


Рис. 2.9. Принцип рециркуляции воды в производстве

На рис. 2.9 представлен принцип рециркуляции с соответствующими объемными потоками и концентрациями.

Можно составить следующие балансовые уравнения для потоков технической воды и сточных вод:

$$Q_{\text{пр}} C_{\text{пр}} = Q_{\text{прит}} C_{\text{прит}} + Q_{\text{ст.уст}} C_{\text{ст.уст}}, \quad (2.4)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – расход технической воды, необходимый для производства, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$C_{\text{пр}}$ – концентрация веществ в технической воде, необходимая для производства, $\text{мг}/\text{л}$;

$Q_{\text{прит}}$ – расход свежей воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$C_{\text{прит}}$ – концентрация веществ в свежей воде, $\text{мг}/\text{л}$;

$Q_{\text{ст.уст}}$ – расход в стоке очистной установки, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$C_{\text{ст.уст}}$ – концентрация веществ в стоке очистной установки, $\text{мг}/\text{л}$;

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{прит}} + Q_{\text{ст.уст}}, \quad (2.5)$$

$$Q_{\text{ст}} = Q_{\text{прит}} - Q_{\text{потерь}} - Q_{\text{ост}}, \quad (2.6)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{\text{потерь}}$ – расход из потерь и потребления при производстве, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{\text{ост}}$ – остаточный расход из очистной установки (например, концентрат избытка ила), $\text{м}^3/\text{ч}$;

$$Q_{\text{пдч}} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{потерь}} - Q_{\text{ст}}, \quad (2.7)$$

где $Q_{\text{пдч}}$ – расход на подаче в очистную установку, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Типичная постановка задачи для проектировщиков заключается в том, чтобы определить необходимый объем подачи свежей воды и возможность рециркуляции. Обычно расход $Q_{\text{пр}}$ и качество технической воды $C_{\text{ст}}$ заданы спецификой производства.

Концентрация $C_{\text{прит}}$ свежей воды может быть определена при помощи анализа. Если строитель водоочистного сооружения посредством применяемой технологии гарантирует $C_{\text{ст.уст}}$ в стоке очистной установки, и в связи с выбранной технологией очистки можно не учитывать значение остаточного расхода $Q_{\text{ост}}$, то при помощи приведенных выше уравнений можно рассчитать необходимый расход свежей воды ($C_{\text{прит}}$) и расход в стоке очистной установки ($Q_{\text{ст.уст}}$).

Формулы (2.4) и (2.5) в результате дают

$$Q_{\text{ст.уст}} = Q_{\text{прит}} \frac{C_{\text{прит}} - C_{\text{пр}}}{C_{\text{пр}} - C_{\text{ст.уст}}}. \quad (2.8)$$

Объем свежей воды рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{прит}} = Q_{\text{пр}} \left(\frac{C_{\text{пр}} - C_{\text{ст.уст}}}{C_{\text{прит}} - C_{\text{ст.уст}}} \right). \quad (2.9)$$

Расход сточных вод зависит от величины потерь при производстве и испарении.

При этом могут иметь место следующие случаи:

- первый случай: $Q_{\text{прит}} = Q_{\text{потерь}} \rightarrow Q_{\text{ст}} = 0 \rightarrow$ предприятие, не образующее сточные воды;

- второй случай: $Q_{\text{потерь}} < Q_{\text{прит}} \rightarrow Q_{\text{ст}} > 0 \rightarrow$ отведение сточных вод.

Максимальное количество воды, применяемое для рециркуляции, определяется величиной потребления и потерь. Требуемое качество технической воды должно достигаться путем очистки.

Пример расчета 2.2 (рециркуляция воды)

На промышленном предприятии расход воды для производства продукции составляет 60 м³/час (технологическая вода). Из них потребление и потери при производстве составляют 40 м³/час, сточные воды не должны образовываться. Концентрация вещества ХУ для производственного процесса должна составлять не более 10 мг/л и может быть снижена в процессе очистки до 20мг/л. В дальнейшем действуют следующие рамочные условия:

- в связи с выбранной технологией остаточный объёмный поток очистной установки можно не учитывать;
- вещество ХУ полностью растворилось, и дальнейших процессов превращения вне очистки не происходит.

Необходимо рассчитать количество свежей воды, которое требуется подать, и концентрацию веществ в свежей воде, которую следует соблюдать.

Решение:

$$Q_{\text{пр}} C_{\text{пр}} = Q_{\text{прит}} Q_{\text{прит}} + Q_{\text{ст.уст}} C_{\text{ст.уст}}.$$

Расчет количества воды

$$Q_{\text{ст.уст}} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{потерь}} - Q_{\text{ст}}(-Q_{\text{ост}}) = 60\text{м}^3/\text{ч} - 40\text{м}^3/\text{ч} - 0 = 20\text{м}^3/\text{ч},$$

$$Q_{\text{прит}} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{ст.уст}} = 60\text{м}^3/\text{ч} - 40\text{м}^3/\text{ч} = 20\text{м}^3/\text{ч},$$

$$60 \text{ м}^3/\text{ч} * 10 \text{ мг/л} = 40\text{м}^3/\text{ч} * C_{\text{прит}} + 20 \text{ м}^3/\text{час} * 20 \text{ мг/л} ;$$

$$C_{\text{прит}} \leq 5\text{мг/л}.$$

Технологии рекуперации веществ

Технологии многократного использования и рециркуляции могут применяться не только для сточных вод, но и для охлаждающей воды, моечных щелоков и кислот (например, в пищевой промышленности и

производстве напитков), для растворителей (например, в металлообрабатывающей промышленности, отделочном производстве текстильной промышленности), для химикатов или прочих вспомогательных веществ. Поскольку в этих случаях рассматриваемые химикаты, как правило, по крайней мере частично, высвобождаются из воды, т.е. должны быть сконцентрированы и (или) очищены, здесь речь идет о рекуперации веществ.

Например, технологии рекуперации веществ применяются в следующих процессах:

- рекуперация шлихты (отделочное производство текстильной промышленности);
- рекуперация лака (автомобильная промышленность);
- рекуперация хрома (кожевенная промышленность);
- рекуперация масла (различные отрасли);
- получение белка и пектина (пищевая промышленность);
- получение кормовых средств (барда и выжимки из производства напитков).

1.2.3. Предварительная обработка сточных вод

Если целью обработки сточных вод являются, например:

- многократное использование;
- рециркуляция;
- рекуперация веществ;
- предварительная обработка сточных вод;
- прямой сброс сточных вод;
- непрямой сброс сточных вод, а также если определены соответствующие требования к качеству воды, то можно выбрать способ обработки.

Выбор возможных компонентов процесса отражен в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Технология обработки сточных вод

Предварительная обработка	Выравнивание количества
	Выравнивание концентрации
	Нейтрализация
Разделение веществ, механически/ физически	Решетки сита
	Седиментация
	Центрифугирование
	Сепарация плавающих веществ
	Флотация
	Фильтрация
Разделение веществ, химически/физически	Адсорбция
	Осаждение/флокуляция
	Выпаривание
	Ионный обмен
	Экстракция
	Отгонка
Превращение вещества биологическое	Аэробно-анаэробно
	Взвешенные, зафиксированные на носителе
Превращение веществ химическое	Окисление, фотоокисление
	Восстановление
Превращение веществ электрохимическое	Электролиз

1.2.4. Сравнительный анализ

Чтобы разработать экономически оптимальную концепцию обработки сточных вод с учетом индивидуальных особенностей предприятия, необходимо провести сравнение целесообразности. Прежде всего, оно служит для выбора одной или нескольких альтернативных технологий или общей проверки рентабельности.

Качественный предварительный подбор нескольких доступных технологий в сфере обработки сточных вод можно осуществить по следующим критериям:

- какие этапы предварительной обработки необходимы перед этапом основной обработки;
- потребность в инвестициях;

- остаточное количество загрязняющих веществ;
 - потребность в энергии;
 - потребность в химикатах;
- занимаемая площадь;
- рекомендации, подтверждающие опыт работы с аналогичными сточными водами;
 - безопасность технологии.

Рентабельность мероприятий согласно строгой экономической целевой установке на эффективность оценивается при помощи расчета эффективности капиталовложений:

- статическое сравнение затрат;
- динамическое сравнение затрат;
- метод полного финансового планирования;
- анализ эффективности затрат.

Для производственно-экономического расчета рентабельности капиталовложений можно применить анализ эффективности затрат, при котором рассматривается общая эффективность мероприятия. В методику расчета входят экономические целевые потери (=затраты) и целевые прибыли (=эффективность).

В рамках затрат рассчитывают объем инвестиций и годовых производственных затрат. К прибылям, напротив, можно отнести средства, сэкономленные за счет пошлин за водопотребление и отведение сточных вод или налогов и сборов за сброс сточных вод, а также экономии энергии, возможно, за счет производства энергии и прибыли от рекуперации веществ.

Сама оценка производится в денежных единицах. В конце подводятся итоги оценки по одному показателю (например, по капитализированной экономии затрат). Факторы, которые невозможно учесть в аналитическом методе расчетов, приводятся в вербальной аргументированной форме для принятия решения. Сюда входят, например, такие критерии оценки, как будущая ситуация с утилизацией отходов или внутризаводские ноу-хау для рассмотренных мероприятий.

Кроме того, в рамках общей концепции также должны учитываться возможные воздействия на коммунальную очистную установку.

Затраты на производственную охрану окружающей среды

На рис. 2.10 представлен обзор затрат.

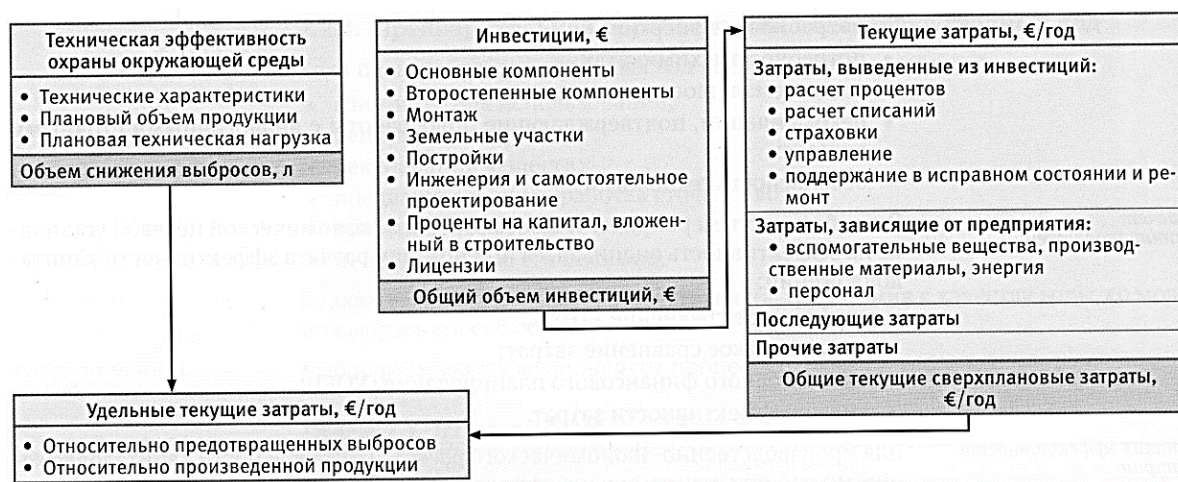


Рис. 2.10. Обзор затрат на производственные мероприятия по охране окружающей среды

В промышленном секторе предпочтение часто отдается той технологии, которая имеет высокие инвестиции в пользу низких производственных расходов.

В то же время часто дается установка на то, что задействованные инвестиции должны быть выплачены не позднее чем через пять лет (return of investment).

Затраты на охрану окружающей среды объединены в следующей формуле:

$$G = \sum_j a_j (I + \Delta I_j) + \sum_i m_i p_i + A p + S + F - E \quad (2.10)$$

где G – общие годовые затраты, руб./год; I – инвестиции, руб.; a_j – процентная ставка для определения затрат, выведенных из инвестиций, % или 1/год;

ΔI_j – добавление и (или) сокращение инвестиций I при определении вида затрат j (например, сокращение инвестиций при определении списаний со счета), руб.;

m_i – технически потребляемое количество сырья, ед. изм./год;

p_i – расчетная цена, относящаяся к потребляемому количеству, руб./ед. изм.; A – потребность в обслуживающем персонале, количество занятого персонала; P – затраты на персонал, руб./на

работника; S – прочие затраты, руб./год; F – последующие затраты, руб./год; E – возможные доходы в результате продажи, приемки вторичного сырья, руб./год.

Вопросы для самоконтроля

1. Схемы канализации и их связь с водоотводящими системами канализации на промышленных предприятиях.
2. Отличия общесплавной и раздельной систем канализации.
3. Условия выпуска производственных сточных вод в городскую канализацию.
4. Методы определения необходимой степени очистки производственных сточных вод.
5. Расчет максимальной температуры спускаемых сточных вод.
6. Расчет допустимого состава сточных вод по концентрации растворенных вредных веществ.
7. Основная схема механической очистки производственных сточных вод.
8. Конструкции решеток и песколовок на начальных этапах очистки производственных сточных вод.
9. Назначение усреднителей в системе очистки производственных сточных вод, принцип действия.
10. Виды отстойников, их назначение, конструкции и принцип действия.
11. Виды осветлителей, их назначение, конструкции и принцип действия.
12. Нефте- и смоло-ловушки, их назначение, конструкции и принцип действия.
13. Типы гидроциклонов, их назначение, конструкции и принцип действия.
14. Центрифуги, их назначение, конструкции и принцип действия.
15. Фильтры, их назначение, конструкции.
16. Принцип работы барабанного фильтра.

17. Фильтры с зернистой загрузкой, их назначение, конструкции и принцип действия.
18. Основные этапы химической очистки сточных вод.
19. Нейтрализация, способы нейтрализации сточных вод.
20. Нейтрализаторы, типы нейтрализаторов.
21. Окислительные методы очистки сточных вод.
22. Принцип работы установки окисления кислородом.
23. Озонирование, принцип работы установки озонирования производственных сточных вод.
24. Магнитные фильтры, их назначение, конструкции и принцип действия.

Глава 3. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

В данной главе наряду с выравниванием количества и концентрации представлены чисто механико-физические методы отделения нерастворенных веществ, включая растворимые высокомолекулярные/низкомолекулярные вещества.

В этих методах различаются, по существу, следующие процессы.

- *Осаждение, флотация*, отделение плавающих примесей, центрифугирование. Отделение осуществляется вследствие отличия плотности нерастворенных веществ от плотности воды.
- *Фильтрация (сороудерживающие решетки, сита, фильтры, мембраны, обратный осмос)*. Отделение осуществляется вследствие различия величин веществ по сравнению с водой посредством разницы давлений и соответствующего фильтрующего вещества.
- *Выпаривание, высушивание, концентрирование вымораживанием*. Разделение осуществляется вследствие различных агрегатных состояний.

С возрастанием технических затрат соответственно увеличиваются расходы на методы разделения.

В промышленном производстве часто возникают обусловленные производственными технологиями значительные отклонения от нормы количества сточных вод и концентрации загрязнений в них. Это усложняет, независимо от метода очистки, оптимальную эксплуатацию устройств подготовки и, следовательно, промышленную очистку сточных вод.

Кроме того, при пиковых значениях количества или концентрации могут быть превышены предельные значения для сброса, например, по местным нормам. При определенных обстоятельствах это может привести к повышению налога на сброс сточных вод или даже к отзыву разрешения на сброс вод. С помощью смесительных и уравнивательных резервуаров можно снизить остроту этих проблем или устранить их.

Выравнивание количества

При помощи контролируемого, т. е. равномерного, стока из накопительного резервуара можно выровнять сильно колеблющийся объемный поток сточных вод (рис. 3.1). Контролируемости стока можно

добиться при помощи насоса, или встроенного дросселя. Поэтому накопительный резервуар либо резервуар для выравнивания количества (рис. 3.2) выполнен так, что неравномерный приток сточных вод может задерживаться в резервуаре на колеблющемся уровне воды.

Расчет параметров резервуара для выравнивания количества вод может быть упрощенно представлен графически. Сначала наносятся суммарные графики притока в резервуар и оттока из него в зависимости от времени, рис. 3.3. Как правило, равномерный отток из резервуара остается в течение 24 ч, как показано на рис. 3.3.

Если отток должен быть ограничен несколькими часами, например только ночными, то следует наносить соответствующий суммарный график. Требуемый объем резервуара определяется сложением максимального расстояния по вертикали от приточной линии до суммарного графика оттока и максимального расстояния по вертикали от отточной линии до суммарного графика притока ($V = V_1 + V_2$).

Максимальное расстояние по вертикали между обоими суммарными графиками может быть определено путем параллельного смещения суммарного графика отточной линии до точки, в которой она касается приточной линии.

Если в сточных водах содержатся осаждаемые или флотирующие вещества, то необходимо учитывать, что либо должен осуществляться отвод таких веществ, либо следует установить смеситель, который не позволит этим веществам оседать.

При наличии биологических легкоразлагаемых составляющих в воде резервуара протекают биологические процессы брожения за счет возникновения анаэробных условий среды, что может привести к появлению запаха и коррозии. Появления запаха можно избежать при помощи вентиляционных устройств. Если в резервуар встроены смеситель или вентиляционные устройства, то следует удерживать минимальный уровень воды.

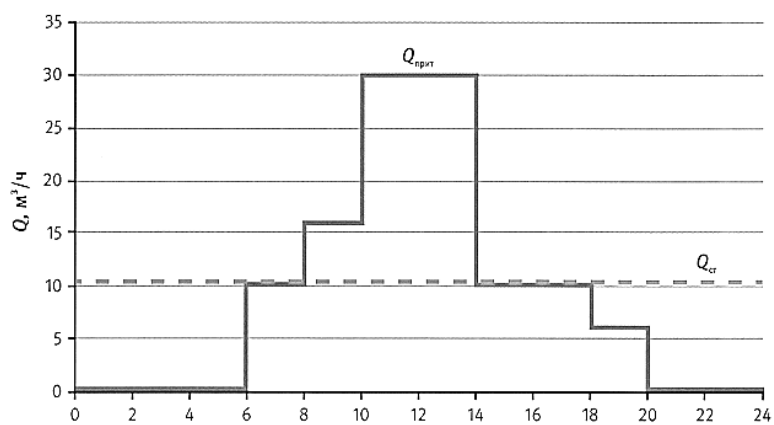


Рис. 3.1. График объемного потока сточных вод

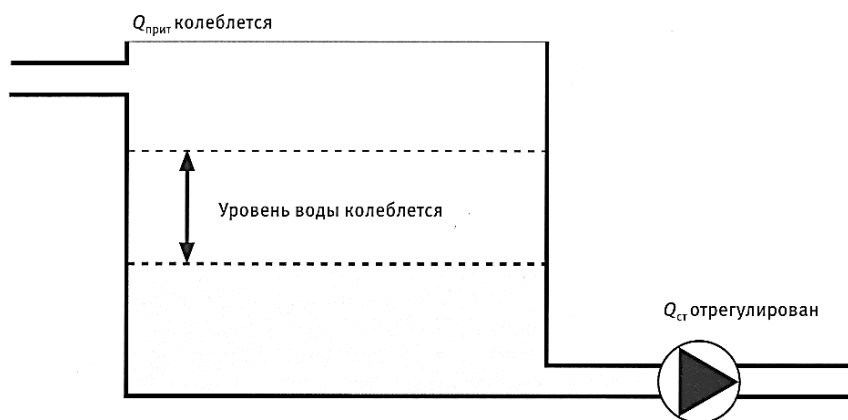


Рис. 3.2. Принципиальная схема резервуара для выравнивания количества вод

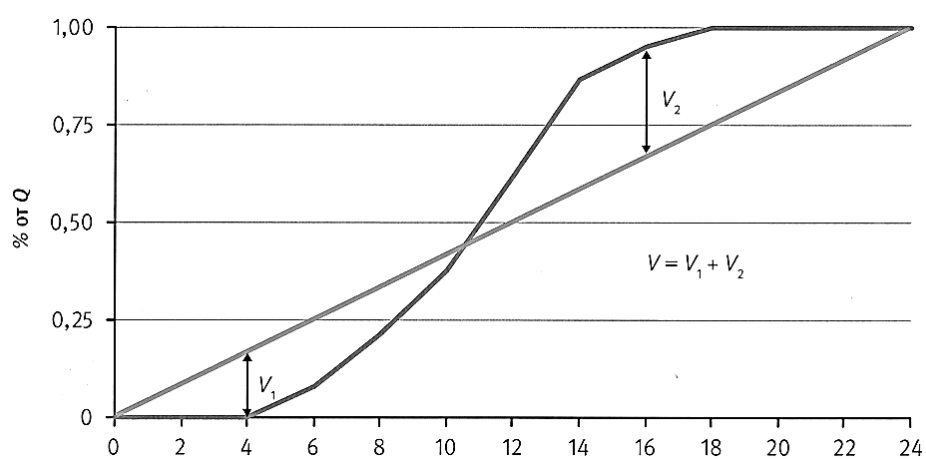


Рис. 3.3. Принцип расчета параметров резервуара для выравнивания количества вод

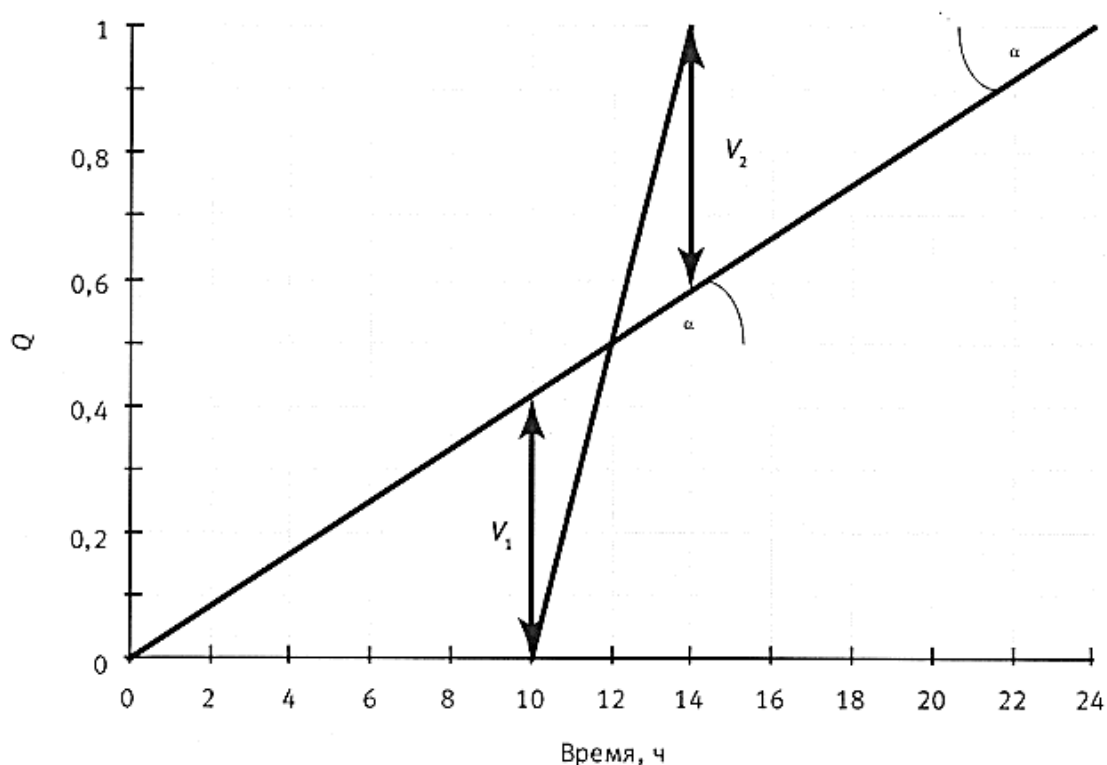
Пример расчета 3.1 (выравнивание количества)

Небольшое промышленное предприятие выпускает ежедневно 10 м^5 сточных вод исключительно в интервале между 10 и 14 ч. Для биологической очистки сточных вод следует выровнять это количество. Для этого необходимо определить параметры уравнивающей емкости.

Решение

1. Графическое решение

Перенос значений на диаграмму времени/количества:



Расчет V_1 и V_2 , например:

$$\operatorname{tg} \alpha = 1,0/24 = V_1/10 \Rightarrow V_1 = V_2 = 0,417;$$

$$V = 2 \cdot 0,417 Q_{\text{сут}} = 8,333 \text{ л} \Rightarrow \text{принято } V = 8,5 \text{ м}^3.$$

2. Расчетное решение

$$Q_{\text{ср.ч}} = 10 \text{ м}^3/\text{сут}/24 \text{ ч} = 416,7 \text{ л/ч}.$$

Максимальный приток: $Q_{\text{max}} = 10 \text{ м}^3/\text{сут}/4 \text{ ч/сут} = 2500 \text{ л/ч}.$

Объем за 4 ч выброса: $10000 \text{ л} - 416,7 \cdot 4 \text{ ч} = 8,333 \text{ л?}$
принято $V = 8,5 \text{ м}^3$

Выравнивание концентрации

Применение смесительных и уравнивающих резервуаров (СУ-резервуары) при сильных отклонениях концентрации (рис. 3.4) на объемном потоке сточных вод позволяет решить две задачи.

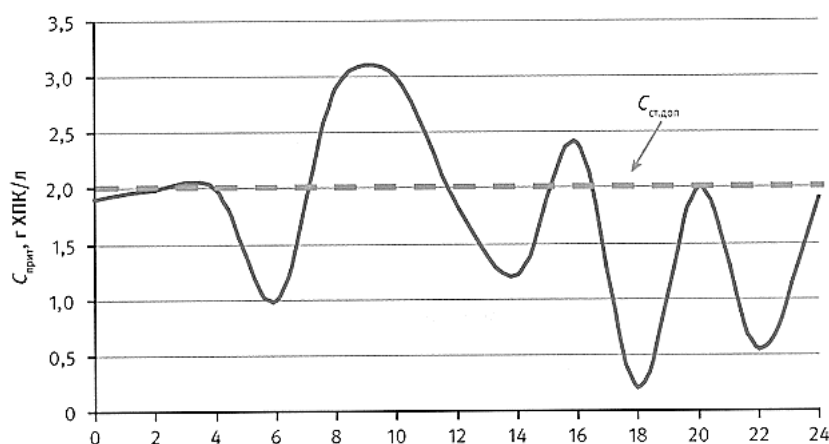


Рис. 3.4. График концентрации сточных вод

1. Полное выравнивание концентрации.

Общее (суточное) количество сточных вод ($Q_{\text{сут}}$) собирается и смешивается. При этом может достигаться постоянная концентрация сточных вод, определяемая путем расчета смешения. Расчет параметров осуществляется по накопленному (суточному) объему сточных вод. Это означает, что должны быть предусмотрены два резервуара с одинаковым объемом $Q_{\text{сут}}$, которые попеременно наполняются и опустошаются в рамках двухдневного цикла.

2. Соблюдение предельных значений.

В отличие от полного выравнивания концентрации здесь сглаживаются только пики концентрации в сточных водах с целью избежать превышения предельных значений. Сначала следует проверить, находится ли среднее значение концентрации в рамках предельного значения ($C_{\text{ст.прит}}$). Если есть возможность, можно дополнительно проверить, в какой отрезок времени имеет место критическое значение концентрации.

Условием для выравнивания концентрации является качество перемешивания содержимого резервуара, рис. 3.5. Если при полностью наполненном резервуаре уровень воды остается постоянным, то может быть достигнуто наиболее эффективное выравнивание концентрации.

Это означает, что объемный поток оттока равен объемному потоку притока. Если эксплуатируется резервуар с меняющимся уровнем воды, то можно, в известной степени, одновременно достигнуть и выравнивания количества.

Определение параметров или проверка и оптимизация СУ-резервуара для полного выравнивания концентрации может осуществляться по следующим формулам:

$$V_{\text{СУ}} C_{\text{СТ}}^t = V_c^{t-1} C_{\text{СТ}}^{t-1} + (V_{\text{СУ}} - V_c^{t-1}) C_{\text{ПРИТ}}^t, \quad (3.1)$$

где $V_{\text{СУ}}$ – общий объем или полное наполнение резервуара; $C_{\text{СТ}}^t$ – концентрация в сточной линии резервуара к (искомому) моменту времени t ; V_c^{t-1} – объёмная доля при концентрации $C_{\text{СТ}}^{t-1}$ к моменту $t = t - 1$; $C_{\text{СТ}}^{t-1}$ – концентрация в сточной линии резервуара на прошедший момент времени $t = t - 1$; $C_{\text{ПРИТ}}^t$ – концентрация в приточной линии резервуара к (искомому) моменту времени t ;

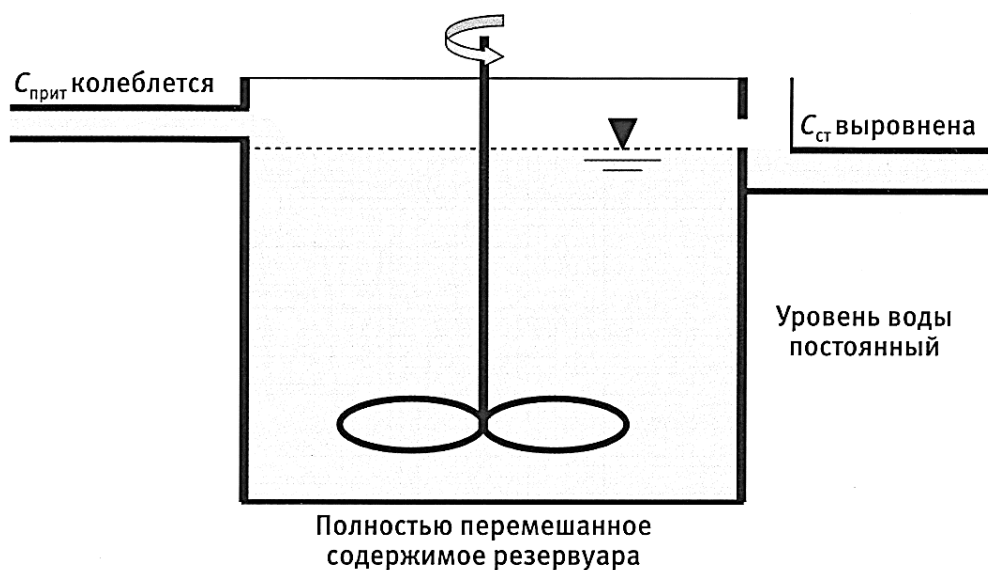


Рис. 3.5. Принцип идеально перемешанного содержимого резервуара

$$C_{\text{СТ}}^t = \frac{V_c^{t-1}}{V_{\text{СУ}}} C_{\text{СТ}}^{t-1} + \left(1 - \frac{V_c^{t-1}}{V_{\text{СУ}}}\right) C_{\text{ПРИТ}}^t \quad (3.2)$$

или

$$C_{\text{СТ}}^t = y C_{\text{СТ}}^{t-1} + (1 - y) C_{\text{ПРИТ}}^t, \quad (3.3)$$

здесь y – соотношение, соответствующее объемной доле при концентрации $C_{\text{ст}}^{t-1}$ по отношению к общему объему.

Это означает следующее: прибывающее за отрезок времени t количество воды Qdt относится к объему резервуара V_{cy} так же, как снижение объемной доли в концентрации к моменту времени $t-1(-dy)$ к объемной доле в концентрации к моменту времени $t-1(y)$:

$$\frac{Qdt}{V_{\text{cy}}} = \frac{-dy}{y}, \quad (3.4)$$

где Qdt – прибывающее количество воды за отрезок времени; dy – снижение объемной доли в концентрации к моменту времени $t-1$ относительно общего объема; y – объемная доля в концентрации к моменту времени $t-1$ относительно общего объема;

$$\frac{dy}{y} = -\frac{Q}{V_{\text{cy}}} dt \quad (3.5)$$

$$\ln y = \frac{-Qt}{V_{\text{cy}}}, \quad (3.6)$$

$$y = e^{\frac{-Qt}{V_{\text{cy}}}} \quad (3.7)$$

где y – соотношение между V_{c}^{t-1} и V_{cy} ; Qt – прибывающее количество воды за отрезок времени; V_{cy} – общий объем или полное наполнение резервуара.

Посредством применения значения y в вышеуказанном уравнении для каждого момента времени, для которого известны прибывающее количество воды и соответствующая концентрация загрязнений, можно определить концентрацию в резервуаре либо в сточных водах:

$$C_{\text{ст}}^t = e^{\frac{-Qt}{V_{\text{cy}}}} C_{\text{ст}}^{t-1} + \left(1 - e^{\frac{-Qt}{V_{\text{cy}}}}\right), \quad (3.8)$$

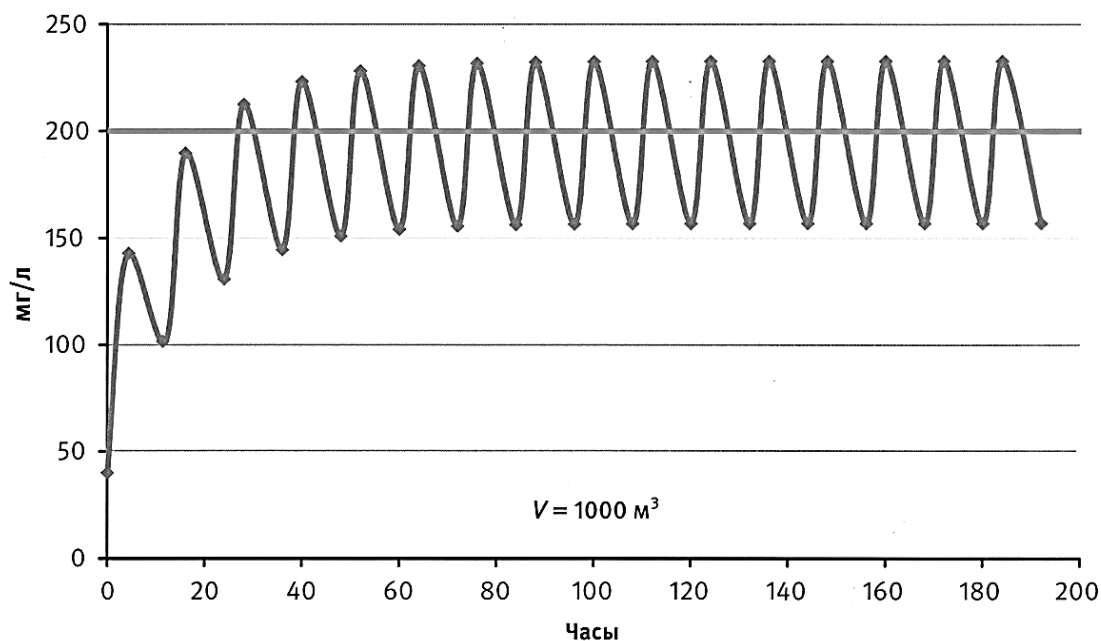


Рис. 3.6. График концентрации в отводящей линии смесительного и уравнивающего резервуара согласно примеру

1.3. Сороудерживающие решетки и сита

Нерастворимые макроскопические частицы в сточных водах представляют собой легко отделяемый компонент общей массы загрязнений.

Шаг от крупно- до мелкочаеистой решетки для очистных сооружений составляет, от 50 до 2 мм, что позволяет задерживать твердые и грубые вещества. Например, если на консервной фабрике необходимо удалять из сточных вод частицы овощей (горох, бобы, куски моркови и т. п.), то шаг решетки не должен превышать 5 мм.

В отличие от решеток, у которых решетчатая поверхность состоит из параллельно расположенных прутьев, сетчатая поверхность сит изготавливается из металлического листа с отверстиями и прорезами либо из сетчатой ткани.

Первые случаи применения сит имели место на очистных станциях с аэротенками с одновременной стабилизацией осадка без первичного отстаивания, часто по причине наличия большой доли твердых частиц со скотобоем.

Проблемы, которые могут возникнуть на очистной установке из-за волокнистых веществ:

- волокнистые вещества не разлагаются на биологической стадии очистки;
- волокнистые вещества в потоках воды сплетаются в длинные жгуты;
- жгуты из волокон засоряют эрлифты, шламопроводы обратной линии и т. п.;
- жгуты из волокон закупоривают линию подачи и оттока в резервуаре;
- волокна засоряют центробежные и пневматические аэраторы.

Таким образом, они постоянно препятствуют подаче воздуха и перемешиванию содержимого резервуара. Вследствие выделения газов волокна имеют свойство всплывать и могут стать причиной образования корки из плавающих загрязнений. Основные проблемы волокнистых веществ заключаются также в их тенденции к сплетению.

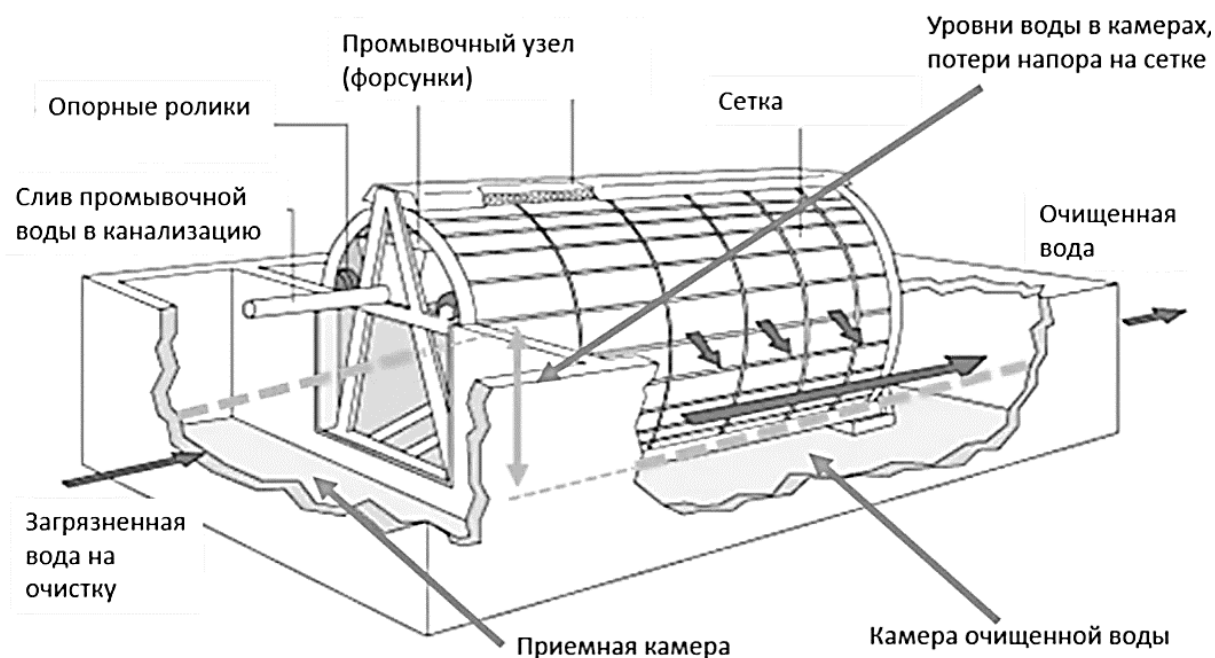


Рис. 3.7. Принципиальная схема барабанного фильтра

Ширина отверстий автоматических сит составляет от 5,0 до 0,5 мм, широкое применение находят также размеры отверстий от 1 до 3 мм. Меньшие диаметры отверстий (1-1,5 мм) чаще всего засоряются меньше, чем большие (2-3 мм).

Применяются стационарные сита, барабанные сита, вибрационные сита, сетчатые фильтры с разрезными поверхностями, перфорированными пластинами и ячеистой тканью. При микрочистке барабанным фильтром (рис. 3.7, www.huber.de) частицы твердых веществ отделяются от сточных вод механически с применением микроскопически тонкой ткани.

Классификация решеток по ширине отверстий/щелей варьируется в различных изданиях и данных производителя. Спектр рабочих возможностей решеток и сит отражает следующая классификация (табл. 3.1).

Ширина отверстий выбирается в соответствии с целью очистки – от предварительной общей очистки воды (например, пищевая промышленность) до переработки промышленной воды (например, переработка овощей) или регенерации веществ (например, бумажная промышленность).

Таблица 3.1

Классификация решеток и сит по ширине отверстий

Тип	Ширина отверстий, мм
Крупные решетки (защита сооружений, предотвращение засорения)	50-20
Средние решетки (предотвращение засорения)	20-10
Мелкие решетки/крупные сита (уменьшение скопления твердых частиц в осадке)	10-2
Крупное сито	>1
Мелкое сито	≤1
Микросито	0,005-0,5 (5-500 мкм)

При определении параметров решетки для предотвращения скоплений следует определять скорость равной 0,3 м/с при минимальной подаче перед решеткой, а также максимальную скорость равной 1,2 м/с через решетку, чтобы загрязнения не намывались на прутья решетки. Важнейший эксплуатационный параметр сит – снижение рабочего давления. Для его определения следует учитывать данные производителя.

1.4. Осаждение

Путем осаждения отделяются все взвешенные вещества, плотность которых выше плотности окружающей их воды. Предельная величина осаждающихся частиц составляет 0,5 мкм (более мелкие частицы остаются во взвешенном состоянии из-за молекулярного движения). Частицы считаются осевшими, когда они во время протекания через сооружение для осаждения достигают дна и более не захватываются потоком, текущим на выход (рис. 3.8). Из этого следует, что во время осаждения t_{oc} должно быть меньше, чем расчетное время протекания $t_{дв}$.

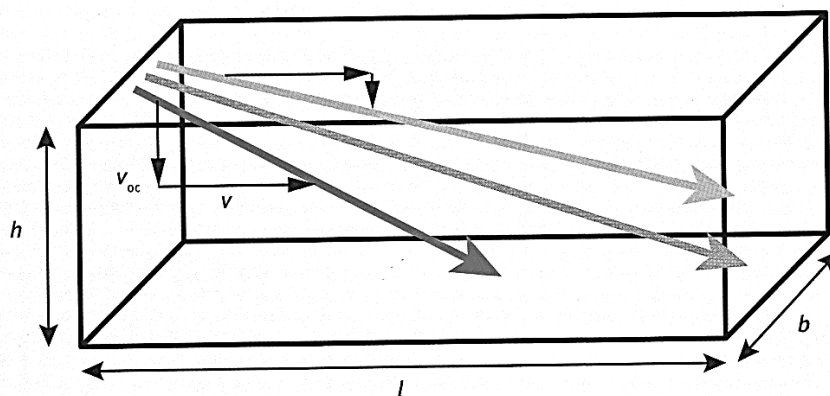


Рис. 3.8. Осаждение твердой частицы

Для равномерного слоистого потока в резервуаре

$$t_{oc} = \frac{h}{v_{oc}}, \quad (3.9)$$

$$t_{дв} = \frac{V}{Q} = \frac{h l b}{Q}. \quad (3.10)$$

При $t_{oc} \leq t_{дв}$

$$\frac{h}{v_{oc}} \leq \frac{h l b}{Q} \quad (3.11)$$

Из этого следует

$$v_{oc} > \frac{Q}{lb} = \frac{Q}{A} = q_A, \frac{m^3}{m^2 \cdot ч} \quad (3.12)$$

где h – глубина резервуара, м; l – длина резервуара, м; b – ширина резервуара, м; V_{oc} – скорость осаждения, м/ч; Q – расход, м³/ч; V – объем резервуара, м³;

A – площадь резервуара, м²; q_A – нагрузка на поверхность, м³/(м²·ч).

Соотношение расхода и площади резервуара Q/A определено как нагрузка на площадь q_A . Оно может соответствовать максимальной скорости осаждения V_{oc} осаждаемых частиц. Как видно из вывода, q_A не зависит от глубины резервуара. Исходя из этого, сепараторы с большой площадью резервуара должны иметь пластинчатые, прямоугольные или трубчатые сечения отверстий.

Как правило, жидкость протекает через них вниз или вверх, загрязнения оседают на противотоке вверх или вниз. Сечения должны быть расположены под наклоном (55-65° по горизонтали) и отстоять друг от друга на расстоянии, при котором предотвращаются засорения. На рис. 3.9 представлен принцип действия и устройство такого пластинчатого сепаратора.

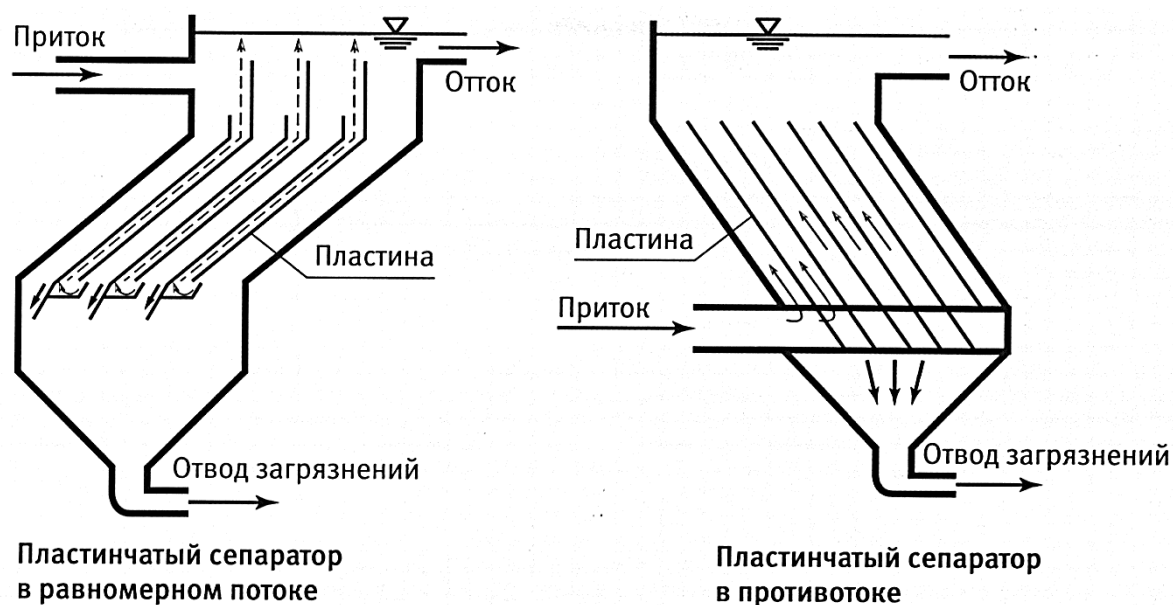


Рис. 3.9. Пластиновый сепаратор по принципу прямотока или противотока

Скорость осаждения вещества рассчитывается из силы тяжести за вычетом выталкивающей силы и силы сопротивления потока. Для слоистого движения осаждения при круглых частицах она описывается по закону Стокса – скорость осаждения увеличивается по квадрату диаметра частиц и пропорциональна разнице плотностей жидкости и частиц:

$$v_{oc} = \frac{g}{18\nu} \frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} d_{\text{ч}}^2. \quad (3.13)$$

При этом скорость осаждения зависит от соотношения потоков в жидкости, описанной числом Рейнольдса (Re). Поток по характеристикам делится на слоистую, переходную и турбулентную области. Для круглых частиц, верно, следующее соотношение:

$$v_{oc} = \frac{Re_{\text{ч}} \eta}{d_{\text{ч}} \rho_{\text{в}}} \quad (3.14)$$

Таким образом, скорость осаждения и значение, важное для определения параметров сооружения для осаждения, зависят от[^]

g – ускорения свободного падения м/с^2 ;

$\rho_{\text{ч}}$ – плотности частицы, кг/м^3 ;

$\rho_{\text{в}}$ – плотности воды или жидкости, кг/м^3 ;

$d_{\text{ч}}$ – диаметра частицы, м ;

$Re_{\text{ч}}$ – числа Рейнольдса, характеризующего параметры потока вокруг частицы;

ν – кинематической вязкости воды или жидкости $\text{м}^2/\text{с}$;

η – динамической вязкости воды или жидкости, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$, при $\eta = \nu \rho_{\text{в}}$.

Поскольку названные величины для взвешенных веществ в естественных водах могут колебаться, точное определение q_A , как правило, невозможно. Допустимое значение либо нагрузка на поверхность определяется в этом случае путем испытаний на осаждение.

Требуемый КПД и определение объема резервуара зависят, помимо отделяемых веществ, от требований, обусловленных последующими ступенями очистки. Примеры измеряемых параметров указаны в табл. 3.2.

Таблица 3.2

**Примеры параметров отстойников и сепараторов
с параллельными пластинами для измерения**

Тип конструкции	$q_A, \text{м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$	$t_{\text{ДВ}}, \text{мин}$
Первичный отстойник (коммунальные стоки, приток в сухую погоду)	2,4-4,0	30-120
Отстойники для гидро- окисей металлов	0,3-0,7	240-360
Сепараторы с парал- лельными пластинами (восстановленный оса- док)	15-30	15

**Пример расчета 3.3
(определение размеров отстойника)**

Необходимо определить размеры резервуара для осаждения гидроокисей металлов (см. табл. 3.2). Максимальный расход составляет 50 л/с.

Решение

Определение максимально допустимой нагрузки на поверхность q_A : по табл. 3.2 $q_A = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

– Расчет минимально допустимой площади $A_{\text{ОС}}$: $A_{\text{ОС}} = Q/q_A = 0,05 \text{ м}^3/\text{с} / (0,5 \text{ м}^3/\text{ч} / 3600 \text{ с}) = 360 \text{ м}^2$.

– Определение объема и высоты резервуара: $t_{\text{ДВ}} = V/Q \rightarrow V = t_{\text{ДВ}} Q \rightarrow t_{\text{ДВ}} = 300 \text{ мин} = 18000 \text{ с}$ (взято из табл. 3.2) $\rightarrow V = 18000 \text{ с} \cdot 50 \text{ л/с} = 900 \text{ м}^3$.

$h_{\text{рез}} = V/A_{\text{ОС}} = 900 \text{ м}^3/360 \text{ м}^2 = 2,5 \text{ м}$.

1.4.1. Отстойники

Отстойники могут подразделяться по конструкционному исполнению:

- на плоские прямоугольные отстойники горизонтального параллельного протекания;

- плоские круглые отстойники радиального протекания;
- воронкообразные отстойники восходящего радиального протекания;
- пластинчатые очистители.

Плоские резервуары должны быть оснащены устройствами удаления осадка; в то время как в воронкообразных резервуарах осадок собирается в суженной части воронки вследствие силы тяжести.

Исполнение резервуаров (рис. 3.10) должно соответствовать следующим условиям:

- быстрое успокоение поступающей воды и преобразование кинетической энергии в области поступления (зоне размешивания), длина зоны размешивания примерно соответствует глубине резервуара;
- стабилизированный поток в основной части, в области осаждения резервуара, чтобы избежать нарушения процесса осаждения;
- минимально возможное перемешивание в области оттока;
- особо стабильные и спокойные течения в области сбора осадка на дне для предотвращения возмущения осевшего отстоя;
- удаление осадка с минимальным взмучиванием и его переход в емкость для сбора отстоянного осадка;
- задержка взвешенного осадка.

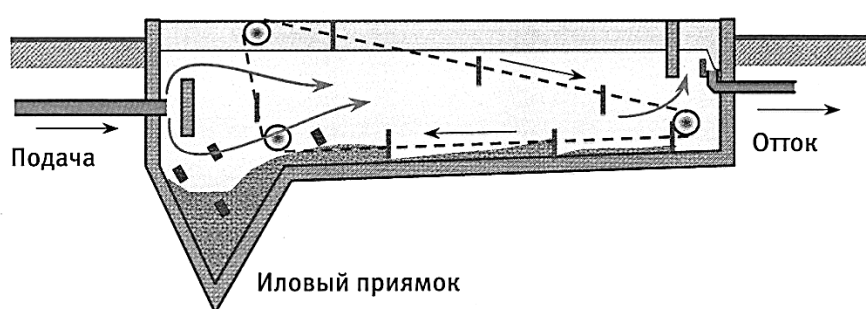


Рис. 3.10. Схематическое изображение отстойника

Некоторые примеры исполнения отстойников представлены на рис. 3.11 и 3.12.

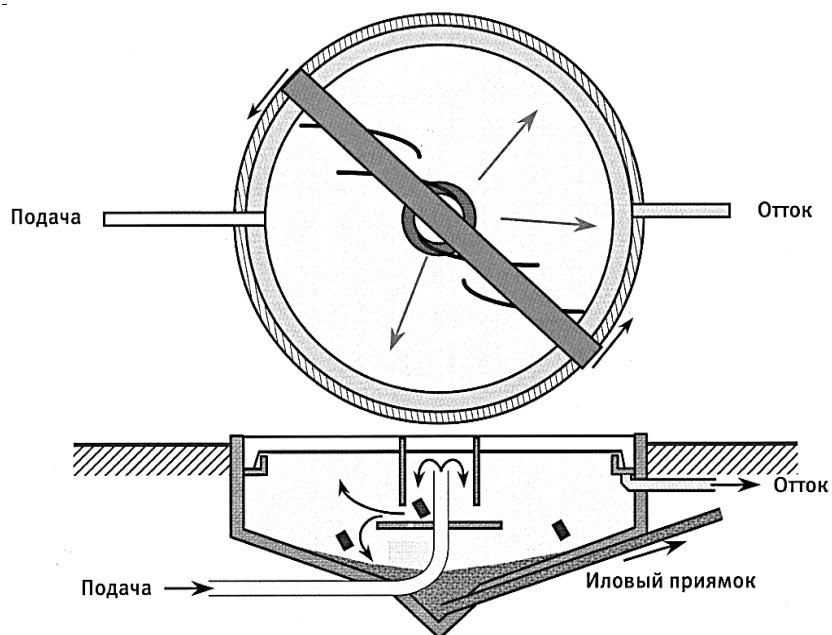


Рис. 3.11. Круглый отстойник радиального горизонтального протекания с устройством для удаления осадка

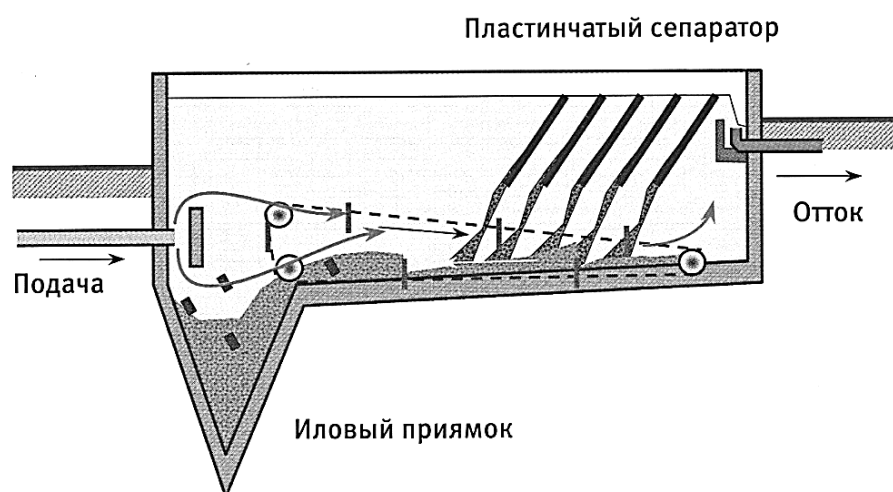


Рис. 3.12. Прямоугольный отстойник горизонтального протекания с пластинчатым сепаратором

1.4.2. Песколовки

В пищевой промышленности во время производственного сезона при чистке овощей часто образуется повышенное количества песка. Для защиты нижеуказанных деталей устройств и машин от засорения

песком и истирания требуется песколовка, очищающая сточные воды от быстро осаждающихся минеральных компонентов.

При помощи песколовки должно осуществляться:

- отделение песка $>0,2-0,1$ мм;
- отделение песка от органики.

Горизонтальная песколовка

Горизонтальная песколовка (рис. 3.13) – это длинный плоский отстойник с горизонтальным протеканием. Он улавливает песок и неорганические материалы с диаметром зерен от 0,2 до 0,1 мм. В идеальном случае зерно песка улавливается тогда, когда нагрузка на поверхность меньше или равна скорости осаждения $V_{ос}$ зерна. Однако это лишь теоретический подход, который не учитывает движение воды в области притока и оттока.

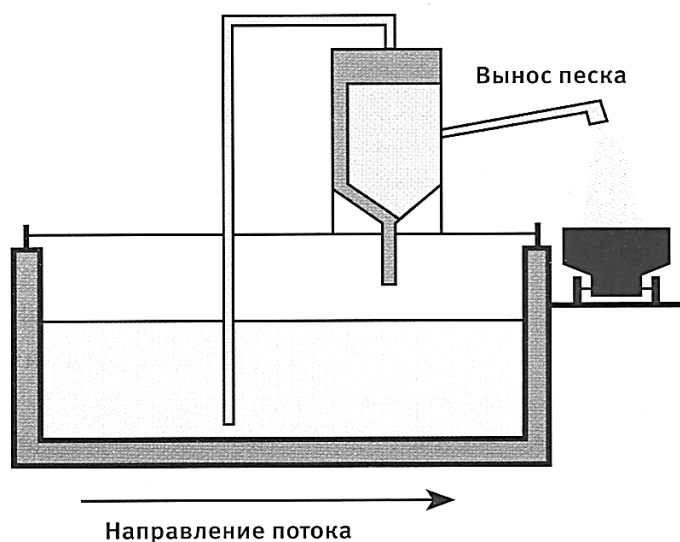


Рис. 3.13. Горизонтальная песколовка

Согласно итогам испытаний, степень улавливания песка зависит от нагрузки на поверхность:

- 100%-я степень улавливания песка с диаметром зерна 0,2 мм:
 $q_A = 17$ м/ч;
- 90%-я степень улавливания песка с диаметром зерна 0,2 мм:
 $q_A = 25$ м/ч.

Таким образом, для беспрепятственного функционирования горизонтальной песколовки основными являются такие параметры, как нагрузка на поверхность и скорость потока. Максимальная нагрузка на

поверхность устанавливается в соответствии с размерами песколовки. Представляет собой проблему колеблющееся количество притока, которое ведет к разным скоростям потока.

Эмпирическим путем было установлено, что при средней скорости протекания 0,3 м/с задерживаемые зерна песка остаются лежать на дне песколовки, в то время как мелкие и особо легкие частицы органических твердых веществ в состоянии взвеси переносятся потоком на выход. Поэтому следует проектировать песколовки так, чтобы поток проходил через них при меняющемся количестве сточных вод с горизонтальной скоростью около $v_H = 0,3$ м/с.

Равномерное протекание достигается за счет того, что ширина песколовки меняется в зависимости от положения уровня воды так, что $A = Q/v$ постоянно.

Трапецевидные сечения могут приблизительно выполнить это требование при не очень сильно колеблющемся потоке. Другой способ добиться равномерного протекания при колеблющемся количестве приточной воды состоит в том, чтобы установить параллельно несколько желобов, которые вводятся в работу при возрастании количества сточной воды. Кроме того, скорость потока можно регулировать турбулизаторами и каналами Вентури.

Пример расчета 3.4

(определение размеров горизонтальной песколовки)

Следует определить размеры новой горизонтальной песколовки для механической очистки сточных вод при установке ее в очистительном сооружении. При этом определяются размеры для песка с диаметром зерна $d_3 = 0,2$ мм или со скоростью осаждения $V_{OC} = 0,6$ см/с. Приток смешанной воды в очистительное сооружение $Q_{см}$ составляет 100 л/с и протекает в песколовку по прямоугольному приточному каналу шириной 0,35 м со скоростью около 0,8 м/с.

Решение

Определение максимально допустимой нагрузки на поверхность q_A :

$$q_A = Q/A \leq v_{OC} = 0,6 \text{ см/с} = 21,6 \text{ м/ч};$$

$$\text{принято: } q_A = 0,5 \text{ см/с} = 18 \text{ м/ч}.$$

$$\text{Расчет требуемой площади песколовки } A: A = Q_{см}/q_A = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}/0,005 \text{ м/с} = 20^2.$$

Расчет ширины песколовки B при заданной скорости горизонтального потока: $v = 20\text{-}30 \text{ см/с}$ ($0,2\text{-}0,3 \text{ м/с}$).

Высота в приточном канале: $H_{\text{прит}} = Q_{\text{см}} / (B_{\text{прит}} \cdot v_{\text{прит}}) = 0,1 \text{ м}^3/\text{с} / (0,35 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ м/с}) = 0,36 \text{ м}$.

Условие: $H_{\text{прит}} = H_{\text{пескол}}$.

$B = Q_{\text{см}} / (H \cdot v) = 0,1 \text{ м}^3/\text{с} / (0,36 \text{ м} \cdot 0,3 \text{ м/с}) = 0,95 \text{ м} \approx 1 \text{ м}$. Расчет длины L песколовки: $L = A/B = 20 \text{ м}^2 / 1 \text{ м} = 20 \text{ м}$.

Тангенциальная песколовка

В *тангенциальной песколовке* (рис. 3.14) сточные воды прибывают тангенциально в круглый воронкообразный резервуар. Отводящая линия находится на той же стороне, что и подводящая, так что сточные воды проходят практически полный круг. Вследствие принудительного кругового движения благодаря центробежной силе в тангенциальной песколовке происходит подъем уровня воды наружу от оси вращения.

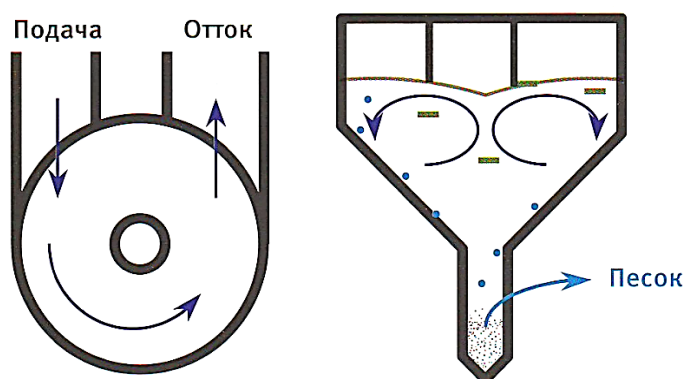


Рис. 3.14. Тангенциальная песколовка

Таким образом, под влиянием повышенного давления в крайней зоне протекающему потоку сообщается вертикальное кругообразное движение, направленное у дна к центру. В итоге получается винтообразный протекающий поток.

Вследствие радиального поперечного потока, особенно сильного на дне ввиду пониженного в этой зоне тангенциального потока сточных вод, направляющийся ко дну песок смещается в воронкообразное пространство для сбора и оттуда откачивается. Направленным в об-

ласть оси поперечным течением выносятся легкие взвешенные вещества, благодаря чему достигается определенное избирательное разделение твердых веществ.

Согласно исследованиям, при определении размеров тангенциальных песколовок следует придерживаться следующих значений.

Скорость притока должна составлять около 0,75 м/с и не должна превышать 1,00 м/с. Скорость в сечении оттока не должна быть больше 0,80 м/с. Теоретическое время нахождения в песколовке должно составлять от 30 до 45 с при максимальном притоке не менее 25 с.

Объем песколовки V , м³, определяется следующим образом:

$$V = Qt_{\text{дв}}, \quad (3.15)$$

где Q – приток сточных вод, м³/с; $t_{\text{дв}}$ – время протекания, с.

При обычной форме тангенциальных песколовок соотношение диаметра и глубины резервуара составляет примерно 2:1, вследствие чего необходимо, чтобы при данном объеме резервуара площадь была большой, а глубина – минимальной.

Следует учитывать, что при снижении нагрузки на поверхность доля взвешенных частиц в содержимом песколовки возрастает. Поэтому может оказаться целесообразной дополнительная продувка содержимого песколовки сжатым воздухом.

Аэрируемая песколовка

В песколовках вышеописанных типов сложно выдерживать постоянную, не зависящую от притока сточных вод скорость потока. Конструкция аэрируемой песколовки (рис. 3.15) в значительной мере исключает эту трудность.

Через установленные по бокам аэрационные устройства подается воздух.

Вследствие подъема воздушных пузырьков в области подъема возникает поток воды, направленный вверх. Это становится причиной вихревого движения всей массы воды с частицами песка, которое с движением воды перпендикулярно сечению и в продольном направлении песколовки переходит в спиральный поток. В основном вихревой поток зависит от вдуваемого воздуха, геометрии резервуара, а также от положения и вида аэрационного устройства.

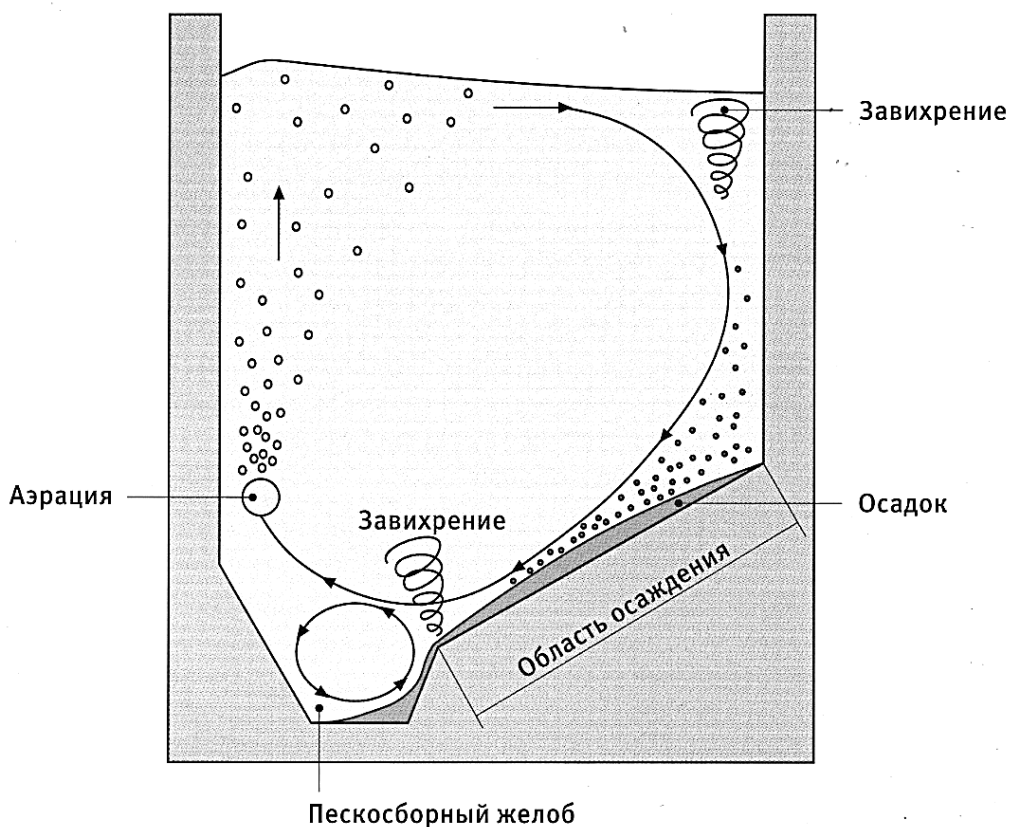


Рис. 3.15. Схема улавливания песка из вихревого потока в аэрируемой песколовке

В вихревом потоке принесенные со сточными водами частицы песка переносятся на край водяной массы и осаждаются на наклонном днище песколовки.

Под действием силы тяжести и движения воды песок сползает в сборный лоток.

Расчет параметров аэрируемых песколовок может осуществляться согласно табл. 3.3 с использованием эмпирических данных.

В аэрируемых песколовках происходит флотация жиров и масел. Они собираются в расположенной сбоку спокойной зоне и снимаются с верхним слоем воды.

Таблица 3.3

**Сводная таблица определяемых размеров
аэрируемых песколовок**

Основной параметр	Оптимальные значения
Время нахождения $t_{\text{дв}}$	>10 мин при максимальном притоке
	>20 мин при притоке в сухую погоду
Соотношение ширины/ глубины $\Pi(B) / \Gamma(T)$	0,8 при максимальном притоке
	0,8-0,9 при притоке в сухую погоду
Площадь сечения A	1-~7 м ²
Длина песколовки L	15-60 м
Глубина погружения аэраторов $T_{\text{аэр}}$	0,7 Т
Угол наклона днища α	40-45°
Скорость на днище μ	0,20 м/с
Горизонтальная скорость потока μ_{H}	min 0,10 м/с
Удельное потребление воздуха Q_v (относительно объема резервуара)	$Q_v = (0,63 + 0,52 \ln T_{\text{аэр}})^{-1,61}$ аэрация мелкими пузырьками, м ³ /(м ³ ·ч)
	$Q_v = (0,07 + 0,76 \ln T_{\text{Е}})^{-1,33}$ аэрация крупными пузырьками, м ³ /(м ³ ·ч)

1.4.3. Гидроциклоны, центрифуги

Гидроциклоны – это центробежные очистители, применяемые, помимо очистки от песка, для уплотнения осадка сточных вод и отстоя. В особых случаях они применяются для сточных вод с высоким содержанием твердых примесей для отсеивания этих примесей.

У гидроциклонов, в отличие от центрифуг (см. «Центрифуги»), движение потока жидкости достигается не приведением в движение вращающегося барабана, а подачей сточных вод по касательной под давлением. При этом сточные воды подвергаются вращательному движению, которое дает центробежное ускорение, в 10-20 раз превышающее ускорение свободного падения.

Таким образом достигается улавливание твердых частиц, сравнимое с улавливанием в бассейне осадконакопления при пластинчатом сепараторе, в намного меньшем объеме.

На представленном схематическом изображении (рис. 3.16) поясняется конструкция и принцип действия гидроциклона.

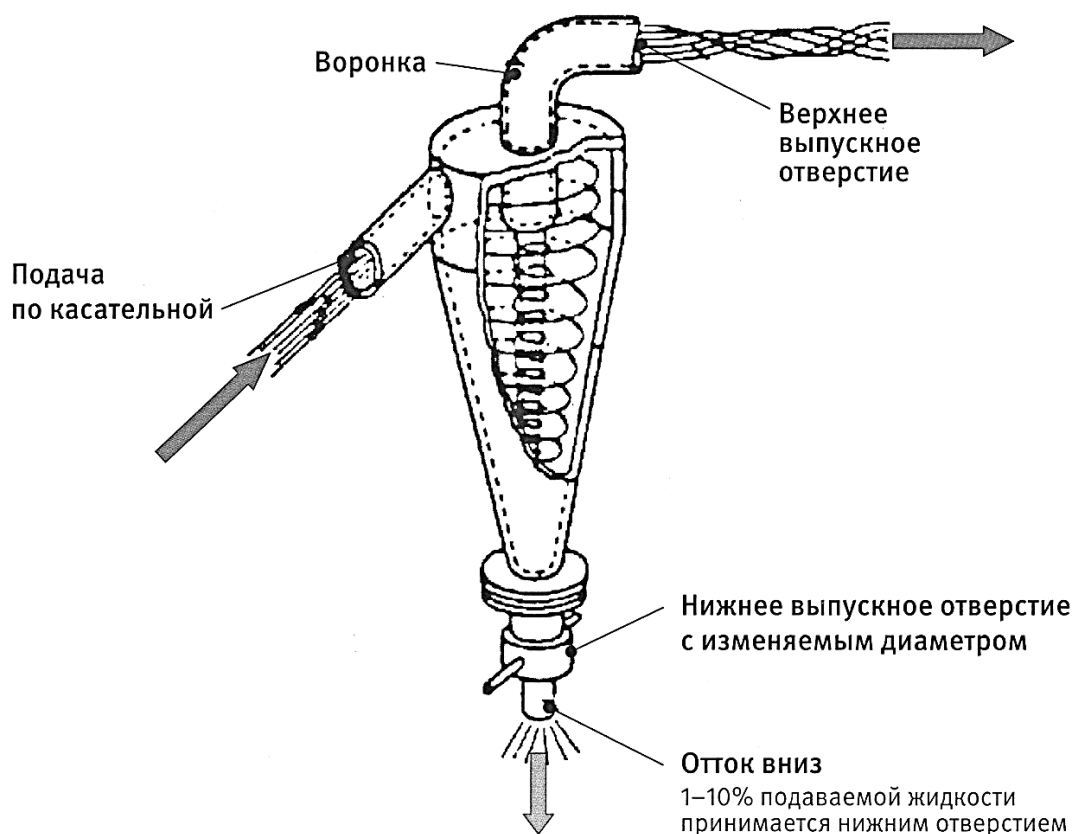


Рис. 3.16. Схематическое изображение гидроциклона

Тангенциальный входящий поток воды, содержащий твердые частицы, вызывает в цилиндрическом корпусе спиралевидный вихревой поток. Твердые частицы, плотность которых выше плотности воды, вследствие направленных наружу центробежных сил ускоряются в направлении стенок корпуса, осаждаются там и под действием силы тяжести сползают вниз к открытой вершине конуса.

Насыщенный твердыми частицами нисходящий поток, составляющий от 1 до 10% общего объема потока, уходит через вершину конуса (нижняя выпускная насадка, вершина). Более объемный поток воды, очищенной от твердых частиц, покидает гидроциклон через верхнее выпускное отверстие (верхняя выпускная насадка, воронка).

Для проектирования гидроциклонов до сих пор применяются в основном эмпирически полученные соотношения. Пропускная способность нижнего отверстия и достигаемая концентрация в значительной степени определяются диаметром нижнего выпускного отверстия. Но поскольку точный расчет этих величин пока еще невозможен, на практике нижнее отверстие оснащается устройством, позволяющим менять

диаметр сечения, что помогает в рамках опытов устанавливать оптимальный диаметр и таким образом – оптимальное соотношение верхнего и нижнего оттока.

С помощью гидроциклона, при соответствующем исполнении, можно улавливать частицы диаметром до нескольких микрометров при объемных потоках до 500 м³/ч и при содержании твердых веществ в необработанной воде до 10 г/л. Необходимый для этого диаметр циклона составляет менее 1 м, а габаритная высота – менее 5 м. Однако при высокой производительности в устройствах, относящихся к категориям размеров 1-3, возникают значительные потери давления.

Центрифуги

В центрифугах используется разница плотностей нерастворимых частиц и окружающих сточных вод, а также центробежное ускорение, возникающее благодаря быстро вращающимся корпусам. Явление центрифугирования лучше всего можно объяснить на примере циклично работающей центрифуги. Полое внутреннее пространство вращающегося корпуса наполняется предварительно подготовленной суспензией или эмульсией. После этого центрифуга запускается и доводится до максимального числа оборотов.

При этом все частицы в центрифуге подвергаются ускорению. Частицы более тяжелые, чем окружающая жидкость, накапливаются на периферии вращающегося корпуса, в то время как более легкие частицы собираются в области оси вращения.

На практике применяются, прежде всего, непрерывно работающие агрегаты:

- сопловые сепараторы;
- центрифуги;
- деканторы.

Как правило, деканторы являются крупными агрегатами. Они широко применяются для удаления воды из осадка сточных вод. Сопловые сепараторы, напротив, чаще применяются для разделения эмульсий, чем для концентрации суспензий. Причиной этому является уязвимость сопловых сепараторов, сопла которых могут засориться при отделении твердых частиц от жидкости. Поэтому следует обеспечить соответствующим способом, например применением специальных сит,

невозможность попадания в сопловый сепаратор частиц с диаметром большим, чем диаметр сопла.

1.5. Флотация и улавливание легких жидкостей, жиров и эмульсий

Под флотацией понимается всплывание в сточной воде как твердых, так и жидких нерастворимых веществ на поверхность воды. Флотирующие загрязнения образуют на поверхности плавающий слой, который удаляется при помощи специальных очистительных приспособлений.

Методики отделения, основанные на флотации и подобных процессах, которые пришли из технологий подготовки руды и угля, применяются в промышленной водоочистке, особенно:

- для сточных вод, содержащих масла и жиры, например, со скотобоен, с предприятий пищевой промышленности, а также с фабрик-кухонь и гастрономических предприятий;
- сточных вод, содержащих минеральные масла, например, нефтеперерабатывающих заводов, авторемонтных мастерских и автомоек;
- сточных вод, содержащих волокно и хлопья, например, с предприятий бумажной промышленности.

Флотацию можно сочетать с осаждением или фильтрацией. Благодаря сочетанию этих методов на следующем после флотации этапе отделяются возможные примеси сточных вод, осевшие или остающиеся в состоянии взвеси. Часто предполагается также выпадение осадка и образование хлопьев, за счет чего степень эффективности флотационного устройства повышается. Кроме того, в процессе химической реакции растворенные вещества переводятся в нерастворимую форму с выпадением осадка. При помощи коагулирующего агента и вспомогательного коагулирующего вещества мелкие взвешенные и коллоидные растворимые вещества концентрируются в легко отделимые крупные хлопья.

Флотация или отделение легких веществ, жиров и масел осуществляется благодаря разнице плотностей отделяемых веществ и жидкости. Принцип подобен принципу осаждения с тем отличием, что отделяемые вещества при осаждении движутся вниз, а при флотации – вверх.

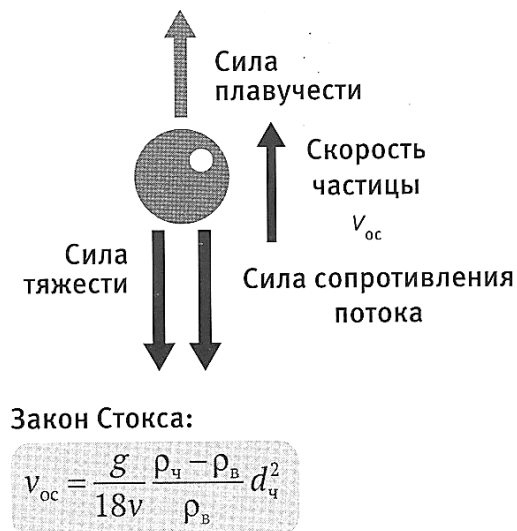


Рис. 3.17. Определение скорости подъема

Скорость подъема всплывающих веществ представляет собой силу плавучести за вычетом силы тяжести и силы сопротивления потока, рис. 3.17. При слоистом подъеме она описывается по закону Стокса по формуле (3.13). Скорость подъема увеличивается по квадрату диаметра частиц и пропорциональна разнице плотностей жидкости и частиц.

Вследствие разницы плотностей возникает скорость подъема V_{oc} которая может определяться как для твердых, так и для газообразных веществ. Для преодоления силы сопротивления потока между поднимающимся веществом и водой необходима достаточная разница плотностей между отделяемым веществом и водой.

1.5.1. Флотация путем соединения пузырьков газа

Если плотность частиц равна плотности воды, то они остаются во взвешенном состоянии. Чтобы достичь отделения частиц в этом случае, плотность частиц для соединения пузырьков газа следует уменьшить. Частицы поднимаются как флотирующая субстанция и могут быть отделены. Для самостоятельно поднимающихся веществ соединение газовых пузырьков увеличивает скорость подъема.

Процесс флотации осуществляется в три этапа реакции:

- образование пузырьков газа или впуск пузырьков газа в реактор;

- образование постоянного контакта между пузырьками газа и частицами твердого вещества либо его хлопьями;
- движение (вверх) пузырьков газа, соединенного с твердыми частицами.

Образование пузырьков газа или их выпуск в реактор осуществляется либо механическим способом (механическая флотация), либо путем насыщения газом (напорная флотация), либо электролитическим методом (электрофлотация).

Образование стабильной системы из одного или более пузырьков газа и частицы либо хлопьев требует достаточного контакта между обоими веществами, вступающими в реакцию.

Требуемые контакты достигаются в реакторе вследствие ускорений. Кроме того, частота столкновений зависит от концентрации пузырьков газа и концентрации частиц (СВ). Кроме того, вероятность контакта повышается с увеличением общего числа пузырьков. Здесь, верно, следующее отношение:

$$n = \frac{6V_{\text{общ}}}{\pi d_{\text{п}}^3} \quad (3.16)$$

где n – количество пузырьков; $V_{\text{общ}}$ – общий объем пузырьков, м³; $d_{\text{п}}$ – диаметр пузырьков, м

$$V_{\text{общ}} = L_{\text{св}} C_{\text{св}} V \frac{1}{\rho_{\text{возд}}}, \quad (3.17)$$

где $L_{\text{св}}$ – соотношение воздуха/твердого вещества, г/кг; $C_{\text{св}}$ – содержание твердого вещества, концентрация частиц, кг/м³; V – объем резервуара-реактора, м³; $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха, г/м³.

Чем меньше пузырьки, тем больше количество пузырьков при одном и том же объеме газа. Кроме того, маленькие пузырьки имеют меньшую тенденцию к сцеплению, т. е. они не так легко присоединяются к более крупным пузырькам воздуха, что характерно для крупных пузырьков.

Вероятность контакта увеличивается при увеличении времени пребывания пузырька в воде, т. е. длительности их нахождения перед всплыванием на поверхность. Также важен размер пузырька, зависящий от применяемого метода.

Мелкие пузырьки воздуха (диаметр $\leq 2,0$ мм) с гидромеханической точки зрения ведут себя как сферы. Поэтому их скорость подъема также можно описать по закону Стокса.

Как следует из формулы (3.13), скорость подъема увеличивается пропорционально квадрату диаметра пузырька. Таким образом, пузырек воздуха диаметром 0,1 мм поднимается в четыре раза быстрее, чем пузырек диаметром 0,05 мм, вследствие этого время пребывания в воде маленьких пузырьков в четыре раза больше, чем крупных.

Чтобы система из пузырька газа и твердого вещества могла подняться, силы сцепления (силы связи) между твердым веществом и газом должны быть больше, чем сила разрыва, обусловленная усилием сдвига, трением, ускорением и потоком воды. На силу сцепления воздушных пузырьков влияют гидрофобные либо гидрофильные свойства поверхности отделяемой частицы. При контакте с разными средами (твердым веществом, жидкостью и воздухом) возникают пограничные поверхностные натяжения.

Вследствие поверхностных натяжений возникают, в зависимости от свойств поверхности материала, специфические краевые углы, рис. 3.18 между средами. Чем более гидрофильна поверхность, тем острее краевой угол (α) между твердым веществом и водой; чем поверхность гидрофобнее, тем угол (β) тупее.

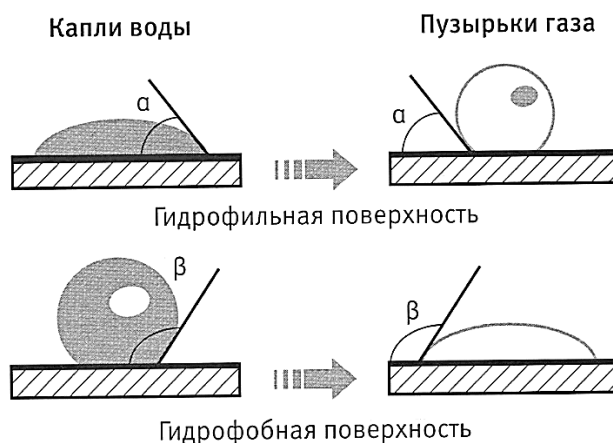


Рис. 3.18. Краевой угол при сцеплении капли воды или пузырька воздуха на гидрофильной или гидрофобной поверхности твердого вещества

Газовый пузырек может сцепиться с поверхностью твердого вещества, если он имеет угол, комплементарный краевому углу капли воды на этом материале.

Краевой угол газового пузырька зависит от величины пузырька. Поэтому при гидрофильных поверхностях для сцепления требуются мелкие пузырьки воздуха, рис. 3.18.

С технико-методической точки зрения отделяемые вещества по своим свойствам (размер, плотность, структура – например, плотная или хлопьевидная, сродство поверхности частиц с молекулами воды – гидрофобность или гидрофильность) могут быть разделены на три группы:

- частицы жира, капельки масла и частицы твердого вещества с выраженной гидрофобной поверхностью;
- волокнистые, полые или плотные частицы взвешенного вещества из органического материала (углеводы, белки) с более или менее гидрофильной поверхностью;
- хлопья химического или биологического происхождения.

Вещества, принадлежащие к первой группе, являются водоотталкивающими, при том, что при контакте частицы с воздушным пузырьком сцепление наступает, если пузырек относительно крупный (диаметром до 5 мм).

Поэтому для образования пузырьков воздуха достаточно технически и методически простого пути – при помощи сжатого воздуха или механического насыщения воздухом. Примером является жироловка в сочетании с аэрируемой песכולовкой.

Взвешенные вещества второй группы имеют в основном относительно хорошо смачиваемую, т. е. гидрофильную, поверхность. Поэтому они могут флотировать с очень мелкими пузырьками. Мелкие пузырьки генерируются при напорной флотации, а также при электрофлотации. Диаметр пузырьков при напорной флотации должен быть менее 100 мкм.

Для хлопьевидных примесей третьей группы вне зависимости от того, химическим или биологическим путем они возникли, сцепление частиц с пузырьками образуется, если пузырьки воздействуют на разветвленную систему хлопьев или при образовании хлопьев включаются в них. При этом не важно, имеет ли вещество, из которого состоят хлопья, гидрофильную или гидрофобную природу. Однако этим способом в хлопьях задерживаются только очень мелкие пузырьки.

Флотировавшие хлопья или частицы образуют на поверхности воды плавающий слой, который необходимо удалить. Пузырьки газа

не могут улетучиться из-под слоя флотировавших веществ и держат этот слой на уровне зеркала воды. Таким образом, путем флотации можно достичь существенно более высоких результатов, чем путем осаждения. Для сточных вод скотобоев и мясоперерабатывающих предприятий необходимо достигать содержания твердых веществ во флотировавшей массе от 7 до 20% (1% соответствует 10 кг СВ/ м³).

Путем подачи воздуха при флотации помимо отделения твердых веществ также осуществляется биологическое разложение органических примесей сточных вод.

Эмпирические значения достигаемых степеней эффективности для некоторых сточных вод указаны в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Эмпирические значения степени эффективности флотации, расширенные данные.

	Тип флотации	Осаждающий/хлопьеобразующий агент.	Взвешенные вещества, %	БПК ₅ , %	ХПК, %
Бытовые	Напорная	Да	~70	—	~60
Скотобоев	Механическая	Да	~90	~75	~55-70
Масложировых комбинатов	Напорная	Да	~90	—	—
Автомобильных заводов	— « —	Нет	~7	—	—
Флодоовощных предприятий	— « —	Да	~95	~60	—
Бумажных комбинатов	— « —	Нет	~95	—	~90

Метод флотации

Техники флотации могут различаться по типу генерации пузырьков газа и по системе смешения пузырьков газа. Далее описаны механическая флотация, напорная флотация и электрофлотация.

На рис. 3.19 представлена схема механической флотации

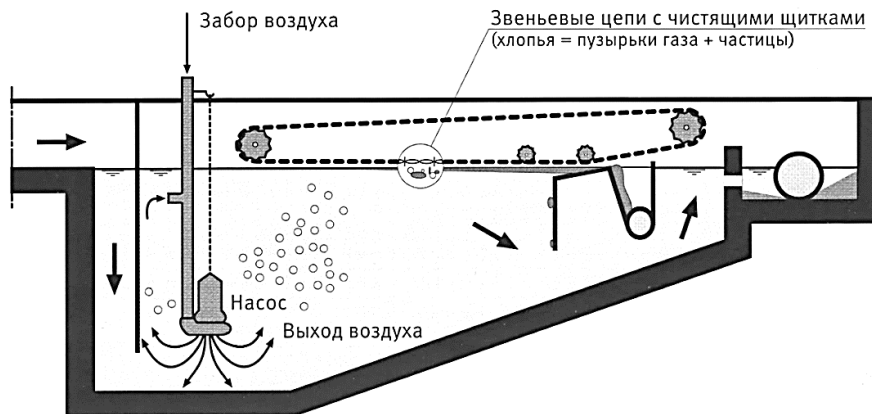


Рис. 3.19. Устройство для механической флотации

Напорная флотация

При механической флотации пузырьки воздуха впускаются аэратором и распространяются по воде механическим способом. Пузырьки достигают диаметра >1 мм. Поэтому механическая флотация предназначена только для материалов, которые легко флотируются и трудно эмульгируются, и используется в первую очередь для сточных вод скотобоев, птицефабрик, маслозаводов и т. п.

Преимуществом является применение относительно простого аэрационного агрегата, что требует небольших инвестиций. Недостаток состоит в том, что высокое напряжение сдвига разрушает неустойчивые хлопья или может эмульгировать легкие минеральные масла.

Напорная флотация использует физический эффект, состоящий в том, что масса растворимых в жидкостях газов пропорциональна давлению, под которым находится жидкость (закон Генри-Дальтона). При небольших соотношениях давлений, т. е. при разрежении, из воды выходит то количество воздуха, которое до этого было дополнительно растворено там под давлением. Вода, обогащенная воздухом под давлением, называется сжатой водой.

Переходящий из растворенного в газообразное состояние воздух освобождается в форме мельчайших, равномерно распределенных пузырьков воздуха, подобно улетучиванию двуокиси углерода при открытии бутылки минеральной воды.

При напорной флотации размер пузырьков воздуха зависит, наряду с типом их возникновения, от поверхностного натяжения и вязкости воды, а также от разницы давлений при снижении давления. Как правило, работа ведется при разнице давлений от 3 до 4 бар.

Для подготовки нужного количества пузырьков воздуха в флотационном резервуаре имеются следующие технические возможности, рис. 3.20:

- воздух растворяется непосредственно в сточной воде для флотирования (метод полного потока);
- воздухом насыщается только часть потока сточной воды для флотирования (метод частичного потока);
- полученная из очищенной выпущенной воды сжатая вода смешивается со сточной водой во впускном канале или только в емкости реактора (метод замкнутого цикла).

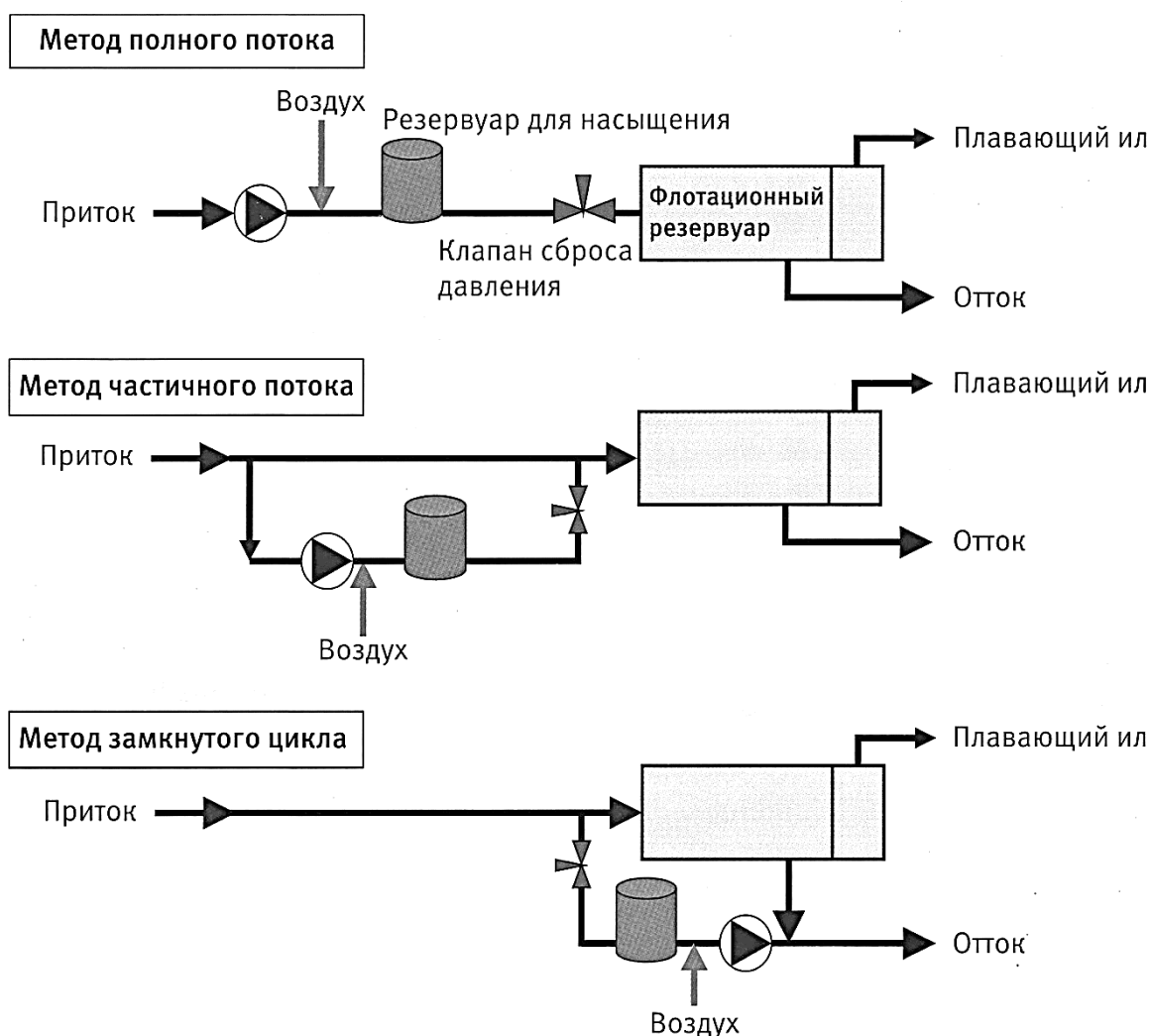


Рис. 3.20. Варианты впуска воздуха при напорной флотации

Метод полного потока требует для растворения заданного количества воздуха минимального рабочего давления, поэтому при разрежении на уровне $\Delta p \geq 3$ при определенных условиях не достигается

разницы давлений, необходимой для образования пузырьков минимального диаметра.

При использовании метода частичного потока таких сложностей не возникает.

Однако в обоих случаях на практике часто появляются проблемы с образованием отложений на соплах подачи газа с засорением последних. Поэтому методы полного и частичного потока в меньшей степени подходят для предварительной очистки.

Метод замкнутого цикла, при котором часть потока очищенной воды применяется как сжатая вода, позволяет предотвратить обе проблемы. Поэтому, как правило, он применяется для очистки сточных вод и уплотнения осадка.

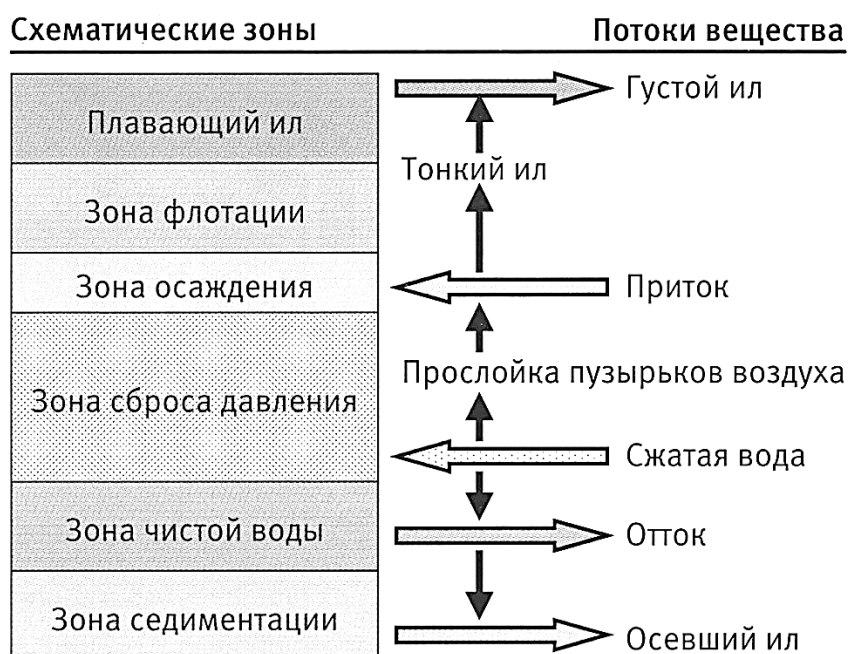


Рис. 3.21. Зоны процессов при напорной флотации

Процедура флотации при напорном методе протекает в разных зонах, которые в упрощенной форме представлены на рис. 3.21. Сжатая вода добавляется в зоне пониженного давления. Здесь образование пузырьков происходит преимущественно при условиях турбулентности.

Лучший эффект флотации достигается, когда плотно расположенные мелкие пузырьки воздуха, создавая своего рода воздушную по-

душку для загрязнения, поднимают его на поверхность и когда очищаемая сточная вода подается на высоту, на которой может образоваться полноценная воздушная подушка.

Зона скопления, где образуются системы из пузырьков и твердых веществ, должна рассматриваться как размытая зона области флотации. Ее границы с зоной флотации, как и с зоной сниженного давления, оформлены нечетко. Границы зон сильно зависят от гидравлической нагрузки и от рециркуляции.

Электрофлотация

При электрофлотации пузырьки газа генерируются электролитическим методом. Путем создания разности потенциалов между электродами происходит электролитическое разложение воды с образованием очень мелких пузырьков газа (диаметром около 5 мкм) из водорода и кислорода. Electrodes are positioned in two planes, one above the other. They have the form of thin plates or sticks and consist of titanium. Anodes have, in addition, a protective layer of lead peroxide or precious metal. Often, the electrodes are equipped with a device for mechanical cleaning, in order to avoid the formation of a film. Energy, necessary for the formation of gas bubbles, as a rule, depends on the conductivity of the liquid and on the distance between the electrodes.

Кислород (O_2) действует как окисляющее вещество, а водород (H_2) – как восстанавливающее. Таким образом, речь идет о разложении или химическом изменении примесей сточных вод.

Инвестиционные и производственные затраты на электрофлотацию относительно высоки. С другой стороны, для электрофлотации необходимо меньшее пространство, чем для напорной флотации. Преимуществом также является то, что количество пузырьков газа зависит только от примененного напряжения (около 5 В), т. е. не зависит от растворимости газов в воде. Напряжение может регулироваться плавно и просто корректироваться в соответствии с потребностью, т. е. с притоком, что невозможно при других методах. Таким образом можно компенсировать часть высоких затрат на энергию.

Области применения

При небольшом объеме, слабой нагрузке и сильных колебаниях притока или при высокой проводимости сточных вод электрофлотация

является весьма подходящим способом флотации. На рис. 3.22 схематически изображена установка для электрофлотации.

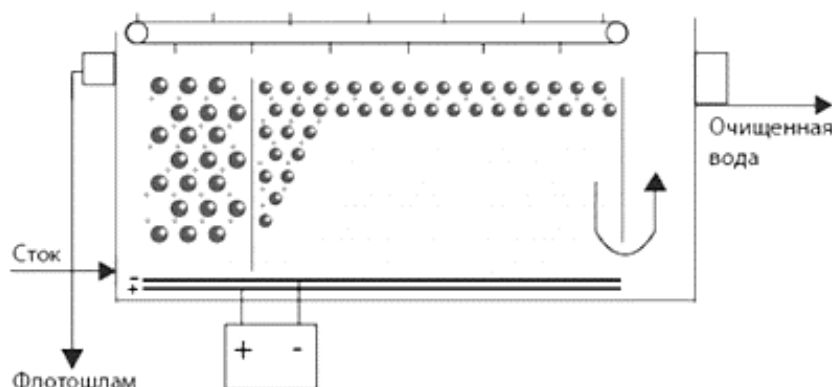


Рис. 3.22. Принципиальная схема электрофлотации с поверхностным удалением загрязнений

Установки для флотации, так же, как и для осаждения, рассчитываются по гидравлической нагрузке на поверхность $q_{A \text{ ФЛ}}$ флотационного резервуара и по времени задержки либо по нагрузке твердого вещества на единицу площади B_A :

$$q_{A \text{ ФЛ}} = \frac{Q_{\text{прит}} + Q_{\text{от}}}{A}, \quad (3.18)$$

где $q_{A \text{ ФЛ}}$ – нагрузка на поверхность флотационного резервуара относительно притока, включая отток в случае применения метода замкнутого цикла, м³/ч;

$Q_{\text{прит}}$ – приток во флотационный резервуар, м³/ч;

$Q_{\text{от}}$ – отток (для метода замкнутого цикла), м³/ч,

или

$$B_A = \frac{CB_{\text{прит}} + Q_{\text{прит}}}{A}, \quad (3.19)$$

где $CB_{\text{прит}}$ – содержание твердых веществ в приточной воде флотационного резервуара, кг/м³; B_A – нагрузка твердого вещества на единицу площади, кг СВ/(м²·ч).

Для выбора метода, который будет применяться, а также для оптимального расчета параметров необходимы предварительные испытания, в ходе которых определяются расчетные параметры, например со-

держание воздуха/твердых веществ, максимальная нагрузка на поверхность или максимальная нагрузка твердого вещества на единицу площади, а также тип и частота удаления плавающих загрязнений.

Критериями оптимальности, может быть, допустимое содержание твердых веществ в очищенной воде (конечная величина очистки) или максимум содержания твердых веществ во флотировавшей массе (конечная величина уплотнения осадка).

Механическая флотация

При механической флотации время прохождения потока воды должно составлять от 15 до 30 мин в соответствии с данными производителя. Практический опыт показывает, что при большем времени прохождения потока и, как следствие, большей поверхности резервуара прослойки пузырьков воздуха недостаточно для того, чтобы предотвратить распад и частичное затопление образовавшегося слоя флотирующих частиц.

Напорная флотация

На практике чаще всего применяется декомпрессионная флотация, поэтому имеется большой опыт по определению расчетных и эксплуатационных параметров, табл. 3.5

Таблица 3.5

Определение расчетных и эксплуатационных параметров для декомпрессионной флотации

Тип сточных вод	Нагрузка на поверхность, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Нагрузка твердого вещества на единицу площади, кг СВ/ $(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Соотношение воздуха/твердого вещества, г/кг
Активный ил (для вторичной очистки)	3-10	6-20	5-15
Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов	5-10	3	≥ 50
Сточные воды скотобоен	3,5	5	$\geq 10-100$

Для требуемой разницы давлений в точке декомпрессии (Δp , бар) опытные значения соответствуют 4-6 бар.

Требуемый для метода замкнутого цикла отток $Q_{от}$, м³/ч, и, соответственно, соотношение обратной подачи $RV_{п}$, %, определяются на основе необходимого соотношения воздуха и твердых веществ, притока, КПД, т. е. соотношения фактически и теоретически выделяющегося количества воздуха, постоянного значения подачи воздуха и разницы давлений:

$$Q_{от} = \frac{L_{CB} CB_{прит} Q_{прит}}{k_1 \Delta p}, \quad (3.20)$$

$$k_1 = K_{H \text{ возд}} M_{\text{возд}} \eta_{S/E}, \quad (3.21)$$

где $Q_{от}$ – отток, м³/ч; L_{CB} – соотношение воздуха/ твердого вещества, г воздуха/кг твердого вещества;

$CB_{прит}$ – содержание твердых веществ в приточной воде флотационного резервуара, кг/ м³;

$Q_{прит}$ – приток сточных вод, м³/ч; k_1 равно ~ 20 г/(м³·бар) при 15 °С и $\eta_{S/E} = 0,8$;

$\eta_{S/E}$ – КПД, соотношение фактически и теоретически выделяющегося количества воздуха;

Δp – разница давлений в точке декомпрессии, бар;

$K_{H \text{ возд}}$ – константа Генри для воздуха (в зависимости от температуры), моль/(м³·бар);

$M_{\text{возд}}$ – средняя относительная молярная масса воздуха (79% N₂, 21% O₂), г/моль.

Напорная флотация может применяться при больших нагрузках на поверхность, при небольшом времени задержки и при высоком содержании твердых веществ, вследствие чего требует меньшего пространства, а также меньших расходов на содержание оборудования.

Пример расчета 3.5

(расчет параметров установки для напорной флотации, методика замкнутого цикла)

Установка для напорной флотации должна быть рассчитана на отделение твердых веществ от активного ила, что заменяет применение вторичного отстойника. Очистное сооружение обладает следующими эксплуатационными данными:

– реализуемая мощность = 40 000 ЭЖ;

- приток во флотационный резервуар $Q_{\text{прит}} = 1400 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- содержание сухого вещества в аэротенке (доза ила) $СВ_{\text{аэр}} = 3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Флотационная установка рассчитывается по следующим исходным величинам:

$$q_{A \text{ ФЛ}} = 6,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}); L_{\text{СВ}} = 15 \text{ г}/\text{кг}; \Delta p = 4 \text{ бар}; T = 15^\circ\text{C};$$

$$k_1 = K_{\text{Н возд}} \cdot M_{\text{возд}} \cdot \eta_{S/E} = 20 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{бар}).$$

Решение

Определение количества воды в замкнутой системе:

$$Q_{\text{от}} = \frac{L_{\text{СВ}} \cdot СВ_{\text{прит}} \cdot Q_{\text{прит}}}{k_1 \cdot \Delta p} =$$

$$= (15 \text{ г}/\text{кг} \cdot 3 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 1400 \text{ м}^3/\text{ч}) / (20 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{бар}) \cdot 4 \text{ бар}) =$$

$$= 787,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для этого определяется соотношение оттока $RV_{\text{п}}: 787,5/1400 = 0,56$.

Расчет требуемой поверхности:

$$A_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{прит}} + Q_{\text{от}}}{q_{A \text{ ФЛ}}} = \frac{1400 + 787,5}{6,5} = 363,5 \text{ м}^2 \rightarrow \text{принято: } 350 \text{ м}^2.$$

Определение нагрузки твердых веществ на единицу площади:

$$B_A = \frac{3 \cdot 1400}{350} = 12 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) < 20 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Электрофлотация

Пузырьки газа, получаемые при электрофлотации, как правило, меньше получаемых при напорной флотации, поэтому требуемое соотношение воздуха/твердых веществ ниже примерно на треть.

1.5.2. Отделительные сооружения для легких жидкостей, жиров и эмульсий

Легкие жидкости, жиры и эмульсии обладают меньшей плотностью, чем плотность воды, и вследствие разницы плотностей могут отделяться от сточных вод такими отделительными сооружениями, как маслоотделители, жиротделители и коалесцентные уловители.

Отделительные сооружения состоят из следующих компонентов:

- илоуловитель со встроенным отделителем осадка и областью для сбора осадка,
- масло-, жиротделитель или коалесцентный уловитель с отстойной камерой;
- канал для взятия проб.

Поскольку функционированию отделительных сооружений препятствуют твердые вещества, перед ними должен быть расположен илоуловитель. В технологических емкостях очистного сооружения должна быть предусмотрена контрольная шахта, которая позволяет брать пробы сточных вод и контролировать очищенную воду.

Как правило, уловители легких жидкостей и коалесцентные уловители отделяют вещества в жидком состоянии. Поэтому температура сточных вод имеет большое значение. Если есть опасность образования комков твердых веществ из-за понижения температуры, то уловитель должен подогреваться в верхней части. При применении особых технологий удаления плавающего слоя жира уловитель может отделять также твердые вещества. Если возникают температуры более 40 °С, то следует учитывать то, что при определенных обстоятельствах образуются стабильные эмульсии, которые более не могут быть разделены отделительным сооружением. Отделяемые жидкости не должны быть растворимы или малорастворимы в воде и должны быть не омыляемы.

Для удаления плавающего слоя часто применяются лопатки, подобные полосовидной (рис. 3.23). Она состоит из олеофильной полосы, которая погружается в плавающий на поверхности слой и транспортирует набранную легкую жидкость наверх, где та отделяется от полосы при помощи соскребающих устройств.

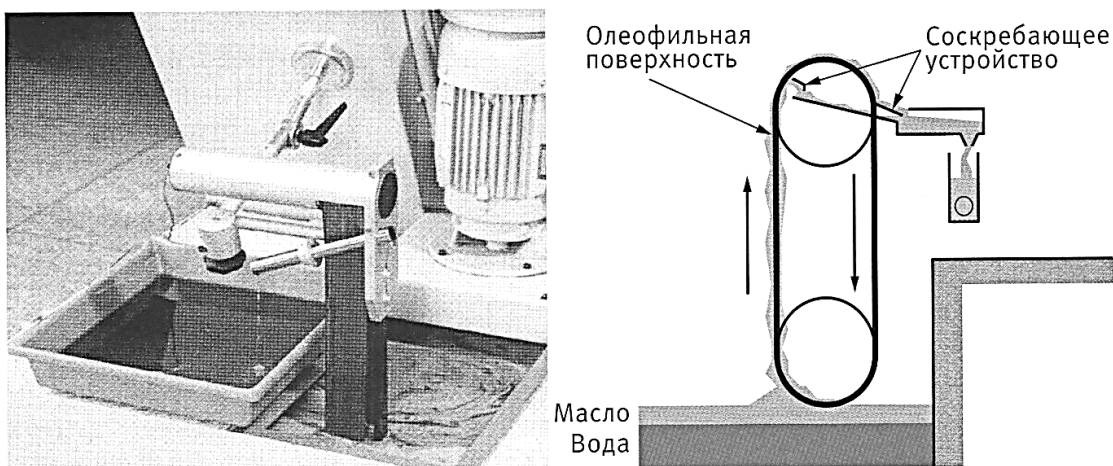


Рис. 3.23. Общий вид и схема полосовидной лопатки

Уловители легких жидкостей и жиरोуловители

Уловители легких жидкостей предназначены для очистки сточных вод с минеральными примесями, например бензинами, дизельными топливами и мазутами, а также с фильтрованными (белыми) маслами на предприятиях типа заправок, автомоек и аэропортов.

Жиरोуловители отделяют жидкие и твердые органические жиры и масла. Области применения: фабрики-кухни, мясные и колбасные фабрики, скотобойни, рыбоперерабатывающие заводы, консервные фабрики и обжарочные фабрики.

Как и у отстойников, на входе в уловители смонтированы установки для уравнивания и равномерного распределения потока по всей ширине. Капельки легких жидкостей, масел или жиров поднимаются к поверхности и там накапливаются между полупогружными стенками. Полупогружная стенка перед выходом препятствует тому, чтобы собранные легкие жидкости вытекали вместе со сточной водой. Производительность уловителя зависит от свободной площади между полупогружными стенками. Его объем определяется глубиной.

На эффективность влияют плотность отделяемых веществ, температура сточных вод, содержащиеся в сточной воде детергенты (моющие средства) и возможные насосы для сточных вод перед жиरोуловителем, которые могут смешивать воду. На рис. 3.24 схематически представлено отделение легких веществ, масел и жидких жиров.

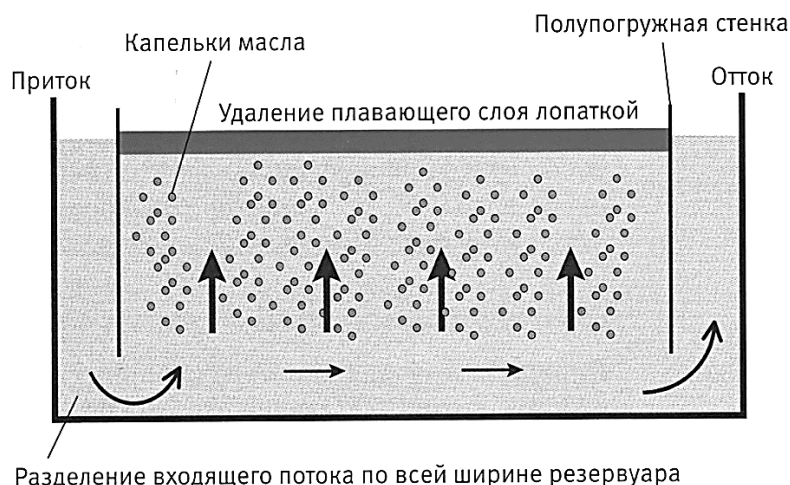


Рис. 3.24. Схематическое изображение отделения легких веществ, масел и жиров

Коалесцентные уловители

Тонкодисперсные жидкости, которые из-за небольших размеров капле не могут самостоятельно преодолеть силу сопротивления потока воды и, как правило, имеют плотность менее $0,95 \text{ г/см}^3$ отделяются от воды коалесцентными уловителями.

Наряду с силой тяжести в коалесцентных уловителях для отделения веществ дополнительно используются физические явления адсорбции и коалесценции.

Мелкие капельки веществ, например масел или жиров, направляются с потоком на специальные поверхности (коалесцеры). Коалесцеры являются внутренними сооружениями или наполнителями уловителя, на которых может образовываться масляный слой, и таким образом создается возможность коалесценции мелких капелек масла.

Коалесцентные модули состоят, например, из перфорированной пластинки, снабженной полиамидным (ПА) сетчатым полотном. Еще не отделенные капельки масла попадают на полиамидные нити сетчатого полотна и вследствие их олеофильных свойств адсорбируются. На рис. 3.25 схематически представлен процесс адсорбции и коалесценции с коалесцером, расположенным поперек направления потока.

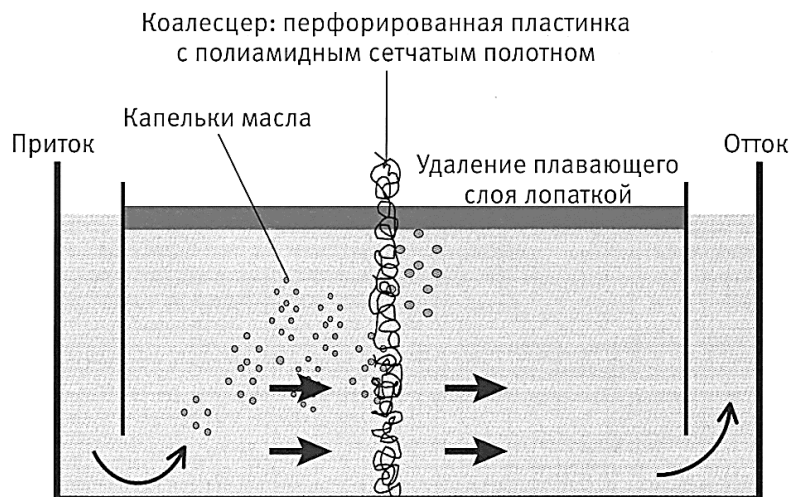


Рис. 3.25. Схематическое представление процесса адсорбции и коалесценции с применением сетчатого полотна из ПА

На масляном слое коалесцируют капельки масла, которые настолько малы, что из-за сопротивления трения не могут подняться. Вследствие этого улавливания капелек масляный слой нарастает, и масло по причине имеющейся разницы плотности по сравнению с водой стремится к подъёму. Если масляный слой разрастается дальше, то от коалесцера отрываются крупные, способные подняться капли масла и за короткое время поднимаются на поверхность. Там они сливаются с масляной пленкой. Плавающий слой может отводиться при помощи лопатки и затем удаляться.

Чистка коалесцера необходима, если из-за скопившихся тонких частиц ила его пропускная способность снизилась и вследствие этого возросло сопротивление течению. Коалесцеры могут очищаться путем ручного или автоматического мытья под струей или прополаскиванием устройства.

Уловитель (рис. 3.26) имеет трубчатые пропиленовые наполняемые элементы, которые действуют как коалесцеры. Эти элементы благодаря ребристости имеют снаружи и изнутри большую площадь, благодаря чему подходят для сбора мельчайших капелек масла.

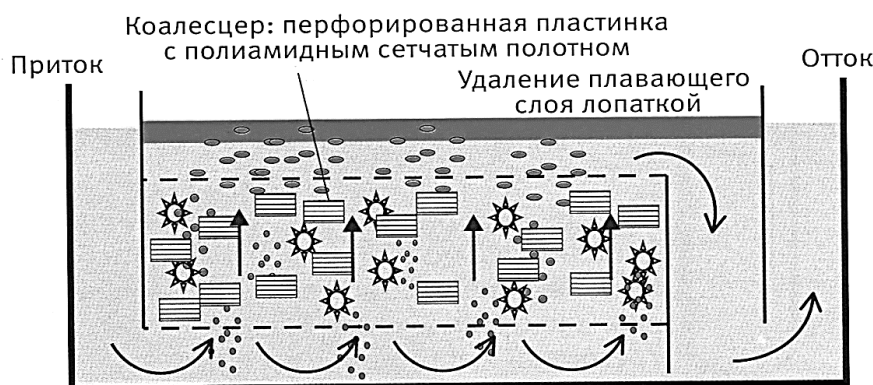


Рис. 3.26. Схематическое представление процесса адсорбции и коалесценции с применением трубчатых наполняемых элементов

Расчет параметров уловителей для легких жидкостей, жиров и коалесцентных уловителей

Размеры уловителей для легких жидкостей, жиров и коалесцентных уловителей определяются расчетом номинального размера.

Номинальный размер устанавливается по формуле для обработки производственных сточных вод:

$$НР = (Q_d + f_x Q_{ст}) f_{пл}, \quad (3.22)$$

где НР – номинальный размер уловителя;

Q_d – расход дождевых вод, л/с;

$Q_{ст}$ – расход сточных вод, л/с;

$f_{пл}$ – коэффициент плотности для основных веществ;

f_x – коэффициент препятствования в зависимости от типа сточной воды (загрязненные воды производственных процессов, автомоек или после чистки загрязненных маслами предметов: $f_x = 2$).

Определяется расход дождевых вод, так как, например, при проектировании уловительных сооружений заправочных станций или моек наряду с загрязненной водой следует учитывать попадающую дождевую воду. Применяемая для расчета интенсивность выпадения дождевых осадков зависит от местной интенсивности выпадения дождей и может определяться, например, согласно рекомендациям рабочего стандарта. При этом она не должна превышать 150 л/(с·га). При очень больших площадях улавливания расход дождевых вод может делиться при помощи разделителей для воды и направляться в различные

уловители. Коэффициент расхода ψ в большинстве случаев может приниматься равным единице.

$$Q_d = r_{D,n} A \psi, \quad (3.23)$$

где $r_{D,n}$ – местная интенсивность выпадения дождевых осадков, л/(с·га);

A – задействованная площадь, м²;

ψ – безразмерный коэффициент расхода.

Расход загрязненных вод рассчитывается как сумма всех частей потока сточных вод. Он состоит из количества сливных клапанов/точек забора воды, автомоек/линий автоматической мойки и чистящих приборов высокого давления:

$$Q_z = \sum_{i=1}^n Q_{z1} + Q_{z2} + \dots + Q_{zn}, \quad (3.24)$$

где n – количество отдельных потоков;

Q_{z1} – расход загрязненных вод потока 1, л/с;

Q_{z2} – расход загрязненных вод потока 2, л/с;

Q_{zn} – расход загрязненных вод потока n , л/с.

Коэффициент плотности, который указывает зависимость номинального размера от плотности отделяемого вещества, определяется по табл. 3.6.

Таблица 3.6

Коэффициенты плотности

Плотность основных легких жидкостей, г/см ³	Коэффициент плотности $f_{пл}$		
	Уловители класса II	Уловители класса I	Уловители класса II + I
До 0,85 (карбюраторное топливо, дизельное топливо, мазут экстра лёгкий)	1	1	1
До 0,90 (моторное масло, гидравлическое масло)	2	1,5	1
До 0,95 (трансмиссионное масло, смазки)	3	2	1

Промышленно производимые уловители должны соответствовать требованиям

Объем уловителя определяется по табл. 3.7.

Таблица 3.7

**Исходные данные для определения размеров уловителей
для легких веществ**

Номинальный размер	Объем илоуловителя (пример: ожидаемое количество ила среднее, $f_{пл} = 1$), л: $200 \cdot \text{НР} / f f_d$	Минимальное время прохождения, мин	Площадь поверхности воды, м^2 $A_{min} = 0,2\text{НР}$
8	1600	3	1,6
10	2000	3	2
15	3000	3	3
20	4000	3	4
30	6000		
40	8000	5	8
50	10 000	6	10
100	20 000	7	20
150	30000	8	30

Минимальный объем илоуловителя (по количеству задерживаемого ила: мало/ средне/много):

$V = (100/200/300) \cdot \text{НР} / f_{пл}$; (малое количество – $\text{НР} < 10$, среднее/большое) $V_{min} = 1600$ л.

Жироуловители

Номинальный размер (NG либо NS) жироуловителей определяется по формуле

$$\text{НР} = Q_{ст} f_{пл} f_T f_{чист}, \quad (3.25)$$

где $Q_{ст}$ – максимальный расход сточных вод, л/с; $f_{пл}$ – коэффициент плотности для основных жиров и масел; f_T – коэффициент препятствования в зависимости от температуры подаваемой воды; $f_{чист}$ – коэффициент препятствования для учета влияния моющих и чистящих средств.

В качестве примера показано определение расхода загрязненных вод мясоперерабатывающих предприятий (табл. 3.8)

$$Q_{ст} = \frac{V_{пр} F M_{пр}}{3600 t}, \text{ л/с} \quad (3.26)$$

где $V_{\text{пр}}$ – количество сточных вод конкретного предприятия на килограмм мясной продукции, л/кг; F – коэффициент ударной нагрузки в зависимости от условий эксплуатации; $M_{\text{пр}}$ – производимое ежедневно количество мясной продукции, кг; если данных не имеется, можно брать величину 100 кг на голову крупного скота; t – средняя дневная продолжительность эксплуатации улавливающего устройства, ч.

Среднее дневное количество загрязненных вод для каждого предприятия различается и должно определяться в каждом конкретном случае.

Таблица 3.8

Коэффициенты для определения количества сточных вод мясоперерабатывающих предприятий

Мясоперерабатывающее предприятие	$V_{\text{пр}}$	F
До 5 единиц крупного скота (1 единица 20 крупного скота = 1 корова = 2,5 свиньи)	20	30
До 10 единиц крупного скота	15	35
До 40 единиц крупного скота	10	40

Определение по производственному оборудованию. Расчет осуществляется на основе типа и количества установок для удаления воды и сливных клапанов в улавливающих устройствах.

Коэффициент $f_{\text{пл}}$ определяется по табл. 3.9.

Таблица 3.9

Коэффициенты плотности

Плотность основных жиров и масел, г/см ³	Коэффициент плотности $f_{\text{пл}}$
$\leq 0,94$	1
$> 0,94$	1,5 *

* Действительно, например, для касторового масла, ланолина, воска, канифольного масла, говяжьего жира.

Зависящий от температуры коэффициент препятствования устанавливается по табл. 3.10 для расчета номинального размера.

Таблица 3.10

Коэффициент препятствования f_T в зависимости от температуры

Температура в подающем потоке, °C	Коэффициент препятствования f_T

≤ 60	1,0
> 60	1,3

Применяемые моющие и чистящие средства негативно влияют на разделение веществ в жиросборнике. Если их использования избежать невозможно, то следует применять коэффициент препятствования $f_{\text{чист}}$ по табл. 3.11. В некоторых особых случаях, например в больницах, может потребоваться коэффициент $f_{\text{чист}} \geq 1,5$, так как в этих учреждениях необходим повышенный уровень применения моющих и чистящих средств.

Таблица 3.11

Коэффициент препятствования $f_{\text{чист}}$ в зависимости от применения моющих и чистящих средств

Применение моющих и чистящих средств	Коэффициент препятствования $f_{\text{чист}}$
Нет	1,0
Да	1,3 1,5 или более

Перед каждым жиросборником должен быть установлен илоуловитель. Его размеры определяются по номинальному размеру жиросборника.

Таблица 3.12

Ориентировочные значения для расчета параметров жиросборников

НР	Номинальное значения для линий подачи, отвода и соединения	Объем илоуловителя, л (100 л · НР / для мясорерабатывающих предприятий 200 л · НР)	Суммарный минимальный объем пространства жиросборника и жиросборника, л соответственно 240 НР + 40 НР)	Минимальная площадь пространства жиросборника, м ² (0,25 НР)
2	100	200/400	560	0,5
4	100	400/800	1120	1,0
10	150	1000/2000	2800	2,5
15	200	1500	4200	3,75
20	200	2000	5600	5,0
25	200	2500	7000	6,25

В табл. 3.12 приведены ориентировочные значения для расчета параметров улавливающих сооружений и расположенных перед ними илоуловителей.

Пример расчета 3.6 (определение размеров жиролоуловителя)

Необходимо определить размеры жиролоуловителя для кухни по имеющимся результатам теста сточных вод в двух точках поступления (ТП):

ТП (АС) 1: 0-6 ч: 0 м³; 6-8 ч: 12 м³; 8-12 ч: 20 м³; 12-14 ч: 8 м³; 14-17 ч: 16 м³;

17-24 ч: 0 м³;

ТП (АС) 1: 0-6 ч: 0 м³; 6-8 ч: 0 м³; 8-12 ч: 14 м³; 12-14 ч: 18 м³; 14-17 ч: 16 м³;

17-24 ч: 0 м³.

Для определения параметров следует учитывать, что с 14 ч ведется работа с очень горячей водой (>60 °С). Чистящие средства применяются крайне экономно; особых трудностей из-за твердых и жидких веществ нет.

Решение

Определение количества загрязненной воды за 1 ч:

6-8 ч: $12 \text{ м}^3 / 2 \text{ ч} = 6 \text{ м}^3 / \text{ч} = 1,7 \text{ л/с}$;

8-12 ч: $34 \text{ м}^3 / 2 \text{ ч} = 17 \text{ м}^3 / \text{ч} = 4,7 \text{ л/с}$ (макс.);

12-14 ч: $26 \text{ м}^3 / 2 \text{ ч} = 13 \text{ м}^3 / \text{ч} = 3,6 \text{ л/с}$;

14-17 ч: $32 \text{ м}^3 / 2 \text{ ч} = 16 \text{ м}^3 / \text{ч} = 4,4 \text{ л/с}$.

Расчет номинального размера жиролоуловителя: коэффициенты препятствования: $f_{\text{пл}} = 1$; $f_{\text{чист}} = 1$;

$f_T = 1,3$ (с 14 ч; температура >60 °С; см. табл. 3.10);

номинальный размер: $\text{НР} = Q_{\text{max}} f_{\text{пл}} f_T f_{\text{чист}}$; $\text{НР} = 4,7 \cdot 1,0 = 4,7$;

$\text{НР} = 4,4 \cdot 1,3 = 5,7$.

Коалесцентные уловители

Определение параметров коалесцентных уловителей соответствует определению параметров уловителей для легких веществ. Определение номинального размера осуществляется по формуле

$$\text{НР} = (Q_{\text{чист}} + f_x Q_{\text{ст}}) f_{\text{пл}}. \quad (3.27)$$

Применяемые коэффициенты те же, что и при определении параметров уловителей легких жидкостей (3.22).

Если впускаются сточные воды с высоким содержанием углеводов, то перед коалесцентным уловителем должен быть установлен уловитель легких жидкостей. При этом следует учитывать, что коэффициент плотности независимо от плотности основной легкой жидкости для обоих улавливающих устройств должен быть $f_{пл} = 1$.

Пример удаления жира из улавливающих устройств

В качестве примера удаления содержимого уловителя приведено удаление содержимого ило- и жируловителя. Содержимое ило- и жируловителя отсасывается в вакуумный резервуар (рис. 3.27).

Затем осуществляется перекачка в реактор, в который вручную добавляется вспомогательное вещество для коагуляции. После взятия проб и испытания процесса коагуляции при необходимости добавляются вещества для коагуляции.

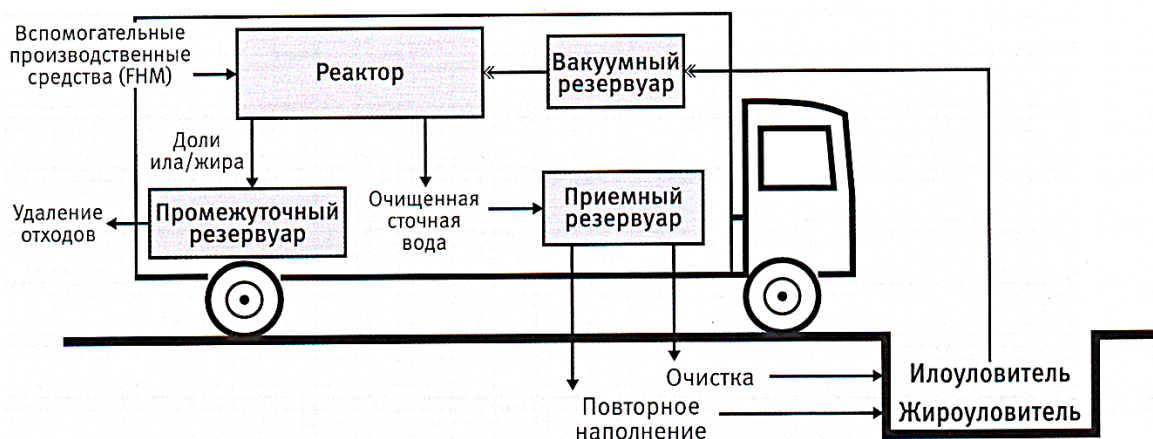


Рис. 3.27. Упрощенная технологическая схема мобильного устройства по удалению содержимого ило- и жируловителей

При помощи системы фильтрации осуществляется разделение смеси загрязнений и сточной воды. Очищенная сточная вода направляется в промежуточную емкость.

Следующим шагом работы является очистка жирулавливающего устройства при помощи трубки высокого давления с очищенной сточной водой из промежуточной емкости под высоким давлением.

После визуального контроля опорожненного и очищенного улавливающего устройства проводится повторное наполнение устройств очищенной водой из промежуточной емкости.

Смесь загрязнений и жира временно сохраняется в реакторе до удаления (например, анаэробного брожения или получения биогаза).

1.6. Фильтрация

Пределы производительности описанных процессов отделения в отстойниках и флотационных сепараторах/сепараторах плавающих примесей достигаются тогда, когда взвешенные частицы слишком малы или разница их плотности с водой слишком незначительна.

Однако в производственной сфере часто требуется максимально возможное разделение взвешенных веществ. В некоторых отраслях, например в электронике, установлены высокие или очень высокие требования к чистоте производственной или технической воды. Также максимально эффективные методики очистки и подготовки, например применение фильтров из активированного угля, ионообменных фильтров и обратного осмоса, требуют того, чтобы вода почти не содержала твердых веществ.

Чтобы соответствовать высоким требованиям к отсутствию твердых веществ в воде, применяются методики фильтрации. В отличие от осаждения или флотации при фильтрации не требуется никакой разницы в плотности между частицами и жидкостью. Разделение частиц и жидкости осуществляется при помощи разницы давлений по обе стороны фильтра, которая способствует перемещению воды через фильтр. Частицы задерживаются фильтрующим веществом.

Разнообразные способы фильтрации для разных методик сепарации представлены на рис. 3.28.

В этом разделе речь идет о фильтрации твердых частиц; мембранная технология будет представлена в разд. 3.5 «Мембранная технология».

Методики фильтрации могут быть разделены на медленную и быструю. Медленная фильтрация применяется в основном при подготовке питьевой воды.

В очистке сточных вод по экономическим и производственно-технологическим причинам применяется быстрая фильтрация, т. е. фильтрация со скоростью более 2 м/ч.

Также можно разделить фильтрацию на объемную и поверхностную, т. е. фильтр действует на поверхности (высота фильтрующего слоя – до 30 см) или в глубине фильтрующей массы в пористых пространствах (обычная высота фильтрующего слоя 1,0-2,5 м).

Фильтрацией можно достичь содержания твердых веществ в отводящем потоке от 3 до 5 мг/л. При поверхностной фильтрации из

сточных вод удаляются преимущественно частицы размером >10 мкм. Объемные фильтры могут удалять из сточных вод очень мелкие частицы <10 мкм.

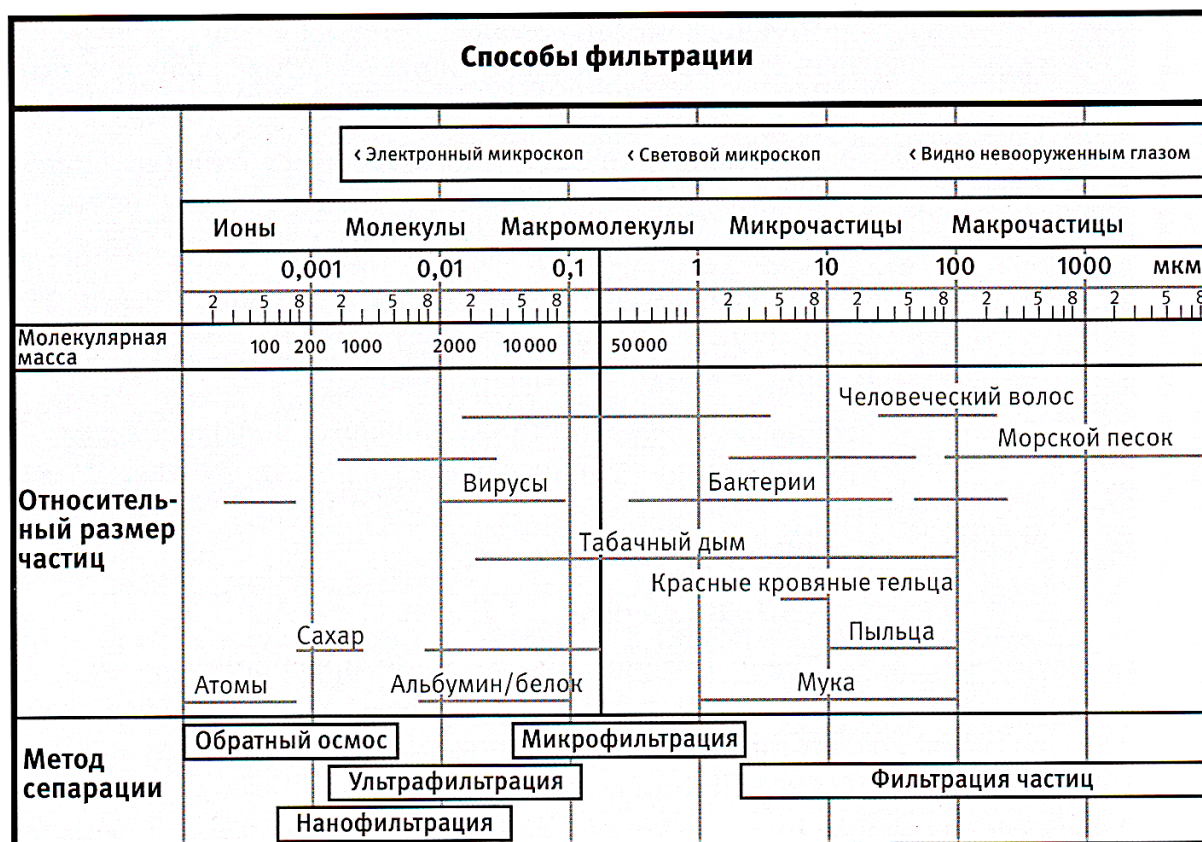


Рис. 3.28. Способы фильтрации для разных методик сепарации

1.6.1. Объемная фильтрация

Фильтрующее действие объемного фильтра основывается на комплексе физических, химических или биологических процессов, рис. 3.29.

При помощи механизмов транспортировки и осаждения веществ достигается большая способность к задержке взвешенных веществ, частицы которых меньше, чем диаметр пор наполнителя фильтра, например коллоидов или растворенных веществ.

При задержке частиц имеют значение следующие механизмы:

- *Гидравлические эффекты*: разделение линии потока и сужение сечения потока зернистыми частицами фильтра, а также имеющее место при слоистом

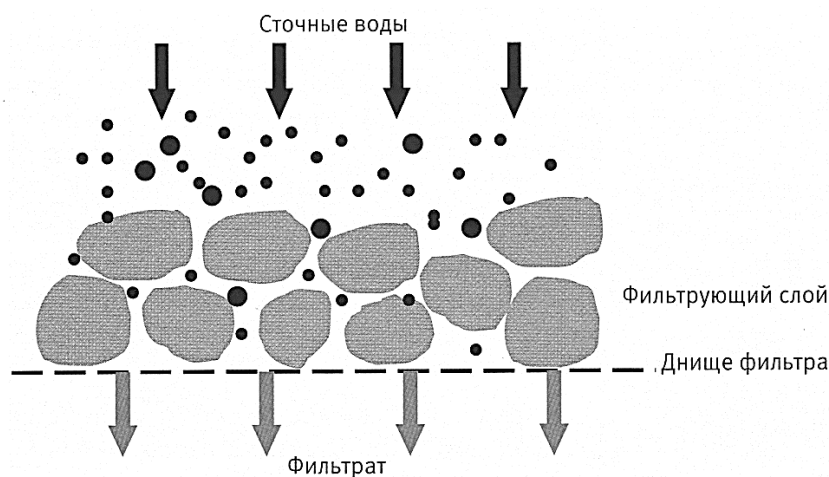


Рис. 3.29. Принцип объемной фильтрации

- потоке параболическое деление скорости увеличивают вероятность контакта между частицей и зерном фильтра.
- *Осаждение*: при осаждении частицы получают направленное вниз ускорение, при этом скорость по закону Стокса пропорциональна разнице плотности воды и частиц, а также квадрату диаметра частиц (см. разд. 3.2 «Осаждение»). Релевантное влияние этот эффект оказывает при размерах частиц >2 мкм.
- *Диффузия*: диффузия или броуновское движение молекул является ненаправленным перемещением, особенно она касается растворенных веществ и частиц размером <1 мкм. Повышается вероятность контакта частицы и зерна фильтра.
- *Силы Ван-дер-Ваальса* основаны на притяжении масс. Они действуют вследствие того, что атомы на короткое время получают асимметричное распределение заряда, благодаря чему представляют собой диполь. Затем сближаются атомы, у которых смещение заряда происходит синхронно, так что они притягиваются при определенном расстоянии между ними.
- *Кулоновские силы* действуют между частицами равного или различного заряда. Частицы с одинаковым зарядом отталкиваются, а частицы с разным зарядом притягиваются. Как правило, кулоновские силы существенно больше сил Ван-дер-Ваальса.

- Вследствие потенциала граничных плоскостей фильтрующего материала и воды, как правило, возникает положительный заряд на зернах фильтра. Коллоидально растворенные и нерастворенные частицы в основном имеют отрицательный заряд.

Определение параметров, эксплуатация

Основной измеряемый параметр – это скорость фильтрации (v_{ϕ}). Она влияет на сопротивление фильтра и на время прохождения, а наряду с этим также на удаление частиц и стабильность процесса: при относительно низких скоростях фильтрации фильтр менее чувствителен к колебаниям нагрузки. Наибольшая стабильность процесса обнаруживается при статистической оценке измеренных остаточных концентраций на выходе из фильтра с незначительным разбросом результатов измерений относительно среднего значения (стандартным отклонением).

Для объемных фильтров возможна скорость фильтрации до 15 м/ч (при максимальном притоке сточных вод). При коагулирующей фильтрации и применении фильтров биологического действия следует выбрать несколько меньшую нагрузку (около 12 м/ч). Рассчитанная таким образом площадь фильтра является «площадью нетто», т. е. следует брать в расчет дополнительную фильтрующую площадь на случай, если отдельные ячейки фильтра будут промываться.

$$A = \frac{Q}{v_{\phi}}, \quad (3.28)$$

где A – поверхность фильтра, м²;

v_{ϕ} – скорость фильтрации, м/ч;

Q – расход, м³/ч.

Во время процесса фильтрации твердые вещества накапливаются в фильтре и таким образом уменьшают объем пор. Вследствие этого изменяется как сопротивление фильтра, так и качество фильтрованной воды. Сопротивление фильтра или потеря давления возрастает вследствие увеличивающегося закупоривания объема пор.

Соответствующее увеличение сопротивления фильтра представлено на диаграмме Мишо (Micheau) (рис. 3.30).

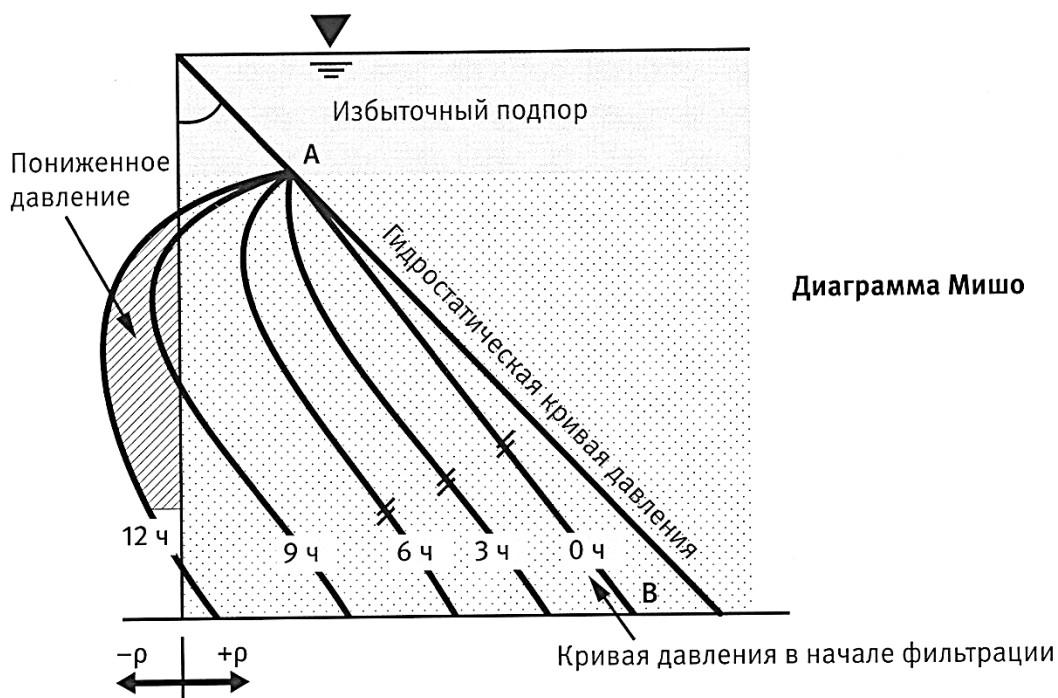


Рис. 3.30. Рабочие характеристики однослойных фильтров при фильтрации суспензий, диаграмма сопротивления фильтра

Кривая давления А-В представляет потерю давления в начале фильтрации, что возникает только из-за трения при проходе воды через суженные поры.

По причине отложения частиц в верхних слоях с увеличением времени фильтрации происходит постоянное увеличение сопротивления фильтра. Параллельное направление кривой в нижней части показывает, что здесь слои еще не нагружены.

В заштрихованной области имеет место низкое давление. Это состояние возникает лишь тогда, когда постоянно поддерживается избыточный подпор.

В открытых фильтрах избыточный подпор возрастает соответственно сопротивлению фильтра и «преодолевает» потерю давления. Если все же возникает локально ограниченное пониженное давление, есть опасность, что растворенные газы образуют пузыри, которые плотно забьют поры и сузят сечение протока. В этой части фильтра это может привести к повышению скорости протока до турбулентной области и к освобождению ранее осевших частиц (прорыв фильтра).

Если достигнуто предельно допустимое сопротивление фильтра или предельное качество фильтрованной воды, то следует промыть фильтр.

Промывка осуществляется в несколько этапов как водой, так и воздухом (табл. 3.13). При этом промывка водой имеет цель снизить плотность фильтрующего слоя и вымыть твердые вещества, в то время как очисткой воздухом достигается большое завихрение в фильтрующем слое, благодаря чему отделяются плотно застрявшие в фильтрующем материале частицы и биопленки. Потребление воды для промывки должно быть минимально возможным.

При этом следует учитывать скорость извлечения материала, при превышении которой самые мелкие зерна фильтрующей прослойки выносятся с водой для промывки.

Таблица 3.13

Пример программы промывки многослойного фильтра, образующего избыточный подпор – необходимая промывка

Этап	Цель	Скорость воздуха, м/ч	Скорость воды, м/ч	Продолжительность, мин
1	Прерывание притока			
2	Снижение уровня воды под избыточным давлением			
3	Вскрытие прослойки фильтрующего материала	75-100	—	2,0-5,0
4	Смешивание веществ при большом завихрении	75-100	12-20	1,5-3,0
5	Извлечение твердых веществ		55-90	2,0-6,0
6	Сортировка фильтрующих веществ и разделение слоев		60-100	1,5-2,0
7	Ввод фильтра в эксплуатацию			

Скорость прочистки воздухом находится в пределах 75-100 м/ч. Если производится только промывка водой, то устанавливаются скорости приблизительно от 55 до 100 м/ч, а при сочетании прочистки воздухом и водой – приблизительно от 12 до 20 м/ч. Для многослойных фильтров скорость промывки водой должна устанавливаться так, чтобы производилась сортировка различных слоев, т. е. разделение зерен фильтра различного диаметра.

Для этого фильтрующий слой должен быть достаточно расширен (от 20 до 30%). Необходимы зернистые материалы различной плотности. Так, зерна меньшего диаметра, чтобы они осаждались быстрее, должны быть тяжелее крупных, формула Стокса (3.13).

Пример расчета 3.7 (определение параметров объемного фильтра)

Для фильтрации биологически очищенных сточных вод определяются параметры объемного фильтра (фильтра с направленным вниз потоком и постоянной величиной подпора).

Это устройство служит для соблюдения повышенных требований к качеству выпускаемой воды, особенно относительно содержания фосфора. Заданы следующие значения:

Гидравлическая нагрузка: $Q_{\text{сут}} = 54000 \text{ м}^3/\text{сут}$ при $Q_{\text{сухо},h,\text{max}} = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $Q_{\text{см}} = 5500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Содержание твердых веществ перед фильтрацией $X_{\text{CB},\text{AN}} = 20 \text{ г СВ/м}^3$; содержание фосфора перед фильтрацией $C_{\text{P},\text{AN}} = 1 \text{ мг/л}$.

Контрольные значения: ХПК = 60 мг/л; БПК₅ = 10 мг/л; NH₄-N = 5 мг/л при $T > 12 \text{ °C}$; $P_{\text{общ}} = 0,5 \text{ мг/л}$; $N_{\text{общ}} = 18 \text{ мг/л}$ (как $N_{\text{неорг}}$).

Выбор фильтра: минимальное количество блоков – 6; размер фильтрующей поверхности по критерию $Q_{\text{промыв}} \approx Q_{\text{сухо}}$; фильтрующая площадь на блок $< 80 \text{ м}^2$.

Осаждающие добавки: 3-4 мг/л Fe³⁺ при концентрации фосфора в сточных водах 1 мг/л.

Выбор фильтрующих материалов (проектируется двухслойный фильтр): верхний слой: антрацит с размером зерен 1,4-2,5 мм, высота слоя 1,0 м; нижний слой: песок для фильтров с размером зерен 0,71-1,25 мм, высота слоя 0,5 м; опорный слой: гравий для фильтров, высота слоя 0,20 м.

Программа промывки состоит из семи этапов:

- прерывание притока;
- снижение уровня воды под избыточным давлением;
- вскрытие прослойки фильтрующего материала (продолжительность 2-5 мин);
- смешивание веществ при большом завихрении (скорость воды 12-20 м/ч, продолжительность 1,5-3,0 мин);

- извлечение твердых веществ (скорость воды 55-90 м/ч, продолжительность 2-6 мин);
- сортировка фильтрующих веществ/разделение слоев (скорость воды 60-100 м/ч, продолжительность 1,5-2,0 мин);
- ввод фильтра в эксплуатацию.

Решение

Определение допустимых скоростей фильтрации: сухая погода $v_{\phi} = 7,5$ м/ч; приток смешанной воды $v_{\phi} = 15,0$ м/ч.

Расчет теоретически требуемой поверхности фильтра и блоков фильтра: $A_{\phi} = Q/v_{\phi}$:

$$A_{\phi} = 3000 \text{ м}^3/\text{ч} / 7,5 \text{ м/ч} = 400 \text{ м}^2 \text{ при } Q_{\text{ч}}^{\text{SEP}}$$

$$A_{\phi} = 5500 \text{ м}^3/\text{ч} / 15 \text{ м/ч} = 367 \text{ м}^2 \text{ при } Q_{\text{см}}$$

Выбор скорости промывки: ~ 80 м/ч.

Расчет необходимой площади на блок: $A_i = Q_{\text{промыв}} / v_{\text{промыв}} = 3000 \text{ м}^3/\text{ч} / 80 \text{ м/ч} = 37,5 \text{ м}^2$.

Количество блоков: $A_{\phi}/A_i = 400 \text{ м}^2 / 37,5 \text{ м}^2 \rightarrow 10,7 \rightarrow$ принято 12 блоков по 34 м^2 с $A_{\text{общ}} = 12 \cdot 34 \text{ м}^2 = 408 \text{ м}^2 > 400 \text{ м}^2$.

Определение притока смешанной воды с учетом одновременной промывки одного блока фильтра:

$$Q_{\text{см}} / ((n - 1) \cdot A_i) = 5500 \text{ м}^3/\text{ч} / ((12 - 1) \cdot 34 \text{ м}^2) = 14,7 \text{ м/ч} \leq 15 \text{ м/ч}.$$

Расчет количества осаждающего средства: (осаждение фосфора, см. «Осаждение анионов»).

При $Q_{\text{ч}} = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($=833$ л/с) и добавлении 4 мг/л железа (водный раствор FeClSO_4 с 184 г/л Fe^{3+}) добавляются (833 л/с/ 4 мг/л) $\text{Fe} = 3332$ мг/с железа или $3332/184 = 18,1$ мл/с водного раствора FeClSO_4 .

Потребление моющего средства во время промывки одного блока фильтра:

$$\text{этап 4: } 20 \text{ м/ч} \cdot 34 \text{ м}^2 \cdot 2 \text{ мин} / 60 \text{ мин/ч} = 23 \text{ м}^3;$$

$$\text{этап 5: } 60 \text{ м/ч} \cdot 34 \text{ м}^2 \cdot 5 \text{ мин} / 60 \text{ мин/ч} = 170 \text{ м}^3;$$

$$\text{этап 6: } 80 \text{ м/ч} \cdot 34 \text{ м}^2 \cdot 2 \text{ мин} / 60 \text{ мин/ч} = 91 \text{ м}^3 \rightarrow \text{итого } 284 \text{ м}^3.$$

Определение достаточного количества воды для промывки на выходе из фильтра: приход: ночной приток $= 54\,000 \cdot 1/42 = 1286 \text{ м}^3/\text{ч} =$

21,4 м³/мин; максимальная потребность (этап 6): 80 м/ч · 34 м² · 1 мин/60 мин/ч = 45,5 м³/мин > 21,4 м³/мин.

Требуемый объем резервуара для фильтрованной воды: $\frac{Q \cdot T}{\eta}$

$$Q \cdot 2 \text{ мин} = (45,5 - 21,4) \cdot 2 = 48,2 \text{ м}^3.$$

$$\text{Учет этапа 5: } 170 \text{ м}^3/5 \text{ мин} = 34 \text{ м}^3/\text{мин} \rightarrow (34 - 21,4) \cdot 5 = 63 \text{ м}^3.$$

$$\text{Общий объем: } 48,2 + 63 = 111,2 \text{ м}^3.$$

Метод объемной фильтрации

Объемные фильтры могут быть выполнены в виде открытой или закрытой (напорные фильтры) конструкции, однослойными или многослойными, с верхним или нижним направлением потока, как подпорные или сухие фильтры. При помощи фильтров с двумя или более слоями можно достигнуть более эффективного использования пространства. Для этого диаметр зерен разных слоев фильтра уменьшается в направлении течения.

Особыми формами объемной фильтрации являются биофильтрация и коагулирующая фильтрация. При биофильтрации фильтр используется одновременно как поверхность для роста бактерий и, таким образом, для аэробного биологического разложения растворенного органического вещества, дополнительно к фильтрующему действию. В качестве фильтрующих материалов для биофильтрации наряду с инертными материалами применяются различные активированные угли и жженный глинистый материал (биолит).

Основаниями для применения биологически усиленной объемной фильтрации для нитрификации являются:

- применение пористых фильтрующих материалов в качестве поверхностей для роста неподвижных организмов;
- достаточное снабжение кислородом биологической среды фильтра.

Достаточный приток кислорода может достигаться, например, предварительной аэрацией сточной воды или путем прямой аэрации фильтрующего слоя.

При прямой аэрации фильтрующего слоя степень нитрификации существенно выше, чем при предварительной аэрации сточных вод, так как в последнем случае приток кислорода ограничен насыщением. Приток кислорода при предварительной аэрации может быть повышен за счет возврата отфильтрованной воды для предварительной аэрации.

Для удаления фосфора применяется коагулирующая фильтрация. Вследствие добавления осаждающего средства растворенный фосфор выпадает в осадок и таким образом переходит в форму отделяемых частиц. Достижимы концентрации фосфора на выходе менее 1 мг/л.

Прочие области применения объемной фильтрации предполагают комбинированное применение фильтрации и адсорбции при помощи активированного угля и фильтра из него (см. также разд. 4.2 «Адсорбция»). Таким образом, можно удалять из сточных вод как твердые вещества, так и адсорбируемые растворенные вещества, например вещества и красители, образующие адсорбируемые органические галогениды.

Фильтрация нисходящего потока

При фильтрации нисходящего потока жидкость протекает через подпорный фильтр сверху вниз. Процедура промывки осуществляется в противоположном направлении – снизу вверх. Фильтрация нисходящего потока (рис. 3.31) чаще всего применяется для фильтрации сточных вод.

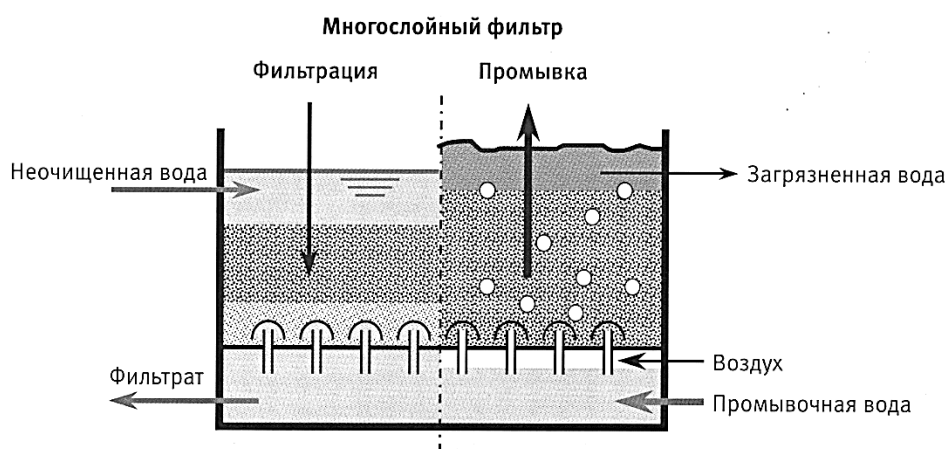


Рис. 3.31. Фильтрация нисходящего потока и процедура промывки

Для требуемых для промывки сопел между днищем фильтра и фильтрующим слоем требуется опорный слой, созданный из нескольких слоев промытого гравия с уменьшающимся диаметром зерен (сверху мелкий, снизу крупный).

В целом его высота должна быть от 40 до 50 см; следует избегать проникновения фильтрующего песка в сопла. Кроме того, при промывке это способствует равномерному распределению воды по горизонтальному сечению фильтра.

Чтобы поток проходил по всей поверхности горизонтального сечения, сопла располагаются на днище фильтра с небольшим шагом.

Фильтрация восходящего потока

Через фильтр с направленным вверх потоком при эксплуатации, а также при промывке поток направляется снизу вверх (рис. 3.32). Объемное действие достигается при помощи уменьшения размера зерен и диаметра пор в направлении потока. В качестве фильтрующего материала обычно используется песок для фильтров с размером зерен от 1 до 3 мм.

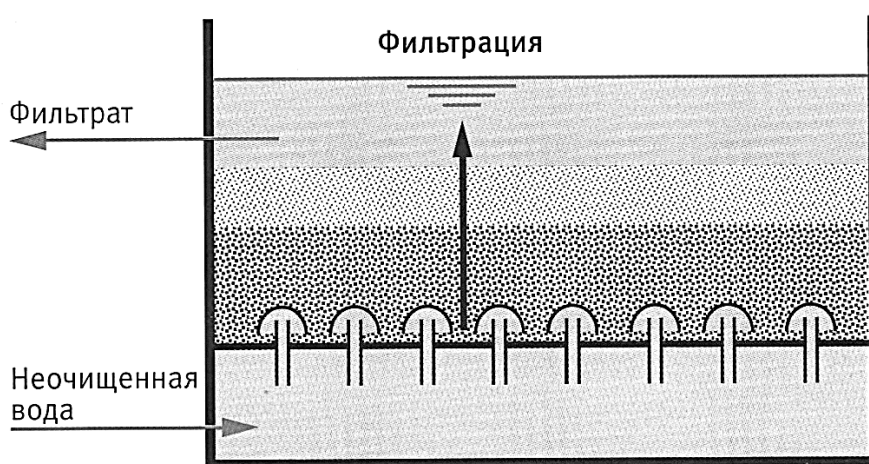


Рис. 3.32. Фильтрация восходящего потока

Фильтры восходящего потока имеют преимущество в том, что фильтрующий материал имеет одинаковый удельный вес во всех слоях. При промывке фильтрующий материал сортируется от грубого к тонкому и таким образом располагается в нужном положении. Недостаток заключается в том, что засоряющие вещества могут собираться под днищем с соплами.

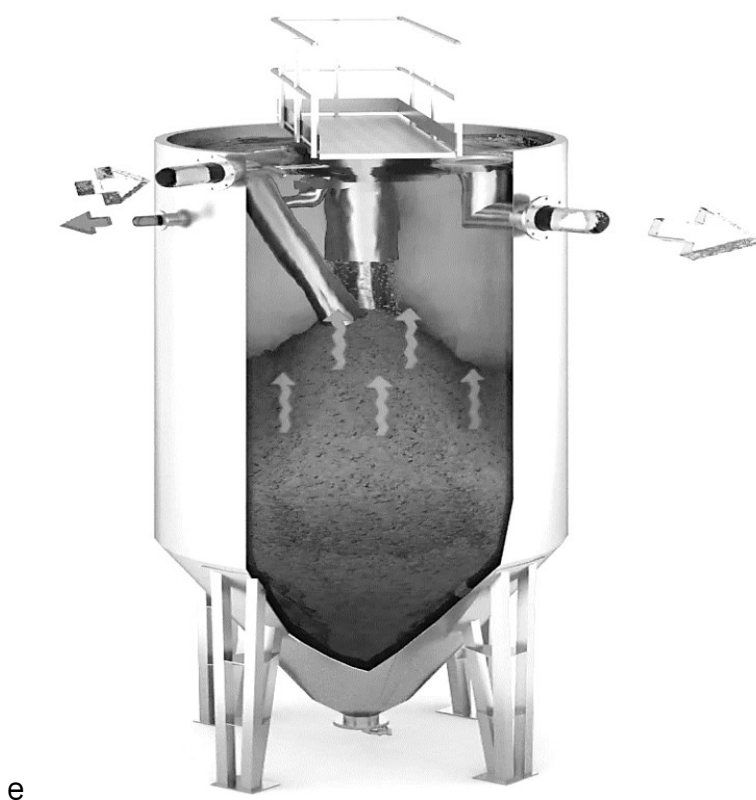
Непрерывно эксплуатируемые фильтры

У непрерывно эксплуатируемых быстрых фильтров процесс фильтрации и промывка осуществляются одновременно. В качестве примера можно рассмотреть разработанный в Швеции фильтр DynaSand, рис. 3.33.

Фильтрующий блок состоит из цилиндрической емкости с воронкообразным днищем. Поток идет через фильтр вверх со скоростями от

5 до 10 м/ч. Фильтрованная вода покидает фильтр сверху через выпускное устройство для фильтрата. Отфильтрованные вещества задерживаются на песчаной подушке, в то время как песок постоянно движется сверху вниз. Расположенный в центре, смонтированный внутри впускной трубы эрлифт перемещает наиболее загрязненный песок из конуса наверх в пескомойку.

В пескомойке загрязненный песок моется на противотоке фильтрованной водой. Очищенный песок ссыпается обратно в фильтрующий слой. Прибывающая сточная вода для промывки с взвешенными веществами непрерывно покидает фильтр через водосток для промывочной воды.



е

Рис. 3.33. Фильтр DynaSand

Фильтрация в слое песка и пескомойке – это также два одновременно и непрерывно протекающих процесса.

Сухая фильтрация

В сухом фильтре вода протекает через относительно грубый зернистый материал фильтрующего слоя так, что поры наполнены водой лишь частично. При достаточном снабжении кислородом с потоком воздуха, направленным вниз или вверх, растворенные вещества также

разлагаются и окисляются оседающими на поверхности зерен аэробными микроорганизмами. Соотношение скоростей воды и воздуха, как правило, составляет от 1 : 0,5 до 1 : 1.

Применение сухого фильтра является целесообразным, например, если наряду с удалением взвешенных веществ необходимо достичь нитрификации воды на выходе.

1.6.2. Поверхностная фильтрация

При поверхностной фильтрации из сточных вод возможно удаление частиц преимущественно размером >10 мкм. Различается ситовая, поперечная и осадочная фильтрация.

При осадочной фильтрации (рис. 3.34) содержащиеся в суспензии вещества задерживаются фильтрующей средой и осаждаются на ее поверхности. Таким образом, образуется «пирог», который действует как задерживающий слой для каждой новой частицы твердого вещества.

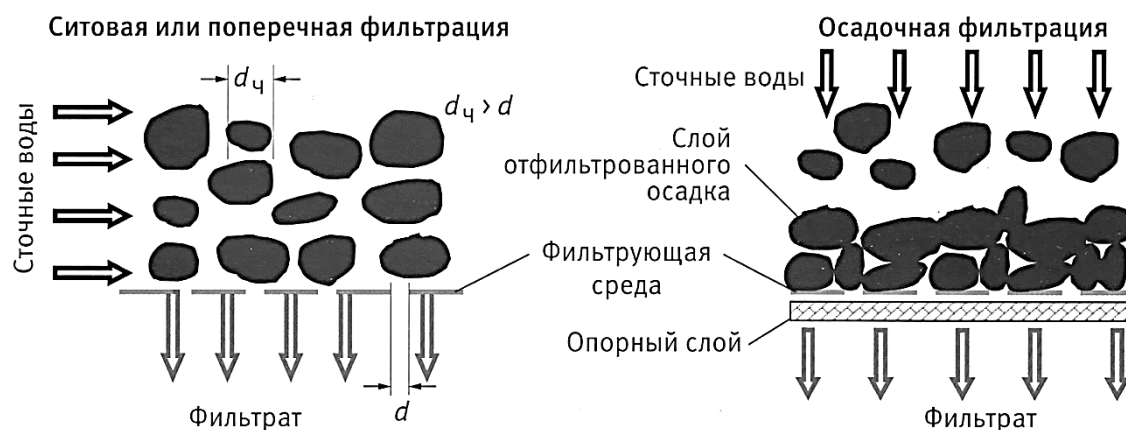


Рис. 3.34. Принцип ситовой и поперечной фильтрации, а также осадочной фильтрации без эффекта биологической очистки

Фильтрующая среда имеет только одну задачу – начать образование слоя осадка и удерживать этот слой. В отличие от объемной фильтрации внутри фильтрующей среды не происходит разделения. Осадочная фильтрация занимает промежуточное положение между чисто ситовой и объемной фильтрацией. Фильтрующее действие определяется структурой применяемой фильтрующей среды, а также фильтрующими свойствами и концентрацией твердых веществ.

С нарастанием слоя осадка возрастает сопротивление фильтра, т. е. увеличивается потеря давления. Общая потеря давления составляется из потери давления фильтрующей среды и отфильтрованного осадка. При достижении определенной потери давления необходимо удалить слой осадка с подкладки.

В качестве фильтрующей среды применяются песочные прослойки с небольшой высотой фильтрующего слоя от 0,3 до 0,4 м или тканые материалы из пластика, натурального волокна или проволоки. Фильтрация ткаными материалами называется тканевой фильтрацией.

При ситовой и поперечной фильтрации (см. рис. 3.34) частицы отделяются на поверхности фильтрующего средства. Сточные воды движутся к фильтрующей поверхности с относительно высокой скоростью, так что предотвращается осаждение твердых частиц на фильтрующем средстве и вследствие этого образование плотного слоя. Здесь имеет место чистый эффект сита, при котором соотношению размера частиц в сточной воде и ширине отверстий фильтрующего средства соответствует определенное значение (см. также разд. 3.1 «Сороудерживающие решетки и сита»).

В противоположность объемным фильтрам, поверхностными фильтрами не достигается эффекта биологической очистки. Преимуществами поверхностной фильтрации наряду с небольшими инвестиционными затратами является их устойчивость к прорыву.

1.7. Мембранная технология

Мембранные методы относятся к физическим методам, при которых сточные или технологические воды разделяются на очищенную воду и концентрат. Отделяются такие примеси, как:

- твердые вещества;
- растворенные вещества;
- коллоидные вещества;
- жидкости второй фазы.

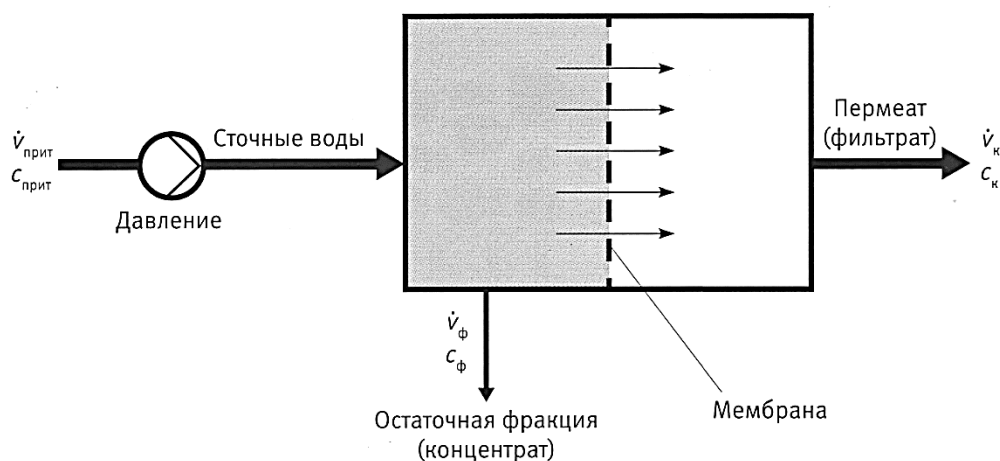


Рис. 3.35. Принцип мембранной технологии

Принцип мембранной технологии сепарации представлен на рис. 3.35. Подаваемая вода делится на два потока. Одна часть потока содержит продукт (фильтрат или пермеат) в зависимости от результативности сепарации, другой поток содержит остающуюся фракцию (или концентрат), которая содержит задержанные мембраной примеси сточных вод. Хотя для микро- и ультрафильтрации понятие фильтрата в части потока, проходящего через мембрану, формально верно, на практике установилось понятие пермеата, которое используется в дальнейшем для описания мембранной методики.

Мембранная фильтрация классифицируется по процессам сепарации, которые различаются по размеру молекул отделяемых примесей в воде:

- микрофильтрация (МФ);
- ультрафильтрация (УФ);
- нанофильтрация (НФ);
- обратный осмос (ОО).

Микро-, ультра- и нанофильтрация соответствует принципу пористой мембраны. Частицы, размер которых превышает максимальный диаметр пор мембраны, не могут пройти через нее. Диаметр пор определяет также предел сепарации мембраны.

Для обратного осмоса действует принцип мембраны растворимости, по которому молекулы воды проходят через мембрану путем перемещения мест (диффузии).

Идеальная мембрана растворимости представляет собой однородную полимерную пленку, механизм транспортировки которой

определяется в основном диффузией и распределением (растворимость диффундирующих веществ в материале мембраны и в среде). В противоположность пористой мембране, у которой отделение зависит от размера частиц, мембраной растворимости можно отделять вещества с тем же диаметром молекул, если их распределение в обеих средах достаточно различается.

Поскольку на сепарацию влияет не только размер частиц, но и молекулярные и коллоидные структуры, а также взаимодействие между мембраной и сепарируемой средой, то области применения в значительной степени пересекаются.

Мембранная технология применяется, в частности, для полноценной рециркуляции сточных вод: нефтяных эмульсий, промывочной воды металлообрабатывающей промышленности, при электрофоретическом окрашивании и в текстильной промышленности для окрашенных сточных вод. Сточные воды, из которых при помощи мембранного метода восстанавливаются ценные примеси, возникают, например, в пищевой промышленности, особенно молочной (белки), мясоперерабатывающей, химической промышленности и при производстве полупроводников. Прочие области применения можно найти в бумажной, химической, фармацевтической промышленности, а также в гальванике.

Еще одна разработка – это мембранно-биологический метод очистки. Здесь речь идет о методике, которая состоит из биологической очистки в аэротенке и отделении биомассы от очищенной воды при помощи мембраны. Мембранные биореакторы применяются, например, при очистке воды в бункерах и в фармацевтической промышленности.

1.7.1. Диффузия и осмотическое давление

Если на одной стороне воображаемой разделяющей плоскости находится чистая вода (среда), а на другой – раствор вещества в воде, то молекулы вещества по причине разности концентраций распространяются по чистой воде. В конечном объеме обеих исходных жидкостей выравнивание концентрации становится лишь вопросом времени.

Диффузия сформулирована в первом законе Фика:

$$\frac{dm}{dt} = -DA \frac{\Delta c}{\Delta x}, \quad (3.29)$$

где dm/dt – массовый поток; D – коэффициент диффузии; A – площадь мембраны; $\Delta c / \Delta x$ – градиент концентрации.

Если воображаемая разделяющая плоскость между средой и раствором замещается полупроницаемой мембраной, которая пропускает среду, но при этом задерживает растворенное вещество, то имеющая место диффузия называется осмосом. Из-за разницы концентраций (концентрация среды на стороне раствора меньше) среда перетекает с чистой стороны на сторону раствора.

Вследствие этого происходит повышение уровня жидкости на стороне концентрированного раствора. Если из-за этой разницы в гидростатическом давлении диффузия сходится на нет, то речь идет об осмотическом равновесии. Разница давлений называется осмотическим давлением, рис. 3.36.

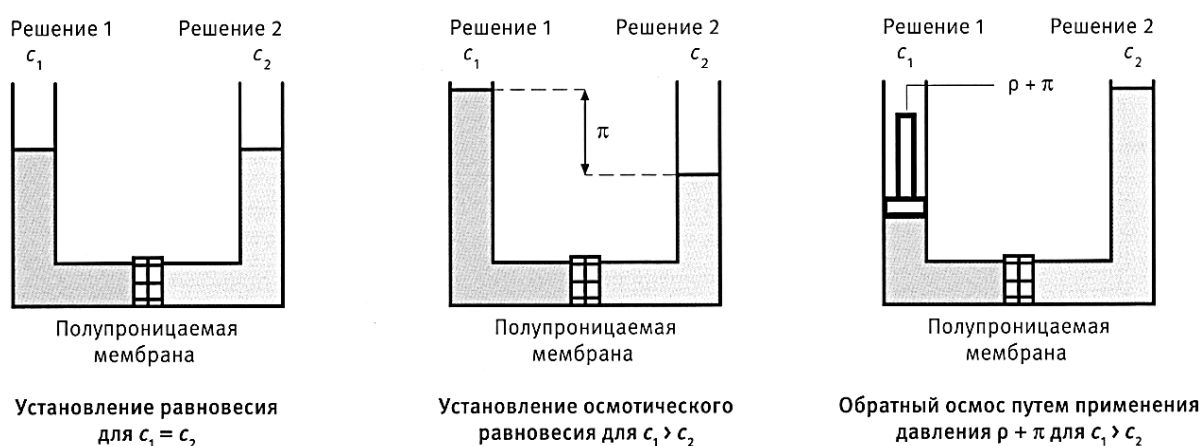


Рис. 3.36. Схематическое изображение для пояснения понятий осмоса/обратного осмоса

Осмотическое давление (3.30) пропорционально молярной концентрации растворенных веществ, т. е. количеству частиц на единицу объема. Один моль содержит $6 \cdot 10^{23}$ частиц. Если раствор состоит из диссоциирующих веществ, то это становится заметно при осмотическом давлении. Так, один моль содержит не $6 \cdot 10^{23}$ молекул NaCl, а, по степени диссоциации, большее количество частиц в форме ионов

натрия и хлорида. Итак, один моль NaCl содержит при 100%-ой диссоциации $6 \cdot 10^{23}$ ионов натрия и $6 \cdot 10^{23}$ ионов хлорида и имеет $12 \cdot 10^{23}$ частиц.

Поэтому для расчета осмотического давления следует учитывать степень диссоциации (3.31). Кроме того, растворы с небольшой молярной или атомной массой могут быть существенно более концентрированными, т. е. иметь больше частиц на единицу объема, вследствие чего имеют большее осмотическое давление, чем растворы высокомолекулярных веществ.

$$\Pi = \beta cRT, \quad (3.30)$$

$$\beta = 1 + \alpha(k - 1). \quad (3.31)$$

где Π – осмотическое давление, бар;

c – молярная концентрация, моль/л;

R – универсальная газовая постоянная, л·бар/ (моль·К);

T – температура, К;

β – постоянная пропорциональности;

α – степень диссоциации;

k – количество ионов (например, $\text{CaCl}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{Cl}^- \rightarrow k = 3$).

Если на стороне раствора имеется давление, превышающее осмотическое давление, то это ведет к смене направления потока среды (обратный осмос). Растворенные ионы, молекулы, а также коллоиды и эмульгированные частицы при этом задерживаются мембраной. Раствор более высокой концентрации (остаточная фракция) при этом концентрируется дальше, а на другой стороне мембраны можно найти «чистый» пермеат.

Пример расчета 3.8 (осмотическое давление)

Расчет осмотического давления раствора поваренной соли (NaCl $\rightarrow$ Na⁺Cl⁻) при содержании соли 3,5%.

Газовая постоянная:

$$R = 8,314 \cdot 10^{-2} \text{ л} - \text{бар/ (моль} \cdot \text{К)};$$

$$T = 293 \text{ К (20}^\circ\text{C)}.$$

Молярная масса NaCl:

$$M_{\text{NaCl}} = 58,5 \text{ г/моль}.$$

Степень диссоциации:

$$\alpha = 86\%;$$

$$c = 35 \text{ г/л} / 58,5 \text{ г/моль} = 0,6 \text{ моль/л.}$$

Осмотическое давление:

$$\Pi = [1 + 0,86 \cdot (2 - 1)] \cdot 0,6 \cdot R \cdot T = 27 \text{ бар.}$$

Для макромолекул, коллоидов, а также для взвешенных веществ осмотическое давление, как правило, невелико (и отчасти им можно даже пренебречь). Так как мельчайшие частицы вызывают высокое осмотическое давление, то, чем большее давление имеет место, тем мельче отделяемые частицы.

При микрофильтрации эти давления составляют от <1 до ~3 бар, при ультра-фильтрации – от ~1 до 10 бар, при нанофильтрации – от ~6 до 60 бар, а при обратном осмосе – от ~10 до >100 бар. Для пояснения на рис. 3.37 показана эффективность сепарации различных мембранных методов в зависимости от рабочих давлений.

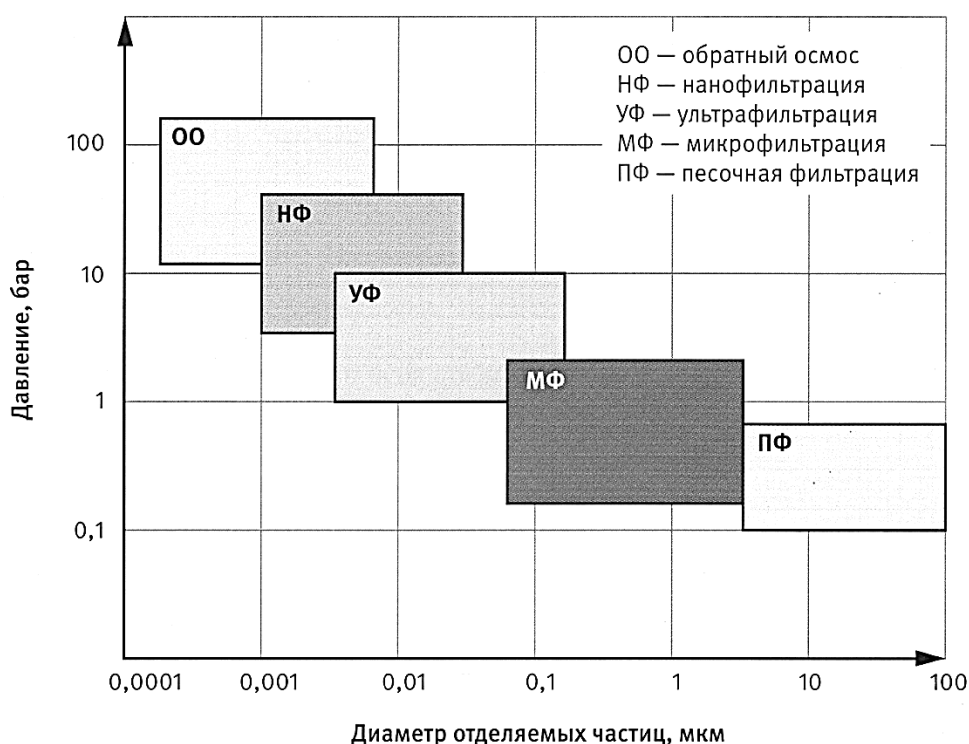


Рис. 3.37. Эффективность сепарации мембранными методами в зависимости от рабочих давлений

Указания по определению параметров

Поток пермеата Q_{Π} зависит от свойств мембраны, от действительного давления на мембрану, от толщины мембраны, а также от имеющейся мембранной поверхности.

Нагрузка на площадь (поток пермеата на квадратный метр поверхности мембраны), а также водный эквивалент и водный эквивалент мембраны является параметром метода мембранной фильтрации, который в значительной степени определяет экономичность ее применения. Поэтому следует стремиться к тому, чтобы достичь как можно более высокой плотности потока фильтрата в течение всего времени процедуры. Можно увеличивать ее в определенных пределах, если снижена плотность мембраны или увеличено гидростатическое давление. При этом предел является образуемым содержащимися в воде примесями наружным слоем, который нарастает до тех пор, пока водный эквивалент сокращается до установившегося значения (рис. 3.38).

$$v_{\pi} = \frac{Q_{\pi}}{A_{\text{м}}}, \frac{1}{\text{м}^2\text{ч}} \quad (3.32)$$

где $A_{\text{м}}$ – площадь мембраны, м^2 ; Q_{π} – поток пермеата, объем на единицу времени, л/ч.

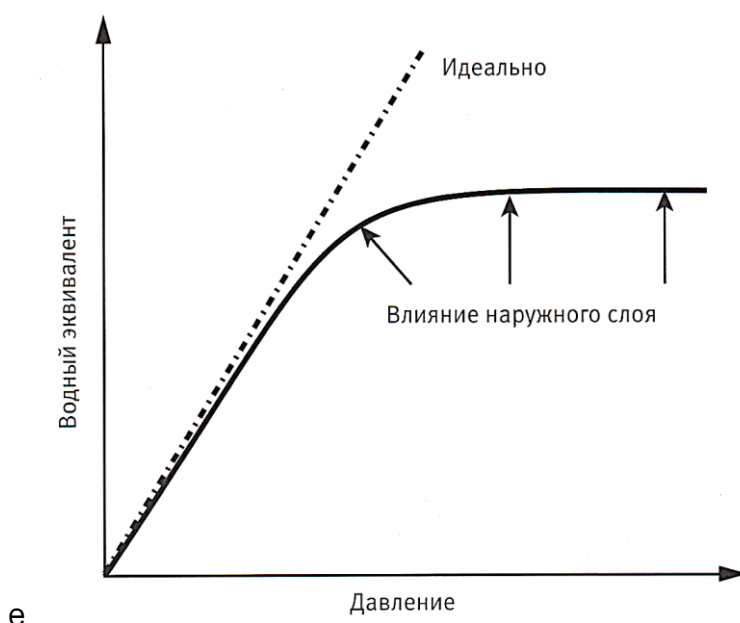


Рис. 3.38. Водный эквивалент в зависимости от давления (принципиальная схема)

Удельным потоком пермеата, или проницаемостью, называется поток пермеата, направленный на через мембранное давление и поверхность мембраны:

$$L_{\text{пр}} = \frac{v_{\text{п}}}{\Delta p_{\text{ч.м}}}, \frac{1}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{бар}}. \quad (3.33)$$

Проницаемость должна соотноситься с температурой, чтобы улучшить сопоставимость данных. Для определения нетто-потока пермеата учитывается время пауз и потоки пермеата, которые необходимы для очистки мембраны.

Водный эквивалент мембраны и проницаемость должны определяться предварительными и пилотными испытаниями на месте.

В табл. 3.14 представлены некоторые из этих примеров.

Таблица 3.14

**Практические примеры и указания по определению
параметров для мембранного
и мембранно-биологического метода**

Отрасль	Цель очистки	Тип мем- браны	Водный эк- вивалент, л/(м ² ·ч)	Давле- ние, бар
Металлическая про- мышленность, фосфа- тирование металличе- ских поверхностей	Подготовка емкостей для фосфатирования	НФ	20	2
Химическая промыш- ленность	Восстановление ве- ществ, подготовка воды	МФ	250	1
Производство солода	Очистка сточных вод с восстановлением воды	ОО	15	8
Производство полу- проводников	Концентрация сточных вод, рециркуляция тех- нологической воды	ОО	~37,5	28-34
Картонные фабрики	Биологическая подго- товка сточных вод для рециркуляции и непря- мого спуска	УФ	15	0,15
Бытовые сточные воды	Биологическая очистка Сточных вод	МФ/УФ	8-30	0,02- 0,3/0,4

Накипь: отложение неорганических примесей воды, которые при концентрации превышают границу растворимости и кристаллизуются. Вызывающие накипь примеси воды, например сульфаты, карбонаты и силикаты, могут эффективно удаляться при помощи различных методик осаждения и коагуляции при различных значениях рН и путем ионного обмена.

Обрастание: образование наружного слоя органическими примесями воды.

Биологическое обрастание: образование биопленки, которая сформирована, в том числе микроорганизмами.

В каждом отдельном случае следует вырабатывать свой способ очистки. Загрязнение мембраны накипью: чистка кислотой, например лимонной, соляной, при необходимости – комплексообразующим соединением.

Обрастание мембраны: чистка окисляющими средствами, например перекисью водорода, над уксусной кислотой, гипохлоритом натрия.

Биологическое обрастание мембраны: чистка окисляющими средствами либо щелочью или раствором едкого натра.

Пример расчета 3.9 (мембранная технология)

На предприятии еженедельно (100 ч/нед.) мембранной установкой очищается 12 м³ эмульсии охлаждающей смазки. Необходимо сравнить водный эквивалент мембраны с требуемой производительностью. Продолжительная эксплуатация и предварительное хранение не предусмотрены. Речь идет о следующих установках ультрафильтрации:

Установка 1: производительность – 55 л/ч; площадь мембраны ~ 1,4 м²; компактное исполнение; габаритные размеры: ~1750 · 1100 · 2000 мм.

Установка 2: производительность ~115 л/ч; площадь мембраны ~ 2,8 м²; компактное исполнение; габаритные размеры: ~1750 · 1100 · 2000 мм.

Установка 3: производительность ~175 л/ч; площадь мембраны - 4,3 м²; компактное исполнение; габаритные размеры: ~2500 · 1100 · 2000 мм.

Решение

Требуемая производительность: $Q_{\Pi} = V/t = 12\,000 \text{ л} / 100 \text{ ч} = 120 \text{ л/ч}$.

– Водный эквивалент мембраны 2: $v_{\Pi} = Q_{\Pi}/A_{\text{м}} = 120 \text{ л/ч} / 2,8 \text{ м}^2 = 42,9 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{ч)}$.

- Водный эквивалент мембраны 3: $v_{\text{п}} = Q_{\text{п}}/A_{\text{м}} = 120 \text{ л/ч} / 4,3 \text{ м}^2 = 27,9 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{ч)}$.

1.7.2. Мембраны и модули

Мембраны

Для технически правильной и рентабельной эксплуатации требуются следующие свойства мембран:

- высокая производительность по пермеату и хорошая способность к задержанию;
- хорошая избирательность;
- высокая механическая прочность;
- химическая и бактериологическая устойчивость;
- температурная устойчивость;
- прочность при чистке и стерилизации;
- долгий срок службы;
- невысокие эксплуатационные затраты.

Однако на практике применяются компромиссные варианты, так как определенные свойства являются взаимоисключающими.

Для производства мембран используются разнообразные материалы. Это могут быть либо модифицированные натуральные материалы, например производные от целлюлозы, синтетические материалы наподобие полиамида, различные полимеры, либо неорганические специальные материалы вроде стекла, графита или керамики.

Неорганические мембраны демонстрируют большую химическую, термическую и механическую устойчивость, но их производство сложно и поэтому дорого. Они применяются в специальных областях. Чаще всего используются синтетические полимерные мембраны.

Мембраны должны быть расположены соответствующим образом, так чтобы через них мог протекать фильтруемый раствор и был возможен оптимальный отвод пермеата. Такое расположение мембран в техническом блоке называется модулем. Конструкция определяется следующими аспектами:

- большое соотношение установленной мембранной поверхности и объема модуля (плотность размещения);
- хорошая возможность очистки;

- экономически выгодное изготовление;
- возможность недорогой замены поврежденных модулей;
- высокая пропускная способность;
- небольшая потеря давления при высоких скоростях потока.

Модули

В очистке сточных вод применяются модули с плоскими и трубчатыми мембранами.

Плоский модуль, рис. 3.39 состоит из нескольких расположенных друг над другом мембранных пластин. Необработанный раствор протекает через плоские каналы вдоль мембран, часть воды проступает через мембрану и выводится на дренажные пластины к сборнику пермеата (чистой воды). Применяется плотность размещения примерно от 100 до 250 м²/м³. Они имеют преимущество, состоящее в том, что отложения на мембранной поверхности могут относительно легко предотвращаться или удерживаться в определенных границах установкой хорошо контролируемого определенного соотношения потоков. Они также хорошо промываются.

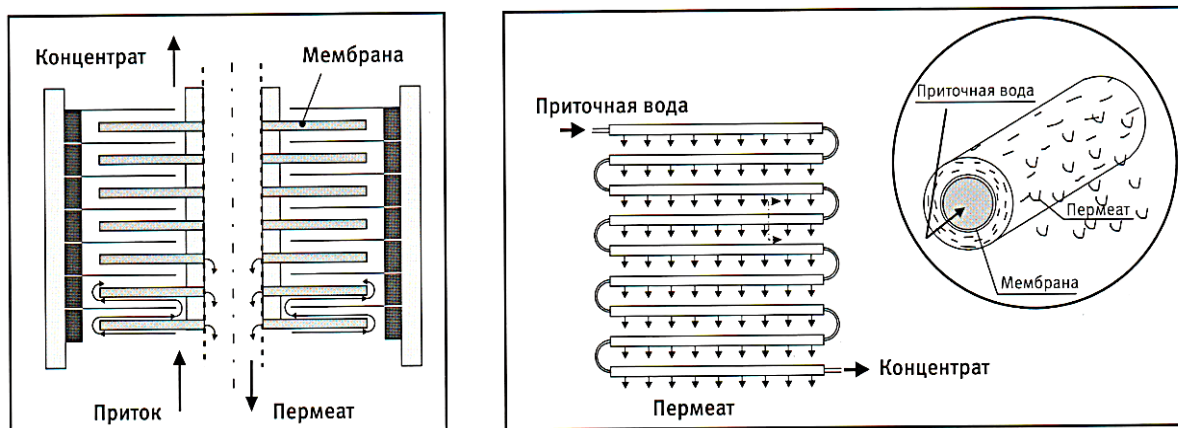


Рис. 3.39. Схематическое изображение плоского модуля (слева) и трубчатого мембранного модуля (справа)

Спиральные модули, рис. 3.40, состоят из двух так называемых мембранных карманов, которые намотаны вокруг трубы для сбора фильтрата.

Мембранные карманы состоят из двух лежащих друг на друге мембран, между которыми расположен высокопористый поддерживающий материал и которые склеены по трем сторонам. Необработанная вода протекает через пространство между мембранами под высоким

давлением в осевом направлении, при этом часть воды проходит через мембрану и течет по спирали по держателю мембраны к центральной трубе для сбора пермеата.

Спиральный модуль является относительно простым, экономичным и компактным фильтрующим блоком с высокой плотностью расположения ($700-1000 \text{ м}^2/\text{м}^3$). Однако по причине небольшого расстояния между мембранами и неконтролируемости направления потока при фильтрации растворов высокомолекулярных и коллоидных веществ могут возникать засорения. Механическая очистка невозможна, поэтому применение их целесообразно, если не образуется слоев налета, т. е. на практике эти модули применимы только для обратного осмоса.

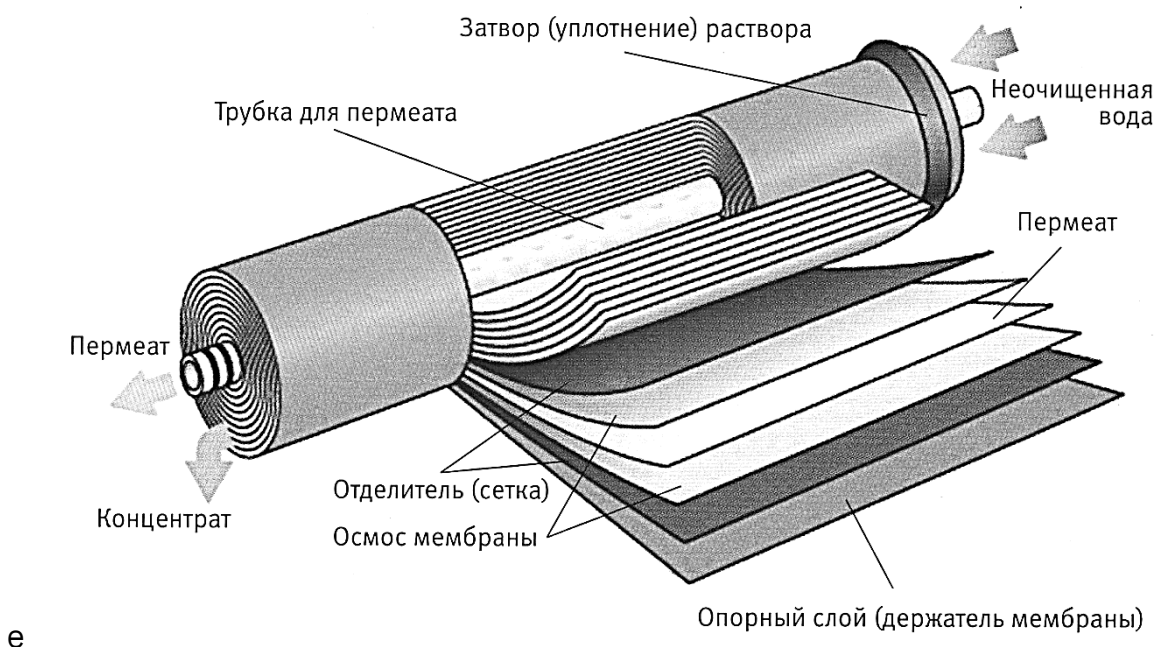


Рис. 3.40. Спиральные модули

Для трубчатого модуля (см. рис. 3.39) применяются мембранные шланги с расположенным внутри мембранным слоем, окруженным пористой поддерживающей трубой. Необработанный раствор вводится внутрь трубы, пермеат вытекает наружу. Они могут применяться при давлении до 100 бар. Пористые поддерживающие трубы для низкого давления изготавливаются из пластмассы, для высокого — из стали. Диаметры шлангов составляют от 1,0 до 2,5 см. Они имеют относительно небольшое соотношение поверхности мембраны и объема мо-

дуля, т. е. плотность расположения $20-90 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Преимуществом является то, что отложения на мембранной поверхности могут относительно легко предотвращаться или удерживаться в определенных границах установкой хорошо контролируемого определенного соотношения потоков. К тому же они могут легко очищаться механически.

Капиллярный модуль имеет структуру, аналогичную трубчатому модулю. Многочисленные мембранные трубки расположены параллельно друг другу и концами закреплены в торцевой пластине. Диаметр капилляров составляет от 0,2 до 1,5 мм. В одном модуле объединены около 3000 капилляров, поэтому плотность расположения достигает от 600 до $1200 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Стабильность давления капиллярных мембран основана на их самонесущих свойствах. Это создает преимущество, состоящее в возможности промывки мембран пермеатом.

Их механическая устойчивость достигает только 10 бар, однако при этом они демонстрируют благодаря высокой скорости потока невысокую чувствительность к концентрационной поляризации.

Около 100000 полых волокон наружным диаметром 85 мкм и внутренним 42 мкм помещены в трубу-оболочку как петли, и раствор подается в них снаружи. Они имеют наиболее высокую плотность расположения более $1000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ и допускают очень высокие давления (60-80 бар).

1.8. Выпаривание, высушивание

Вываривание

Вываривание является методом концентрации неиспаряющихся примесей сточных вод. Оно служит для отделения веществ различной испаряемости и отличается от высушивания более высоким содержанием остаточной воды.

В устройстве для выпаривания сточным водам прямым или непрямым нагревом передается энергия, необходимая для испарения. Водяной пар и испаряемые вещества отделяются от концентрата в сборнике конденсата. В то время как концентрат может быть возвращен в испаритель, соковые пары могут применяться для непрямого нагрева на следующих ступенях выпаривания.

Таблица 3.15

**Концентрация технологической воды при производстве
картофельного крахмала – проектные данные**

Показатель		Данные
Подача	Общий объем подачи	213 /ч (постоянная подача)
	Технологическая вода от производства крахмала	Объем потока 1: 110-145 м ³ /ч. Содержание сухих веществ 1,8 – 2 %. Температура: Перед подачей в протеиновую установку 38-40°C
	Коагулированная вода сока картофеля из протеиновой установки	Объем потока 2: 110-115 м ³ /ч. Содержание сухих веществ 5,5 – 6 %. Температура на выходе из протеиновой установки 86 °C ± 1 %
Выход	Продукт	Жидкий картофельный белок с минимальным содержанием сухого вещества 55%
	Конденсат	Максимально холодный и чистый
Производительность	Выработка пара	Минимум 230 т/ч
	Установка предварительной выпарки	Минимум 196 т/ч
	Концентратор остатка	Минимум 34 т/ч
	Температура концентрации	Максимум 87 °C
	Резервная мощность	Минимум 15% относительно мощности выработки пара
	Производительный цикл	Минимальная длительность эксплуатации – 120 ч, длительность очистки – максимум 9 ч

Возможная и желаемая степень концентрации зависит от многих факторов, например:

- от дальнейшего применения концентрата (например, повторное использование в производстве, корм, восстановление ценных веществ);
- способа устранения концентрата (например, сжигание, складирование);
- свойства концентрата (например, вязкость, склонность к образованию отложений, химическая стабильность).

В качестве примера в табл. 3.15 приведены проектные данные устройства для концентрации технологической воды при производстве картофельного крахмала выпариванием.

Возникающие при выпаривании соковые пары, как правило, загрязнены органическими примесями и должны быть очищены.

Блоки применяются в том числе как операционные устройства:

- испаритель естественной циркуляции;
- испаритель принудительной циркуляции;
- тонкослойный выпарной аппарат;
- многоступенчатый испаритель;
- погружная горелка.

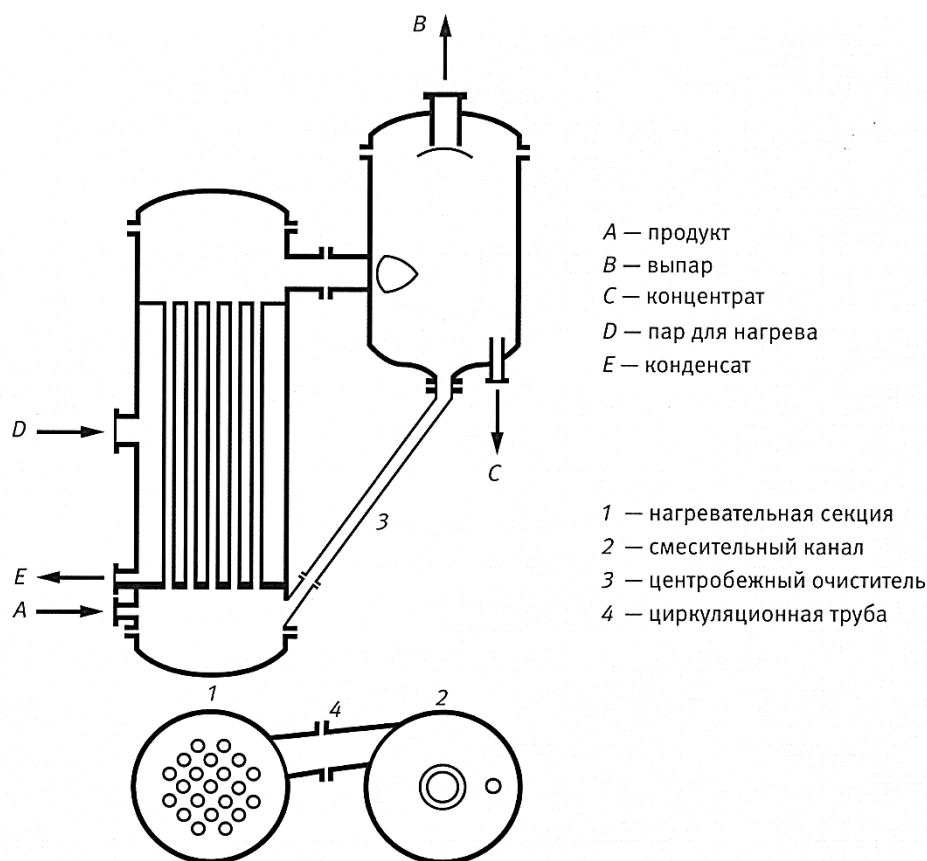


Рис. 3.41. Схематическое изображение циркуляционного выпарного аппарата

Выпаривание применяется, например, для очистки жидких отходов производства лимонной кислоты, дрожжей, целлюлозы и спирта. В пищевой промышленности и при обработке природных материалов требуются технически сложные установки по выпариванию сточных

вод. Более простые аппараты зачастую могут применяться в пищевой промышленности, рис. 3.41.

Высушивание

Высушивание является методикой выделения жидкости из системы твердого вещества и жидкости путем улетучивания или испарения жидкости. Процесс высушивания зависит от того, как жидкость – чаще всего вода – связана с твердым веществом. В благоприятном случае жидкость в виде тонких пленок прилипает к поверхности. Тепловая энергия поступает при сушке воздухом из сушащего воздуха, а при выпаривании – из нагревателя и из высушиваемого материала. Возникающие испарения, называемые выпаром, либо отводятся воздухом для сушки, либо устраняются вследствие перепада давлений или частичных давлений. Выпаривание производится при нормальном или пониженном давлении (вакуумная сушка). Высушиваются вещества, не обладающие или обладающие недостаточной способностью к механическому отделению жидкости.

Методы

Все многообразие методов сушки можно классифицировать:

- по давлению и температуре в помещении для сушки;
- типу подвода энергии.

Высушивание происходит при повышенном, нормальном или пониженном давлении, которое в большинстве случаев держится на постоянном уровне.

Температура либо выше, либо ниже температуры окружающей среды. Эта классификация предполагает, например, следующие методы сушки:

- сушка на открытом воздухе: материал выставляется на открытый атмосферный воздух, который постоянно поступает извне;
- сушка при повышенной температуре и нормальном давлении: материал подвергается повышенной температуре при нормальном атмосферном давлении;
- вакуумная сушка (рис. 3.42) при низкой температуре: материал подвергается пониженному давлению и низкой температуре (например, сушка вымораживанием: раствор замораживается, образуются кристаллы льда, которые во внешних

слоях включают в себя более высокие концентрации веществ раствора. При последующем процессе оттаивания сначала возникает концентрированный раствор);

- вакуумная сушка при высокой температуре;
- сушка при нормальном давлении и низкой температуре.

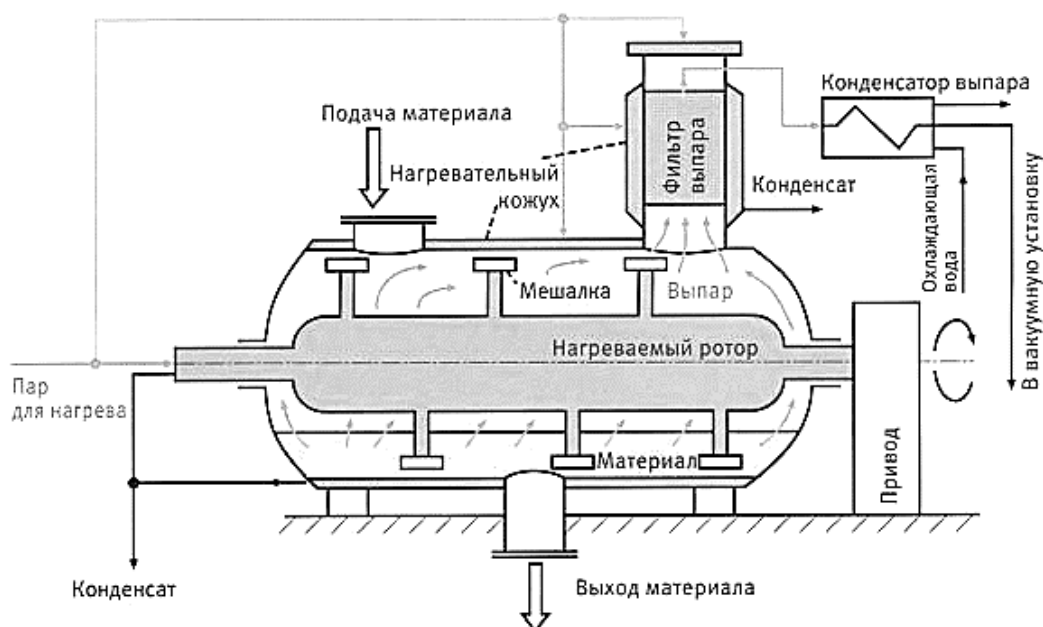


Рис. 3.42. Схема методики вакуумной сушки с перемешиванием

Пример расчета 3.10 (сушка на солнце)

Определение максимально возможного количества воды, которое может быть выпарено открытой системой (при пренебрежении климатическими воздействиями – ветром, влажностью воздуха и т. п.). Полное излучение составляет $\sim 4200 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, удельная теплота высушивания воды $\sim 2300 \text{ кДж/кг}$. Расчет ведется для поверхности 100 м^2 .

Решение

- $q = 4200 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}) - 1000 / 2300 \text{ кДж/кг} = 1826 \text{ л}/\text{м}^2 \text{ поверхности} \cdot \text{год}$;
- $Q = 1826 \text{ л}/(\text{м}^2 \text{ поверхности} \cdot \text{год}) \cdot 100 \text{ м}^2 = 182,6 \text{ м}^3/\text{год}$.

В большинстве случаев тепловая энергия передается материалу от нагревателя. Реже используется внутренняя энергия материала. С точки зрения тепловой энергии имеются следующие методики сушки:

- конвекционная сушка: горячий газ окружает материал и вступает с ним в тепловой обмен и диффузию. При этом газ может обтекать, продувать, обходить по спирали и уносить с собой материал. Варианты конвекционной сушки – это, например, сушка при помощи горелок, вихревая, проточная, подвесная и сушка продувкой;
- контактная сушка: материал либо находится в состоянии покоя на нагреваемой поверхности, либо постоянно приводится в соприкосновение с нагреваемой поверхностью перемешиванием или перекачиванием;
- инфракрасная сушка: на материал направляются большие потоки тепла при помощи облучения. Примеры высушиваемых веществ: текстиль, бумага, продукты питания, кофе.

Вопросы для самоконтроля

1. Очистка восстановлением, когда применяется, этапы процесса восстановления.
2. Реагентные методы выделения загрязняющих веществ в виде малорастворимых и нерастворимых соединений.
3. Общая технологическая схема реагентной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов
4. Роль физико-химических методов очистки сточных вод. Основные физико-химические методы. Общая характеристика.
5. Понятие о коагуляции и флокуляции, гетерокоагуляции.
6. Применяемые коагулянты и флокулянты.
7. Технология коагуляционной очистки сточных вод.
8. Технология флокуляционной очистки сточных вод.
9. Оборудование для коагуляционной и флокуляционной очистки сточных вод.
10. Понятие о хлопьеобразовании, в каком процессе участвует, роль хлопьеобразования.
11. Принцип работы осветлителя со взвешенным слоем осадка.
12. Понятие сорбции, роль в очистке сточных вод.
13. Применяемые сорбенты, принцип работы оборудования насыпного сорбционного фильтра.

14. Понятие флотации. Способы флотационной обработки производственных сточных вод.
15. Флотация с выделением воздуха из раствора.
16. Напорная флотация, принцип действия.
17. Флотация с механическим диспергированием воздуха.
18. Флотация с подачей воздуха через пористые материалы.
19. Очистка сточных вод методом фракционирования (пенной сепарации).
20. Принцип работы установки очистки сточных вод методом фракционирования (пенной сепарации).
21. Понятие о химической, биологической и ионной флотации.
22. Понятие о экстракции, экстрагентах. Применение при очистке производственных сточных вод.
23. Понятие о коэффициентах распределения, разделения и селективности в процессах экстракции.
24. Используемые схемы экстракции при очистке производственных сточных вод.

Глава 4. ХИМИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Физические и химические методы могут использоваться для того, чтобы подготовить отработанную воду для последующих ступеней обработки, таких как биологическая очистка сточных вод, осаждение. Удаление или преобразование тяжелых металлов, углеводородов и органических или неорганических трудно расщепляемых, бактериотоксических или сдерживающих расщепление веществ является здесь важной задачей. Данные методы, как правило, комбинируют с уже описанными механико-физическими методами (например, осаждением с седиментацией).

В данной главе представлены следующие методы:

- нейтрализация, осаждение, флокуляция. Эти процессы представлены в одной главе, поскольку при нейтрализации могут возникать осадки, процесс осаждения сильно зависит от значения pH и флокуляция часто происходит в связи с осаждением;
- адсорбция;
- процессы окисления и восстановления.

Допустимое значение pH, должно лежать в диапазоне от 6,5 до 10,0. Поэтому часто значение pH обработанной сточной воды должно быть установлено на заданную величину, которая лишь в редких случаях может достигать нейтральной точки $\text{pH} = 7$. Даже когда $\text{pH} = 7$ не является заданной величиной, этот процесс все равно обозначается как нейтрализация. Кроме того, при процессе нейтрализации вещества, такие как тяжелые металлы, осаждаются из отработанной воды и могут затем быть отделены от водной фазы. Если подлежащая нейтрализации отработанная вода содержит растворенные соли металлов, то они могут при определенных условиях в процессе нейтрализации осаждаться в качестве гидроксидов, гидроокисей или щелочных солей.

Для целенаправленного осаждения в отработанную воду подаются химикаты, осаждающие вещества, чтобы преобразовать в нерастворимую форму растворимые (преимущественно неорганические) компоненты отработанной воды. Термин «осаждение» охватывает также целенаправленное нарушение устойчивости коллоидов. Как правило, при осаждении возникают микрохлопья, являющиеся слишком мелкими для экономичного отделения.

Укрупнение частиц в микрохлопья или превращение коллоидных растворенных веществ в хорошо осаждаемые макрохлопья может целенаправленно поддерживаться при процессах флокуляции флокулянтами и вспомогательными средствами для флокуляции.

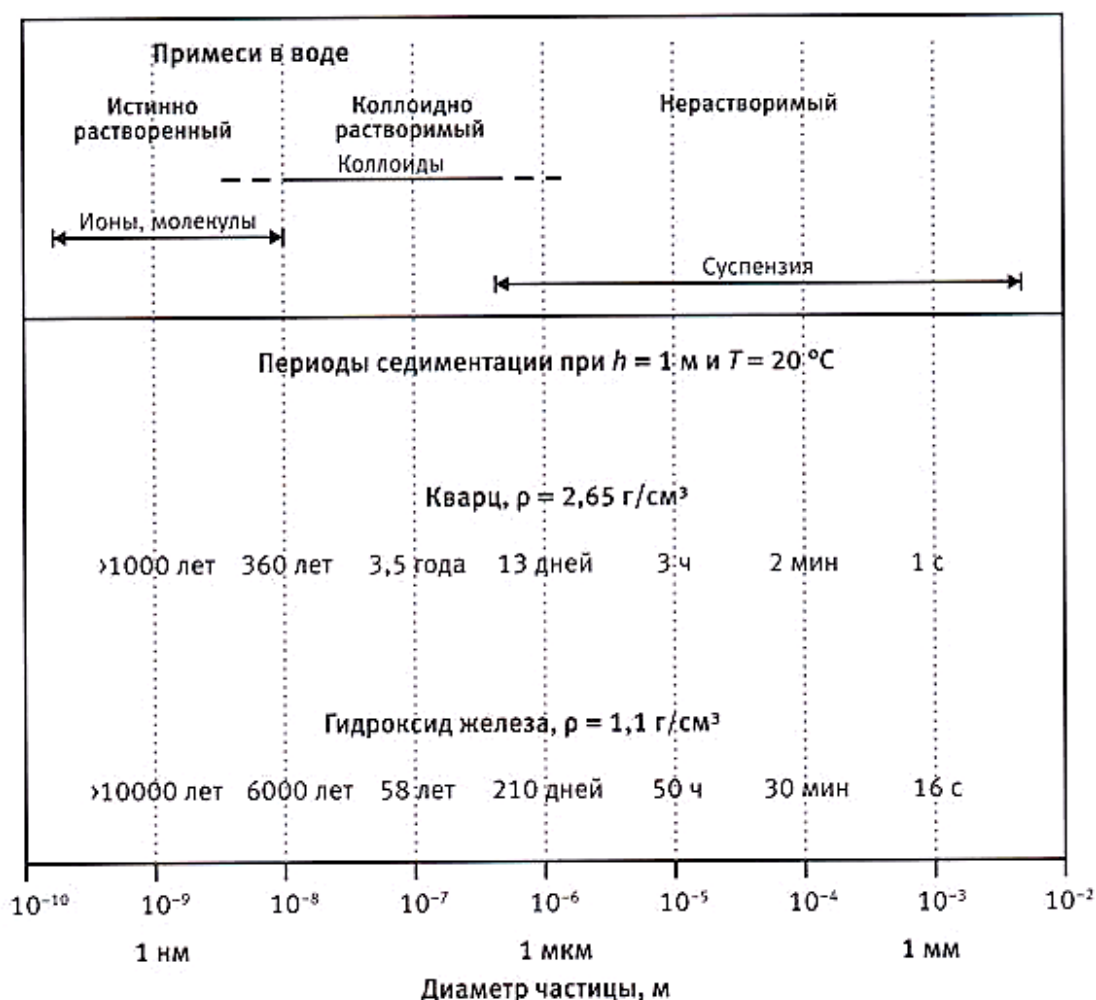


Рис. 4.1. Соотношение величин и периоды седиментации водных примесей

На рис. 4.1 показана связь между диаметрами частиц и периодами седиментации на примере кварца плотностью $2,65 \text{ г/см}^3$ и осадка гидроксида плотностью $1,1 \text{ г/см}^3$. Видно, что частицы кварца должны иметь по меньшей мере диаметр 10 мкм , для того чтобы посредством седиментации ($h = 1 \text{ м}$) быть отделимыми за допустимое время 3 ч . Частицам одинаковой величины из гидроксидного осаджения (например, хлопьям гидроксида железа) требуется для этого 50 ч . Это сопоставление показывает, что при простой седиментации за счет силы тяжести

на технических сооружениях со временем обработки от нескольких часов частицы размером в лучшем случае 10 мкм являются экономично отделимыми и, таким образом, флокуляция может быть рациональной.

Для удаления флокулированных компонентов отработанной воды существуют классические методы разделения: седиментация, флотация и фильтрация.

Большим недостатком этих методик, наряду с затратами на необходимые химикалии, является увеличение массы шлама. К тому же дополнительно возрастает степень минерализации воды.

1.9. Нейтрализация

Является ли реакция водного раствора кислой, нейтральной или щелочной, зависит от имеющейся в нем концентрации ионов водорода (C_{H^+}) или, точнее, активности ионов водорода (a_{H^+}) и описывается значением рН. Молекулы воды диссоциируют в очень небольшой части на водород (H^+) или ионы гидроксония (H_3O^+) и ионы гидроксида (OH^-):



Значение рН определяется как отрицательный десятичный логарифм числового значения активности ионов водорода. Активность ионов водорода a_{H^+} очень сильно сближается с концентрацией ионов водорода в разбавленном растворе, таким образом, в общей сложности получается

$$pH = -\lg C_{H^+} \quad (4.2)$$

С увеличением концентрации электростатические силы ионов начинают влиять друг на друга. Это приводит к тому, что только часть ионов водорода (4.2) активно участвует в равновесии. Это регулируется с помощью поправочного коэффициента. Активность ионов водорода равнозначна в таком случае концентрации ионов водорода:

$$pH = -\lg a_{H^+} \quad (4.3)$$

где C_{H^+} – концентрация ионов водорода, действительная концентрация, моль/л; a_{H^+} – активность ионов водорода, эффективная

концентрация, моль/л, $C \cdot (C_{H^+} \cdot f_{H^+}) = a_{H^+}$; f_{H^+} – коэффициент активности ионов водорода (поправочный коэффициент при отсутствии идеально разбавленного раствора).

Кислый – нейтральный – щелочной

Если концентрации или активности ионов H^+ и OH^- одинаково велики (соответственно 10^{-7}), то следует говорить о точке нейтральности, которая определяется как $pH = 7$. Если значение $pH < 7$, то раствор обозначается как кислый, при значении $pH > 7$ – как щелочной. Ионное произведение воды (k_w) рассчитывается следующим образом:

$$C_{H^+} \cdot C_{OH^-} = k_w = 1 \cdot 10^{-14}, (\text{моль/л})^2 \quad (4.4)$$

(при температуре воды 22 °C).

Кислоты – это соединения, которые диссоциируют в водном растворе на ионы водорода (H^+) и ионы кислотного остатка (например, Cl^-). Основания диссоциируют на гидроксильные ионы (OH^-) и ионы металла (например, Na^+). Если с помощью добавления кислоты увеличивают концентрацию ионов H^+ , например, до 10^{-3} (значение $pH = 3$), тогда концентрация гидроксильных ионов должна уменьшиться до 10^{-11} (4.4).

Окончательная нейтрализация

Окончательная нейтрализация обозначает реакцию, посредством которой кислый или щелочной раствор с помощью добавления противоположно действующих компонентов превращается в нейтральный раствор. Нейтрализация является, таким образом, реакцией между кислотами (H^+) и основаниями (OH^-), при которой возникают вода и соль. Образующиеся соли являются растворимыми до достижения специфических для каждой соли произведений растворимости и выпадают в осадок при более высоких концентрациях.

При использовании нейтрализующего вещества следует учитывать, что при значении pH речь идет о логарифмической величине.

Следовательно, чтобы изменить значение pH с 3 на 4, необходимо, по сравнению с изменением pH с 4 на 5, 10-кратная масса нейтрализующего вещества.

Буферирующая способность сточной воды

Наряду с показателем рН имеет значение также буферирующая способность сточной воды. При наличии кислотно-основных пар добавленная кислота или основание может придавать раствору буферные свойства, т. е. кислота или основание не приводит к смещению значения рН. В таком случае смещение значения рН может быть достигнуто лишь путем добавления гораздо большего количества соответствующей кислоты или основания, чем можно рассчитать из значения рН (на основании стехиометрически протекающей реакции). Буферное действие компонентов отработанной воды характеризуется емкостью кислот и оснований.

Пример расчета 4.1 (значение рН)

Автопротолиз (самодиссоциация) воды может быть вычислена с помощью ионного произведения k_w . В примере определяются концентрации протонов (H^+) и гидроксильных ионов (OH^-) при $pH = 7,5$ и $T=25^\circ C$ ($k_w = 10^{-14}$). При этом следует принимать во внимание логарифмическую связь ионного произведения воды k_w , со значением рН.

Решение

$$pH = -\lg(c(H^+)) = 7,5 \rightarrow c(H^+) = 10^{-7,5} \text{ моль/л} = 3,16 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

При $k_w = c(H^+) \cdot c(OH^-)$ или $\lg(k_w) = \lg(c(H^+) + c(OH^-))$ получают $\lg(c(OH^-)) = 14 - 7,5 = 6,5$.

$$c(OH^-) = 10^{-6,5} \text{ моль/л} = 3,16 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Важно отметить, что если буферная емкость не известна, то само по себе значение рН ничего не говорит о количестве химикатов, необходимых для нейтрализации, а только о емкости кислоты или основания. И наоборот, из значений емкостей кислот или оснований нельзя заключить, какое значение рН имеет вода.

Нейтрализующие вещества

Выбор нейтрализующего вещества определяется, прежде всего, составом сточной воды, требованиями к качеству обработки сточной воды и экономическими аспектами.

Поскольку необходимые для нейтрализации химикаты в целом представляют фактор затрат и могут привести к засолению или обра-

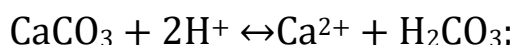
зованию дополнительного осадка, имеет смысл свести к минимуму количество загружаемых химикатов. Этого при известных обстоятельствах можно достичь путем смешивания сточных вод с различными значениями pH.

Следует учитывать побочные реакции нейтрализующего вещества с компонентами сточной воды и проблемы, причиной которых могут стать продукты этих побочных реакций. Также образующееся во время нейтрализации тепло (экзотермическая реакция) может привести к повреждениям оборудования.

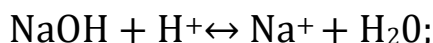
Нейтрализующие вещества для кислых сточных вод

Для нейтрализации кислых сточных вод используются, как правило:

- известняк (CaCO_3), известковая суспензия или известковое молоко (гидроокись кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$):



- раствор едкого натра (NaOH) или сода (Na_2CO_3):



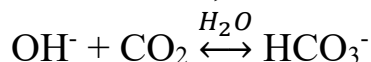
При нейтрализации кислых сточных вод при больших объемных потоках применяется преимущественно дешевая гидроокись кальция. Для небольшого количества сточной воды необходимые устройства требуют слишком больших затрат, поэтому предпочтение отдается хотя и более дорогому, но и более легкому в использовании раствору едкого натрия.

При нейтрализации с раствором едкого натра или соды из ионов Na^+ и ионов кислот сточной воды образуются хорошо растворимые соли (высокое произведение растворимости. Таким образом, при обычных дозируемых количествах не нужно подсчитывать дополнительное количество выпадающего при нейтрализации осадка. Гидроокись кальция, напротив, образует с некоторыми анионами кислот, такими как сульфат, фосфат и фторид, труднорастворимые соли, что приводит к дополнительному количеству выпадающего осадка и повышению жесткости воды.

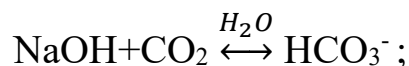
Нейтрализующие вещества для щелочных сточных вод

Для нейтрализации щелочных сточных вод используют, как правило, введение:

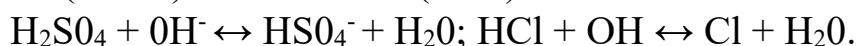
- CO_2 (например, дымового газа, газа из процессов брожения)



например:



- серной (H_2SO_4) или соляной (HCl) кислоты:



Нейтрализация щелочных сточных вод при помощи CO_2 особенно рентабельна в том случае, если содержащий CO_2 газ имеется в распоряжении предприятия благодаря собственному производству. Преимуществами нейтрализации при помощи CO_2 по сравнению с минеральными кислотами является низкая опасность коррозии, так как предотвращается засоление хлоридами или сульфатами, а также использование простой измерительной техники и техники автоматического регулирования, так как дополнительное количество CO_2 в зоне точки нейтральности вызывает лишь незначительные изменения pH , и переокисление, таким образом, практически исключено.

Опасность коррозии бетона

Если к щелочным сточным водам при концентрации сульфата >300 мг/л прибавляется серная кислота, это может привести к коррозии бетона. Кислотность у серной кислоты в 2 раза больше, чем у соляной кислоты. Несмотря на примерно равную стоимость за килограмм, соляная кислота часто используется, если в сточных водах должны соблюдаться низкие концентрации сульфатов.

Пример расчета 4.2 (нейтрализация)

Для промышленных очистных сооружений следует установить максимально необходимое количество раствора едкого натра, которое должно применяться для нейтрализации кислых сточных вод до значения $\text{pH} = 7$. Расчет должен базироваться на следующих авторитетных результатах различных опытов титрования, причем предполагается, что установленные опытным путем массы нейтрализующих веществ

можно экстраполировать непосредственно на масштаб обработки сточных вод. В промышленном масштабе должен применяться раствор едкого натра 19,1М (М – молярная масса NaOH) при поступлении 10 000 л сточных вод в час.

Результаты титрования кислых сточных вод: пробные объемы 30 мл (без разбавления); мл NaOH·0,1М: 0,00; 8,30; соответствующее значение pH: 2,52; 7,04.

Решение

- Расход NaOH при попытке достижения pH = 7: 8,30 мл NaOH
- 0,1М/30 мл сточной воды = 0,277 мл NaOH
- 0,1М/л сточной воды.
- Расход NaOH в промышленных масштабах: $0,277/1000 \cdot 10000$. $0,1М/19,1М = 14,5$ л/ч.

1.10. Осаждение

Под осаждением понимают превращение растворимых в воде веществ в нерастворимую отдельную форму посредством химической реакции. Процессы растворения и осаждения являются встречными реакциями одинаковых реагентов.

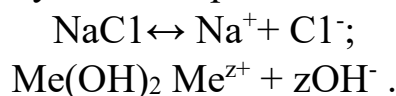
Растворимость, т. е. поглотительная способность водной среды, применительно к ионам определяется с помощью:

- энергии связи между ионами;
- диэлектрических характеристик среды раствора;
- количества имеющихся ионов.

Закономерности растворимости между двумя реагентами могут определяться при помощи третьего реагента или изменяться с помощью условий окружающей среды, таких, например, как температура и значение pH.

Для процессов растворения и осаждения имеют значение следующие закономерности. Константа диссоциации может устанавливаться законом действующих масс: если продукт находящейся в растворе ионной концентрации делить на концентрацию недиссоциированной растворенной доли вещества, то для равновесного состояния образуется зависимость от температуры константа диссоциации этого вещества.

Растворенные доли поваренной соли и гидроксида металла диссоциируют, к примеру, следующим образом:



Химическое равновесие

Химическое равновесие этих обратимых реакций достигается, если устанавливается положение равновесия между исходными и результирующими веществами. Константы диссоциации $k_{\text{дис}}$ возникают после установления равновесия:

$$\frac{[\text{Na}^+] \cdot [\text{Cl}^-]}{[\text{NaCl}]} = k_{\text{дис}},$$

или

$$\frac{[\text{Me}^{z+}] \cdot [\text{OH}^-]^z}{[\text{Me}(\text{OH})_2]} = k_{\text{дис}} \quad (4.5)$$

Форма записи с квадратными скобками должна подчеркнуть, что речь идет о концентрации веществ [моль/л]. Подобным образом установлено обозначение c (концентрация – от англ. concentration) перед химическим символом, например $[\text{Na}] = c\text{Na}^+$.

Произведение растворимости k_p является продуктом концентрации ионов в насыщенном растворе [(моль/л)^z]:

$$[\text{Na}^+] \cdot [\text{Cl}^-] = [\text{NaCl}] \cdot k_{\text{дис}} = k_p \quad (4.6)$$

или

$$[\text{Me}^{z+}] \cdot [\text{OH}^-]^z = [\text{Me}(\text{OH})_2] \cdot k_{\text{дис}} = k_p.$$

Для процесса осаждения на практике в (промышленной) очистке сточных вод следует обратить внимание на следующие условия. Прежде чем выпадет осадок, сначала требуется перенасытить раствор осаждающими веществами.

Поскольку в многокомпонентной композиции отработанной воды недостаточно теоретической массы осаждающих веществ, на практике добавляются сверх стехиометрические осаждающие вещества. Отношение фактической концентрации осаждающих веществ $C_{\text{ос.в}}^*$ теоретически требуемой концентрации осаждающих веществ $C_{\text{ос.в}}$

$$\beta = \frac{C_{\text{ос.в}}^*}{C_{\text{ос.в}}}.$$

Сначала образуются крошечные частицы, так называемые центры кристаллизации. Определяющей для возникновения центров кристаллизации является скорость кристаллизации. Она тем больше, чем быстрее следует перенасыщение. В случае очень большого перенасыщения довольно скоро возникают очень маленькие частицы, т. е. мелкодисперсный осадок.

Если же скорость кристаллизации остается невысокой, т. е. осаждающие вещества добавляются медленно, то это приводит к образованию относительно больших частиц в меньшем количестве, которые хорошо седиментируются или фильтруются.

Далее следует обратить внимание на то, что «осаждающая система стареет». Осадки, возникшие после непосредственной реакции осаждения, увеличиваются в текущем процессе. Осаждение (кристаллизация) происходит непрерывно и с убывающей скоростью. Этот процесс описывается через кинетику химических реакций.

Эффект от повышения эффективности КПД при наличии «старых» центров кристаллизации используется иногда с помощью рециркуляции продуктов осаждения в реакционном пространстве осаждения.

Продукты осаждения имеют очень большую специфическую поверхность, на которую могут адсорбироваться вещества. Поэтому после реакций осаждения, как правило, возникает адсорбция (см. «Адсорбция»).

Результат реакции осаждения и скорость реакции зависят в основном от следующих краевых условий:

- вид и масса осаждающих веществ;
- значение pH;
- температура;
- выделение энергии (контакта реагентов).

В технологии очистки промышленной сточной воды следующие процессы осаждения имеют существенное значение:

- осаждение катионов, например металлов и аммония;
- осаждение анионов, например фосфата и фторида.

1.10.1.Осаждение катионов или металлов

Добавление анионов

Для того чтобы превратить металлы в труднорастворимые соединения, следует иметь в распоряжении соразмерно большой ассортимент анионов, с которыми те смогут образовать труднорастворимые соединения. После добавления определенной массы осаждающего вещества, подготавливающего анионы, начинается выпадение осадка, т. е. превышает ионное произведение труднорастворимых соединений металлов.

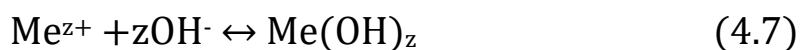
Осаждение металлов производится теми же химикатами, что используются и при нейтрализации. Самыми важными являются раствор едкого натра, гидрат кальция и сода. В зависимости от того, какое осаждающее вещество используется, можно получить различные продукты осаждения.

Так, могут возникать различные соединения гидроксидов, карбонатов, сульфатов, основных солей и их смесей, которые в ряде случаев различаются также внешне, например более кристаллической или более аморфной структурой. Это дает возможность при очистке сточных вод оказывать влияние как на скорость седиментации, так и на объемы выделяемых осадков. В дальнейшем будут пояснены принципы осаждения при нейтрализации, а также карбонатов, сульфидов аммония.

Гидроксидное или нейтрализационное осаждение

Осаждающие вещества: раствор едкого натра или известковое молоко

При гидроксидном или нейтрализационном осаждении выделяется удаленный из отработанной воды металл в форме гидроксидов металла



В качестве осаждающих веществ применяются раствор едкого натра или известковое молоко. Известковое молоко – это суспензия, поэтому, используя его в качестве осаждающего вещества, необходимо предусмотреть его постоянное перемешивание. Это требует увеличения технологических затрат. Известковое молоко, тем не менее, дешевле, чем существенно более простой в обращении раствор едкого натра.

Влияние значения рН

На растворимость определенных соединений оказывает влияние значение рН. При осаждении гидроксида значение рН является безусловной величиной для используемой концентрации осаждающих веществ. Если металлосодержащий кислый раствор титруется, то устанавливается характеристика значения рН, рис. 4.2.

Значение рН резко возрастает (пунктирная часть графика), как только нейтрализована содержащаяся в отработанной воде кислота (емкость основания). В точке А происходит превышение произведения растворимости и начинается выпадение в осадок гидроксида металла. На протяжении линии А-В графика раствор едкого натра расходуется согласно формуле (4.7).

Как только кривая графика снова поднимется и достигнет точки В, осаждение завершится. Превышающее при этом добавление раствора едкого натра служит причиной последующего подщелачивания раствора. Точка В соответствует так называемому значению рН при осаждении гидроксида металла. Она должна по меньшей мере достичь, но лучше – немного превысить уровень количественного осаждения.

В техническом применении под количественным осаждением понимают такое осаждение, при котором не достигнуты минимальные требования уровня развития технологий.

Произведения растворимости различных гидроксидов металлов

Произведения растворимости различных гидроксидов металлов, а также цветность их осадков указаны в табл. 4.1.

Каждый гидроксид металла имеет специфическое значение рН при осаждении, при котором гидроксид проявляет свою незначительную водорастворимость. При осаждающей нейтрализации с раствором едкого натра выпадают, например, трехвалентные катионы в еще слегка кислом диапазоне, тогда как для осаждения двухвалентных металлов в последовательности Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Cd, Mn, Fe требуются все более высокие значения рН.

Некоторые гидроксиды металлов, так называемые амфотерные металлы, такие как алюминий и олово, снова переходят в раствор при высоких значениях рН. Осадки, как правило, являются очень мелко-дисперсными и выявляются только после дополнительной флокуляции при взятии хозяйственной пробы из отработанной воды.

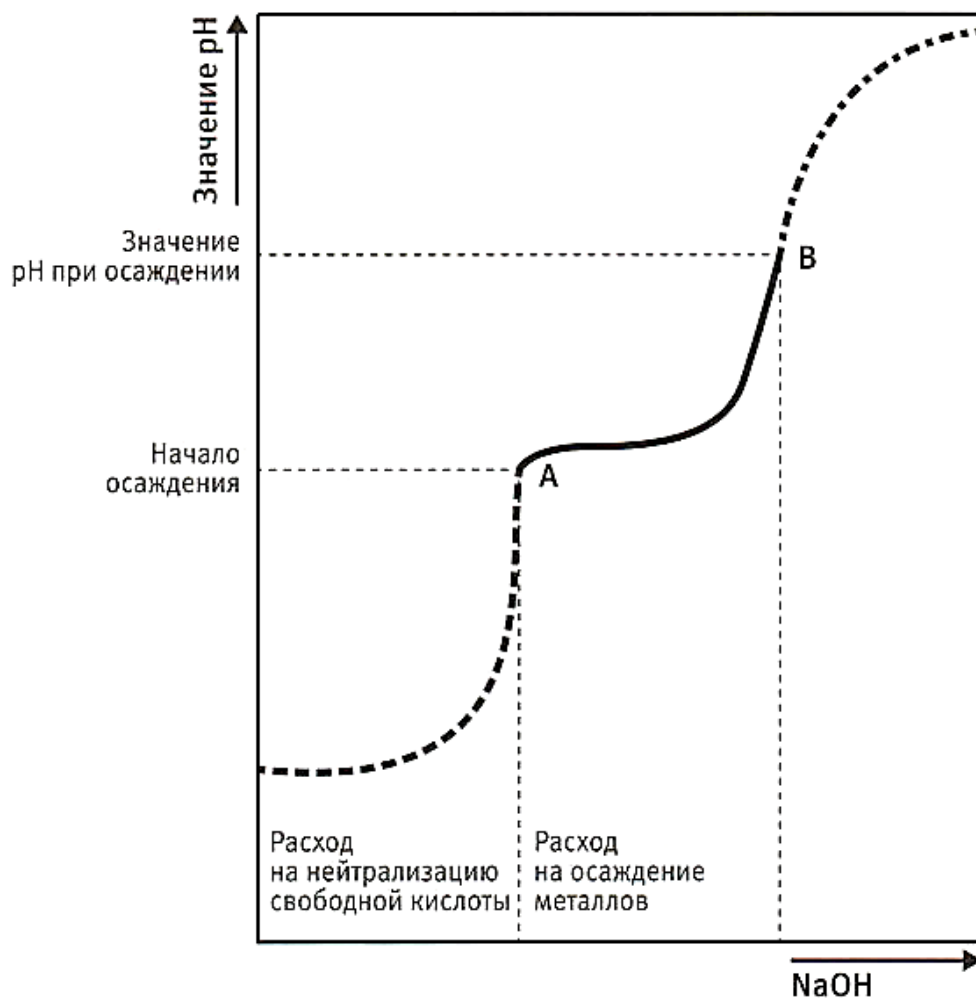


Рис. 4.2. Характеристика значения pH при нейтрализационном осаждении

При возрастании исходных концентраций металлов или при увеличении нейтрального содержания соли по причине понижающейся активности ионов также возрастает остаточная растворимость. Благодаря ионогенному взаимодействию (притяжение/отталкивание) реагентов равновесия в растворах уменьшается концентрация ионов, принимающих активное участие в равновесии.

Таблица 4.1

Произведения растворимости гидроксидов металлов

Соединение	Произведение растворимости k_p , (моль/л)	Цвет гидроксида металла
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$8,7 \cdot 10^{-38}$	Коричневый
$\text{Al}(\text{OH})_3$	$2 \cdot 10^{-32}$	Белый
$\text{Cr}(\text{OH})_2$	$6 \cdot 10^{-29}$	Темно-зеленый
$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$2 \cdot 10^{-19}$	Синий

$\text{Pb}(\text{OH})_2$	$1 \cdot 10^{-17}$	Белый
$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$4 \cdot 10^{-17}$	Белый
$\text{Co}(\text{OH})_2$	$2 \cdot 10^{-17}$	—
$\text{Ni}(\text{OH})_2$	$5,8 \cdot 10^{-15}$	Светло-зеленый
$\text{Cd}(\text{OH})_2$	$1,3 \cdot 10^{-14}$	Белый
$\text{Mn}(\text{OH})_2$	$4 \cdot 10^{-14}$	—
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$1 \cdot 10^{-13}$	Сине-зеленый

Остаточная растворимость возрастает

Математически эта закономерность выражается с помощью поправочного коэффициента, коэффициента активности f , значение которого, как правило, ≤ 1 . Он отражает (уменьшающуюся) долю ионов, которые принимают участие в равновесии. Поэтому вместо концентрации c в соответствующем уравнении помещается активность, a (количество или концентрация активно участвующих в процессе частиц), которая является произведением коэффициента активности f и концентрации c :

$$a = fc. \quad (4.8)$$

При этом следует заметить, что:

- коэффициент активности не представляет собой константу, но точно так же изменяется вместе с изменяющейся концентрацией (f – функция (c));
- обычно f с усилением концентрации становится меньше, т. е. его значение приближается к нулю. В качестве примера данного обстоятельства следует привести незначительную силу кислоты высококонцентрированной серной кислоты (олеума), активность H^+ которой («свойство кислоты») из-за высокой концентрации приближается к нулю ($f \rightarrow 0$);
- все имеющиеся ионы, не только принимающие участие в наблюдаемом равновесии, влияют на коэффициенты активности, т. е. снижают активность. В переносе на осаждение тяжелых металлов это означает, что для равновесия растворимости следует рассматривать не концентрацию участвующих ионов, но их (имеющуюся) активность a :

$$k_p = a_{\text{Me}^{x+}} + a_{\text{OH}^-}^x = (f + C_{\text{Me}^{x+}})(f \cdot c_{\text{OH}^-})^x. \quad (4.9)$$

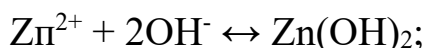
Пример расчета 4.3 (гидроксидное осаждение)

В производстве автомобильного завода периодически скапливаются содержащие цинк сточные воды. В очистном сооружении растворенный цинк должен осаждаться из сточных вод с помощью добавления гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Для того чтобы можно было использовать отработанную воду повторно, остаточное содержание цинка после осаждения не должно превышать 0,1 мг/л.

Следует вычислить значение pH, которое может быть превышено, для того чтобы осаждать цинк как гидроксид до указанного предельного значения.

Указания:



$$k_p = c(\text{Zn}^{2+}) \cdot c(\text{OH}^-)^2 = 2 \cdot 10^{-17} \text{ (моль/л)}^3;$$

$$k_b = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 1 \cdot 10^{-14} \text{ (моль/л)}^2;$$

$$\text{pH} = -\lg(c(\text{H}^+));$$

$$M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ г/моль (молярная масса)}.$$

Возможное воздействие других входящих в состав воды веществ не следует принимать в расчет.

Решение

– Допустимая концентрация ионов цинка

$$c(\text{Zn}^{2+}) = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ г/л} / 65,4 \text{ г/моль} = 1,53 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}.$$

$$- k_p = c(\text{Zn}^{2+}) \cdot c(\text{OH}^-)^2 \rightarrow c(\text{OH}^-) = (k_p / c(\text{Zn}^{2+}))^{1/2} =$$

$$= (2 \cdot 10^{-17} \text{ (моль/л)}^3 / (1,53 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}))^{1/2};$$

$$c(\text{OH}^-) = 3,616 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}.$$

$$- k_b = c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-) \rightarrow c(\text{H}^+) = k_b / c(\text{OH}^-) = 1 \cdot 10^{-14} \text{ (моль/л)}^2 /$$

$$3,616 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л} = 2,76 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}.$$

$$- \text{pH} = -\lg(c(\text{H}^+)) = -\lg(2,76 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}) = 8,5.$$

Карбонатное осаждение

Карбонаты металлов обладают более высокой растворимостью. Недостаток карбонатов металлов (4.10) заключается в том, что они по сравнению с гидроксидами имеют более высокие растворимости. В табл. 4.2 указаны их произведения растворимости. Преимущество карбонатов заключается в том, что они, в противоположность гидрокси-

дам, образуют кристаллический осадок, который можно легче отделить и отфильтровать. Карбонаты трехвалентных ионов металла не известны.

Осаждающие вещества

Для карбонатного осаждения используется карбонат натрия (сода) или известковое молоко в качестве осаждающего вещества:

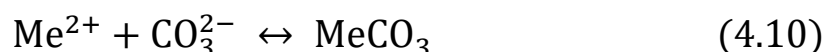


Таблица 4.2

Растворимость карбонатов металлов

Соединение	Произведение растворимости k_p , (моль/л) ⁿ	Цвет гидроксида металла
FeCO ₃	$1,6 \cdot 10^{-13}$	Красный
Pb CO ₃	$8 \cdot 10^{-14}$	Белый
Cd CO ₃	$5 \cdot 10^{-12}$	Белый
Zn CO ₃	$1,6 \cdot 10^{-11}$	Белый
Fe CO ₃	$2,5 \cdot 10^{-11}$	Белый
Mn CO ₃	$6,3 \cdot 10^{-11}$	Белый
Cu CO ₃	$2,5 \cdot 10^{-10}$	Сине-зеленый
Ni CO ₃	$1,3 \cdot 10^{-7}$	Светло-зеленый

Пример расчета 4.4 (гидроксидное осаждение)

Сточная вода содержит никель. Следует проверить, какие остаточные концентрации никеля устанавливаются при гидроксидном осаждении.

Произведение растворимости для гидроксида никеля составляет $k_p = 5,8 \cdot 10^{-15}$ (моль/л)³, Для идеально разбавленных растворов ($f = 1$; $a = c$) рассчитывается при pH = 8 (соответственно $c_{\text{OH}^-} = 10^{-6}$ моль/л, так как, согласно определению, $c_{\text{H}^+} = 10^{-8}$ и $c_{\text{OH}^-} \cdot c_{\text{H}^+} = 10^{-14}$ моль/л) согласно уравнению для ионных произведений следующая теоретическая остаточная концентрация никеля (молярная масса $M = 58,71$ г/моль):



$$k_p = c_{\text{Ni}^{2+}} \cdot c_{\text{OH}^-}^2,$$

$$c_{\text{OH}^-} = 5,8 \cdot 10^{-15} (\text{моль/л})^3 / (10^{-6} \text{ моль/л})^2.$$

При $M = 58,71$ г/моль остаточная концентрация никеля составляет $58710 \cdot 5,8/1000 = 340,5$ мг/л и лежит, таким образом, далеко за предельным значением перед смешиванием с другими сточными водами составляет 9,4. Порядок расчета следующий:

$$k_p = c_{Ni^{2+}} + c_{OH^-}^2$$

$$c_{OH^-} = \left(\frac{k_p}{c_{Ni^{2+}}} \right)^{0,5} = \left(\frac{5,8 \cdot 10^{-15}}{5,52 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,5} = 2,6 \text{ моль/л} = \text{pH } 9,4$$

Расчет значения pH:

$$2,6 \cdot 10^{-15} \cdot 10^{-x} = 10^{-14} \text{ (ионное произведение);}$$

$$10^{-x} = 10^{-14} / (2,6 \cdot 10^{-5}) = 0,38 \cdot 10^{-9};$$

$$\lg 10^{-x} = \lg 0,38 + \lg 10^{-9};$$

$$-x = -0,41 + (-9), x = 9,41.$$

При коэффициенте активности $f = 0,4$, соответствующем высокой концентрации, и при условии двустороннего влияния ионов согласно вышеуказанному уравнению при значении $\text{pH} = 10$ (соответственно $c_{OH^-} = 10^{-4}$ моль/л) после последовавшей нейтрализации остаточная концентрация никеля достигает 0,53 мг/л (в дальнейшем приводится порядок расчета).

Но при наличии обусловленных водосберегающими мерами на производстве лишь незначительных масс сточной воды высокой ионной концентрации следует использовать ионные активности вместо концентраций при применении формулы

$$k_n = a_{Ni^{2+}} \cdot a_{OH^-}^2 = (f_+ c_{Ni^{2+}}) (f_+ c_{OH^-})^2,$$

$$k_p = \frac{5,5 \cdot 10^{-15}}{0,4^2 \cdot (10^{-4} \text{ моль/л})^3 \cdot 0,4} = 9,06 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л} = 0,53 \text{ мг/л},$$

причем само предельное значение при $\text{pH} = 10$ уже немного превышено, и требуется еще большее значение pH, чтобы при предписанном значении наверняка осадить никель.

При установлении значений pH выше 10, с одной стороны, чаще всего оказываются нарушены предписанные условия для впуска, с другой стороны, снова растворяются амфотерные гидроксиды металлов (такие как алюминий, хром или даже цинк) как гидроксометаллаты и

превышают, в свою очередь, предельные значения, поскольку они присутствовали в соответствующих сточных водах.

Графики осаждения и остаточные растворимости

На рис. 4.3 изображены графики осаждения, а также остаточные растворимости карбонатов металлов. При карбонатном осаждении количество имеющихся в распоряжении осаждающих веществ, т.е. концентрация карбонат-иона CO_3 , по причине способности угольной кислоты к диссоциации зависит от значения pH.

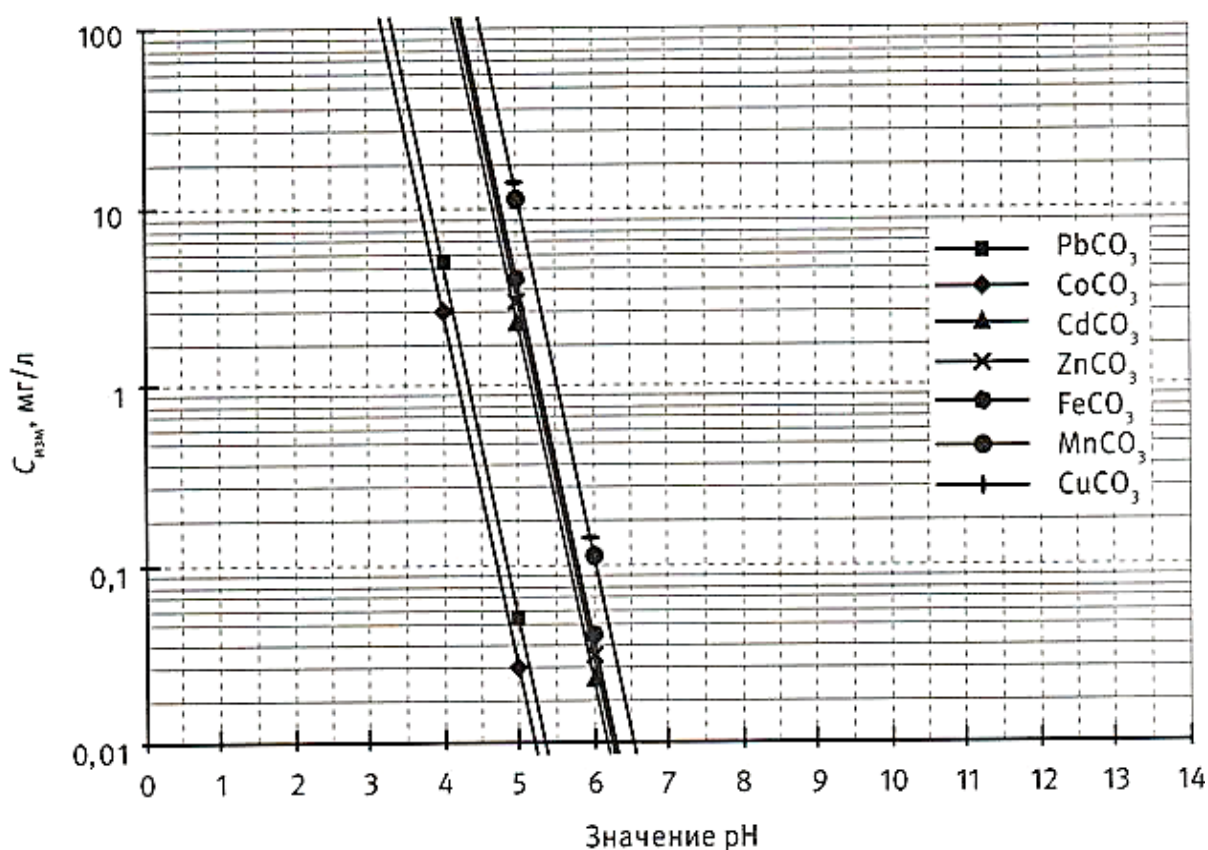


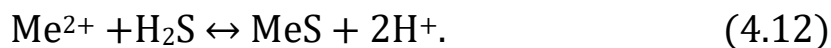
Рис. 4.3. Достижимые концентрации тяжелых металлов при карбонатном осаждении с Na_2CO_3 в зависимости от значения pH

Сульфидное осаждение

Чрезвычайно низкая растворимость

Сульфиды металлов (4.11), (4.12) характеризуются чрезвычайно низкой растворимостью. Поэтому сульфидные осаждения используются в том случае, если необходимо соблюдать очень незначительные остаточные концентрации, особенно при осаждении Hg и Cd:





Произведения растворимости сульфидов (табл. 4.3) являются столь небольшими, что растворимые комплексы металлов могут быть осаждены при помощи сульфида. Низкая растворимость также является причиной того, что вследствие чрезвычайно высокого перенасыщения образование микрохлопьев значительно преобладает над ростом хлопьев. При этом, однако, трудно достичь размера хлопьев, требуемого для рентабельного осаждения.

Графики осаждения

На рис. 4.4 представлены графики осаждения сульфидов металлов в зависимости от значения pH, если они еще обнаруживают остаточную растворимость больше 0,01 мг/л. Эти графики являются действительными для H_2S в качестве осаждающего вещества в концентрации 0,017 моль/л. Если используется более высокая концентрация H_2 , то, соответственно, сокращаются и остаточные растворимости.

Чаще всего дополнительно применяется осаждение гидроксида железа (III). Для того, чтобы вслед за осаждением сульфида поддерживать образование хлопьев и удалить излишки сульфида, чаще всего дополнительно применяется осаждение гидроксида железа (III). Осажденные сульфиды элиминируются при этом на хлопья гидроксида со связанным (осаждение) и избыточным сульфидом путем образования сульфида железа.

Таблица 4.3

Растворимости сульфидов металлов

Соединение	Произведение растворимости k_p , (моль/л) ⁿ	Цвет гидроксида металла
HgS	$4 \cdot 10^{-53}$	Черный
CuS	$8 \cdot 10^{-37}$	Черный
PbS	$3.2 \cdot 10^{-28}$	Свинцовый блеск, графит
CdS	$1.6 \cdot 10^{-28}$	Желтый
ZnS	$2.5 \cdot 10^{-22}$	Черный
MnS	$2.5 \cdot 10^{-13}$	Зеленый

При осаждениях сульфида из-за высокой токсичности сероводорода следует принять меры против высвобождения этого газа. Ошибка

в обслуживании, из-за которой содержащиеся сульфид растворы перемешиваются с кислотами (4.12), должна быть исключена, так как в этом случае снова высвободится H_2 .

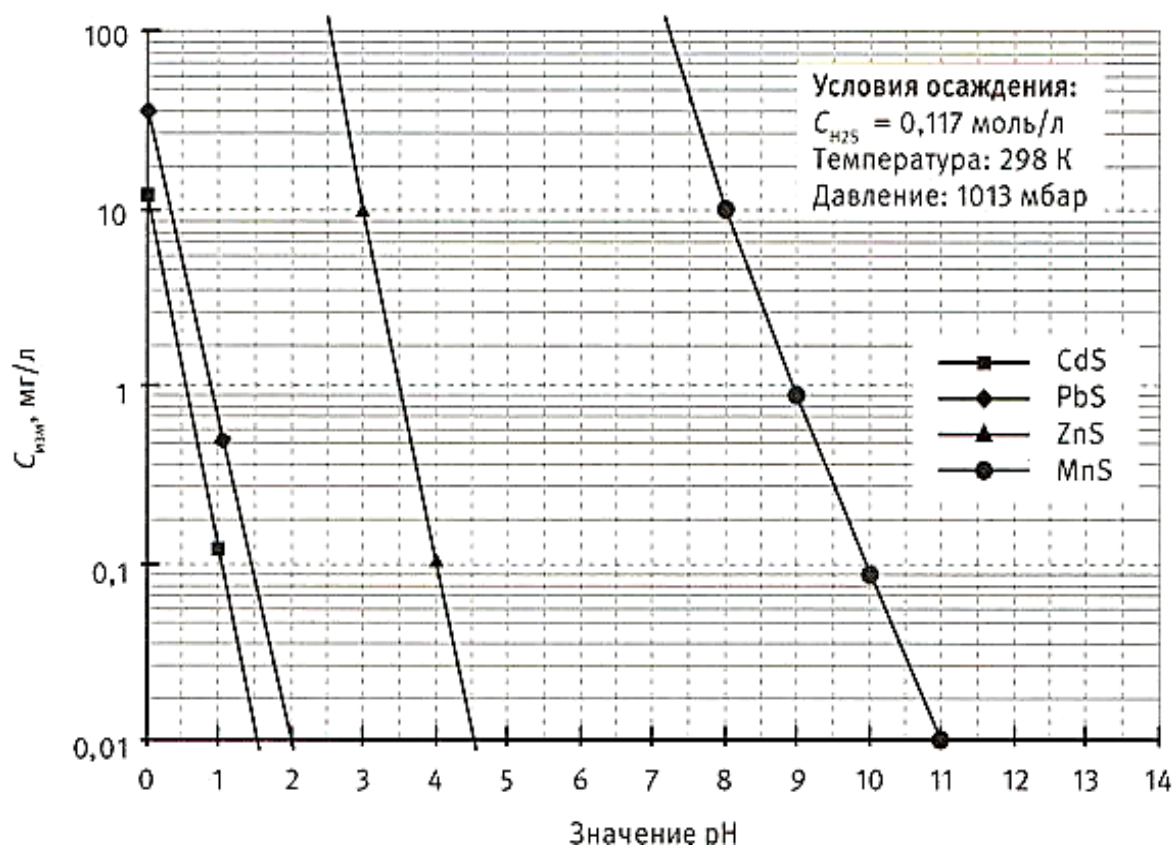


Рис. 4.4. Достижимые концентрации тяжелых металлов при осаждении H_2S в зависимости от значения pH

В качестве замены могут быть использованы органические продукты с сульфидными группами (органосульфиды). При этом можно, прежде всего, избежать опасности образования сероводорода. Также для поддержания хлопьеобразования здесь рекомендуется добавочное осаждение гидроксида, дополненное флокулянтами.

Комплексные соединения Ионы металлов «замаскированы»

Для осаждения связанных в комплексы тяжелых металлов не подходят названные зависимости, касающиеся содержания нейтральных и металлических солей, так как ионы металлов «замаскированы». Характерным для комплексных соединений является то, что вокруг одного или нескольких центральных ионов, в данном случае ионов тяжелых металлов, сгруппированы одна или несколько молекул и (или) ионов.

Комплексы лишь незначительно диссоциируют на ионы или молекулы, т. е. в растворе они стабильны и при этом не осаждаются вообще либо осаждаются слабо. Характерным для образования комплексов является снижение проводимости.

Часто в сточной воде с неорганическими компонентами встречаются следующие комплексообразователи: цианиды, полифосфаты, амины, лимонная кислота, винная кислота, глюконовая кислота, аммиак, нитрилотриуксусная кислота (НТА), этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА), квадрол.

Лишь некоторые комплексы металлов могут при высоких значениях pH осаждаться как гидроксиды. Сильные комплексы должны осаждаться сульфидно.

Факторы, влияющие на осаждение

Количество осажденных металлов зависит от следующих условий:

- значение pH при осаждении;
- наличие осаждающих веществ;
- концентрация осаждающих веществ;
- наличие других металлов (чуждых металлов);
- наличие нейтральных солей или высокой исходной концентрации;
- наличие комплексообразователей;
- температура;
- расход энергии.

Осаждение аммония

Добавление фосфата магния

Осаждение аммония возможно при добавлении фосфата магния. Труднорастворимый магнийаммонийфосфат осаждается и отстаивается в течение нескольких минут:



Как показано на рис. 4.5, осаждение удаётся наилучшим образом при стехиометрических излишках магния и фосфата при pH = 9. При 1,5-кратных излишках осаждающих химикатов достигаются концентрации азота ниже 20 мг/л. В таком случае необходимы более крупные

излишки при отклонении от $pH = 9$. Присутствующие соли металлов могут препятствовать образованию магнийаммонийфосфата.

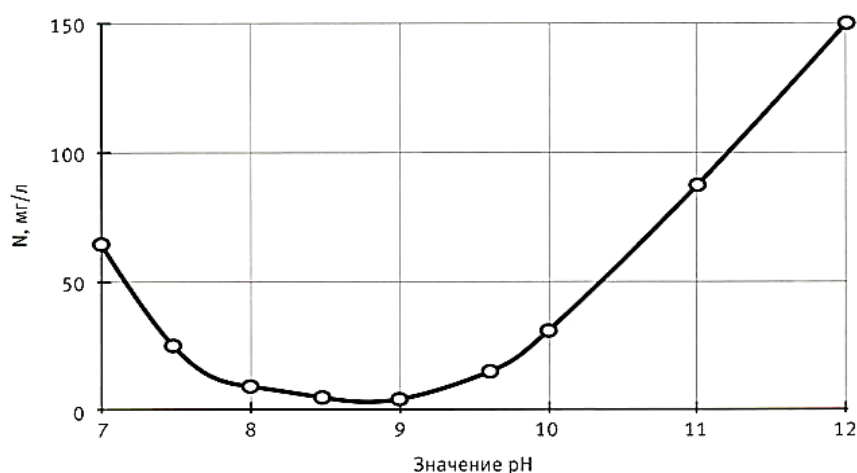


Рис. 4.5. Осаждение аммония в качестве магнийаммонийфосфата при добавлении соответственно удвоенного количества ионов магния и фосфата в зависимости от значения pH. Начальная концентрация N 200 мг/л

1.10.2. Осаждение анионов

Здесь подробнее рассматривается осаждение фторида, сульфата и фосфата.

Осаждение с соединениями кальция

Осаждение фторида Фторид может осаждаться с соединениями кальция в виде труднорастворимого фторида кальция при значении pH выше 7:



На рис. 4.6 показано осаждение фторида в зависимости от дозировки известкового молока и от возникающего при этом значения pH.

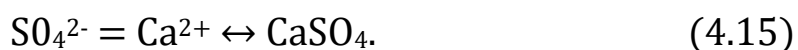
Затрудненное при наличии аммония осаждение

При значении $pH = 8$ содержание фторида составляет по-прежнему около 60 мг/л. Лишь при $pH = 11,5$ концентрация фторида приближается к произведению растворимости фторида кальция $3,4 \cdot 10^{-11}$ моль/л³. Отсюда растворимость рассчитывается как 15 мг/CaF₂ или 7,1

мг/л F. При наличии аммония осаждение фторида затруднено. Присутствие металлов или добавление солей железа (III) позволяет осадкам фторида кальция лучше отделяться. Также с ионами свинца или магния фторид образует труднорастворимые соединения.

Осаждение с гидроксидом кальция

Осаждение сульфата проводится в технологии очистки сточных вод в большем масштабе с гидроксидом кальция, чем с сульфатом кальция (гипсом):



Высокие остаточные концентрации

Из-за произведения растворимости CaSO_4 , равного $6,1 \cdot 10^{-5}$ моль²/л², теоретически можно достичь концентрации сульфата, равной лишь 748,8 мг/л SO_4 , а при избытке кальция можно достичь еще меньшей остаточной концентрации. Достижимые на практике остаточные концентрации существенно выше – приблизительно 1400 мг/л SO . Причины этого заключаются, вероятно, в том, что при гидратации ионов Ca^{2+} и (или) при осаждении сульфата SO_4^{2-} из-за взаимодействия принимающих участие в строении кристалла ионов нарушается кристаллообразование. В дальнейшем для осаждения сульфата в виде гипса необходимо очень длительное (около 50 ч) время реакции.

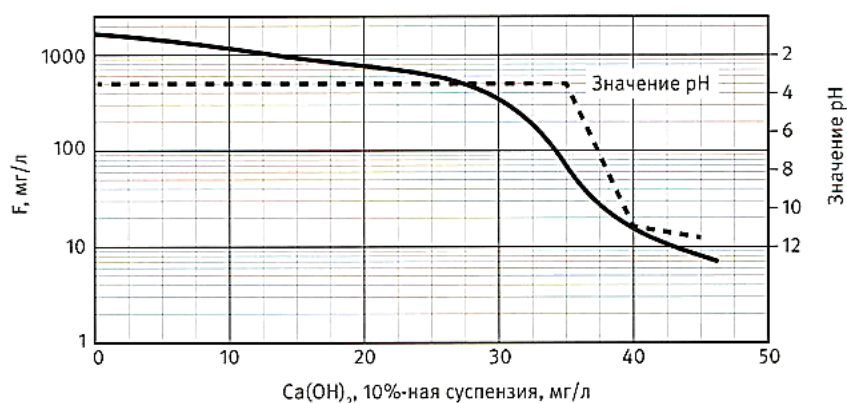


Рис. 4.6. Концентрация фторида и значение pH при нейтрализации плавиковой кислоты с известковым молоком

Осаждение с этtringитом даёт более низкие остаточные концентрации

Осаждение сульфата при остаточных концентрациях меньше 400 мг/л 504-может быть достигнуто путем образования этtringита (кальций-алюминат-трикальцийсульфатгидрата). Достижимая остаточная концентрация является при этом зависимой от дозировки Al^{3+} и от значения рН. При значении $pH > 12$ может быть достигнута даже сколь угодно низкая остаточная концентрация (рис. 4.7). Время реакции составляет приблизительно 20 мин:

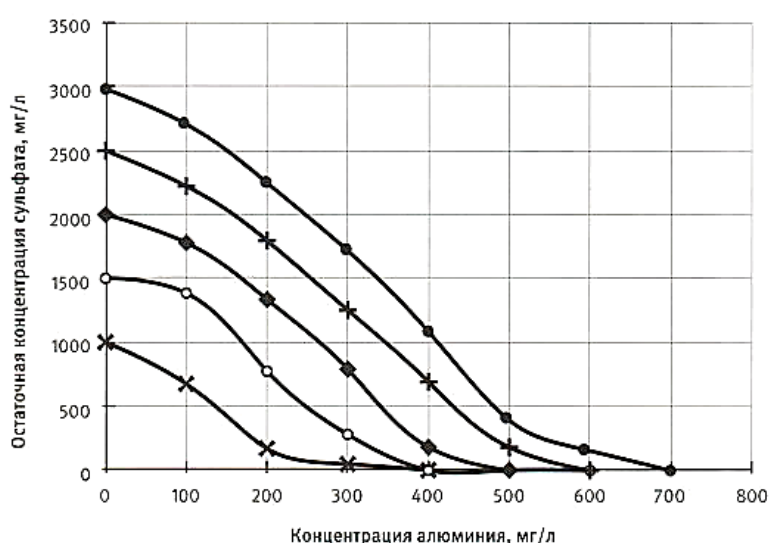
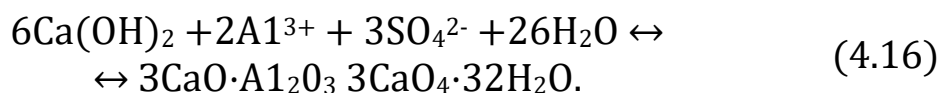


Рис. 4.7. Зависимость остаточной концентрации Al от концентрации алюминия при $pH = 12,5$

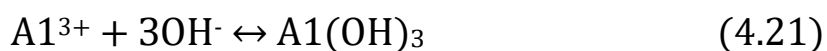
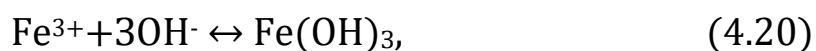
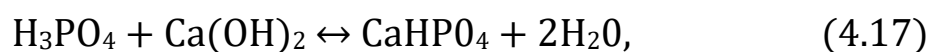
Осаждение фосфата

Осаждение с F^{3+} , Al^{3+} , Fe^{2+} и Ca^{2+}

Элиминирование фосфата редко представляет собой проблему для очистки сточных вод. К осаждению фосфата по экономическим причинам добавляются Fe , Al^{3+} , Fe^{2+} и Ca^{2+} . При нейтрализационном осаждении всех подвижных ионов металлов с известковым молоком ($Ca(OH)_2$) при присутствии фосфата образуется труднорастворимый гидрофосфат кальция ($CaHPO_4$) (4.17) с произведением растворимости $5 \cdot 10^{-6}$ моль²/л². При значениях $pH > 9,5$ образуется значительно хуже растворимый гидрофосфат кальция ($Ca_5(OH)(PO_4)_3$) (4.18).

Регулирование значения pH

Если избегать установки высоких значений pH, то может выделяться фосфат с осаждающими средствами, содержащими поливалентные катионы, такие как Fe^{3+} или Al^{3+} . Fe^{2+} может лишь тогда успешно применяться, если он в кислородсодержащей воде окисляется до Fe^{3+} . Минимальная растворимость двухвалентных солей железа достигается при значении pH = 8, а трехвалентных солей железа – при значении pH = 5,0-5,5 (4.19), причем первые седиментируются труднее. Образование гидроксида является альтернативной реакцией осаждению фосфата (4.20) и (4.21). При значениях pH = 6-7 образуются гидроксиды алюминия (4.21), хлопья которых уже могут адсорбировать фосфат:



Растворимости различных фосфатов представлены на рис. 4.8, а на рис. 4.9 показано воздействие значения pH на остаточную концентрацию при осаждении с известковым молоком.

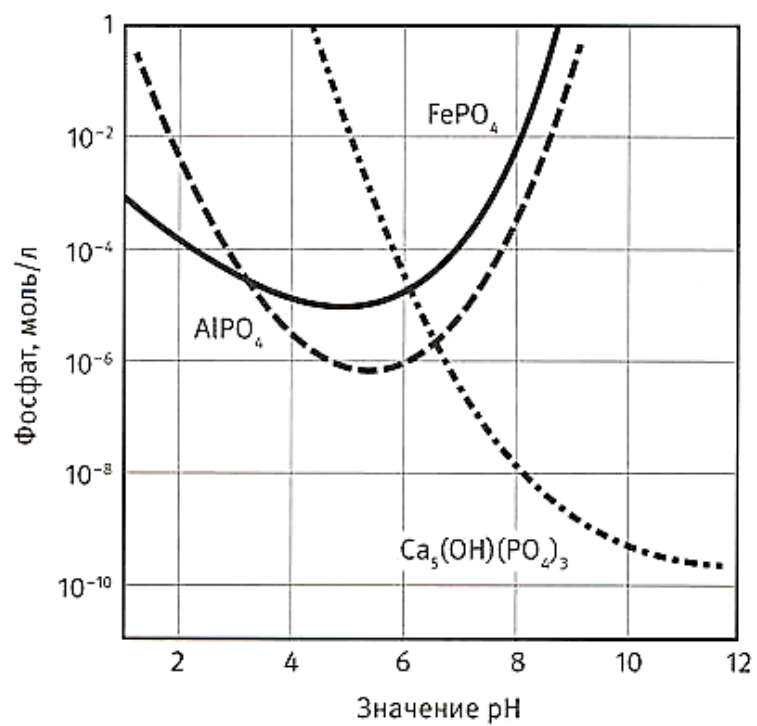


Рис. 4.8. Растворимости различных фосфатов в зависимости от значения pH

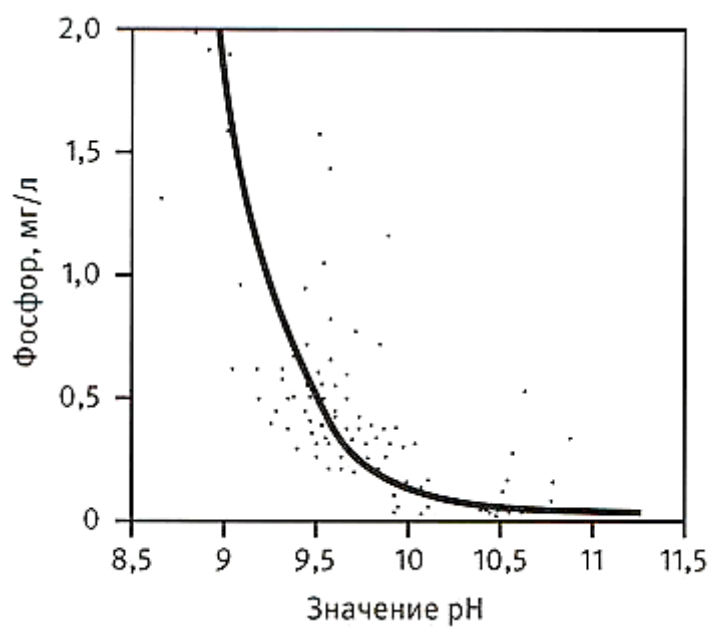


Рис. 4.9. Воздействие значения pH на остаточную концентрацию при осаждении с известковым молоком

Пример расчета 4.5

(осаждение фосфата в биологической очистной установке)

В примере определяется необходимая масса сульфата железа (II) для химического осаждения фосфата. Заданы следующие величины:

- осаждающее вещество: FeSO_4 при 200 г Fe/кг;
- установленная относительная масса осаждающих веществ: (β – стехиометрически требуемая масса катиона осаждающего вещества принято: $\beta = 1,5$ (эмпирически по ООСВ) при больших концентрациях $c_{\text{Р, ирит}}$ приблизительно 10 мг/л для бытовых сточных вод. В зависимости от состава сточной воды и требуемого исходящего значения фосфора необходимы другие значения (β ; для элиминации фосфора в процессе фильтрации хлопьев, как показано в примере 3.6, рекомендуется значение ($\beta = 2,5$);
- $c_{\text{Р, ирит}} = 6,3$ мг Р/л при $Q_{\text{прит}} = 6000$ м³/сут.

Решение

- расчет стехиометрически необходимой массы металлов: молярная масса Me / молярная масса Р = $55,85 / 30,97 = 1,8$ г Fe/г Р.

Действительно добавляемое количество осаждающих веществ: $1,8 \cdot 1,5 = 2,71$ г Fe/г Р.

Масса осаждающих веществ $F_{\text{прит}} = 6,3$ г Р/м³ · $2,71$ г Fe/г Р / 200 г Fe/кг = $0,085$ кг.

Доза осаждающего вещества – 85 г/м³.

При подаче 6000 м³ сточной воды в день это составляет: 6000 м³/сут · $0,085$ кг/м³ = 510 кг/сут сульфата железа (II).

1.11. Флокуляция

При флокуляции тончайше суспендированные или коллоидно растворенные вещества превращаются путем добавления флокулянтов и вспомогательных средств флокуляции в осаждаемую форму. В противоположность осаждению при флокуляции речь не идет о процессе фазового перехода.

Широкое понятие «флокуляция» охватывает два процесса:

- коагуляцию;
- хлопьеобразование.

Дестабилизация тончайших суспендированных систем до коллоидных

Под коагуляцией понимается дестабилизация тончайше суспендированных систем до коллоидных, однородный заряд которых поднимается на поверхность. Из-за однородного заряда частицы не могут сближаться и объединяться в слишком большие хлопья. Путем добавления флокулянтов добавляются противоположно заряженные ионы (контрколлоиды), которые компенсируют заряд коллоида и таким образом делают возможным связь хлопьев. Для этой цели подходят преимущественно соли железа или алюминия. В табл. 4.4 приводятся часто используемые флокулянты. Наряду с флокулянтами предлагаются также их смеси.

Воздействие солей железа и алюминия основывается на двух механизмах. При диссоциации возникают необходимые для дестабилизации коллоидов катионы Fe^{3+} и Al^{3+} . В качестве параллельной с дестабилизацией реакции выступает гидратация ионов Fe^{3+} и Al^{3+} в гидроксиды $\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Эти гидроксиды образуют хлопья и поверхность присоединения для возникающих при контрколлоидной флокуляции микрохлопьев. Какой из предложенных флокулянтов лучше всего подойдет для обработки определенной воды, нельзя точно предсказать. Для выбора средства и для расчета оптимальных краевых условий следует проводить сравнительные последовательные коррозионные испытания.

Таблица 4.4.

Флокулянты

Вещество	Формула формы кристалла
Сульфат алюминия	$\text{Al}_2(\text{SO})_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
Трихлорид алюминия	$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Сульфат железа(II)	$\text{Fe}_2(\text{SO})_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
Хлорид железа(III)	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Соединение частиц с большими частицами при помощи длинно цепных органических молекул

При хлопьеобразовании соединяется много маленьких частиц с большими частицами при помощи длинно цепных органических молекул. Вещества, которые вызывают такое хлопьеобразование, обозначаются как вспомогательные средства для флокуляции. При этом речь

идет о естественных или синтетических длинно цепных макромолекулах с ионогенными группами.

Поэтому они обозначаются так же, как полиэлектролиты.

Процесс оседания/флокуляции

Часто хлопьеобразование присоединяется к коагуляции, однако оно может применяться и отдельно. На рис. 4.10 показана схема процесса осаждения/флокуляции.

После добавления флокулянтов, которые доставляют положительно заряженные контрколлоиды, начинается дестабилизация коллоидной суспензии. На этой фазе должна образоваться высокая турбулентность для достижения быстрого переноса и высокой контактной вероятности контрколлоидов. Эта высокая турбулентность должна поддерживаться до конца перикинетической фазы.



Рис. 4.10. Схема осаждения, флокуляции и разделения фаз

Во время *перикинетической* фазы (рис. 4.11) начинается образование водородных мостиков между отдельными молекулами и, таким образом, образование микрохлопьев.

Следующая затем *ортокинетическая* фаза (рис. 4.12) характеризуется формированием более крупных хлопьев, состоящих из отдельных микрохлопьев, с включением имеющих суспендированных частиц. Возникающие хлопья удерживаются рядом друг с другом относительно слабыми силами и поэтому могут быть легко разбиты силами.

Чтобы это предотвратить, в начале ортокинетической фазы добавляются вспомогательные средства для флокуляции в целях поддержки образования и стабилизации хлопьев. У хлопьев есть свойство приклеивать к себе следующую частицу. Наряду с этим расход энергии в воде должен в известной мере сократиться, чтобы предотвратить седиментацию хлопьев и оставить хлопья во взвешенном состоянии.

Образованные в завершении ортокинетической фазы макрохлопья настолько крупные, что они могут быть отделены механически.

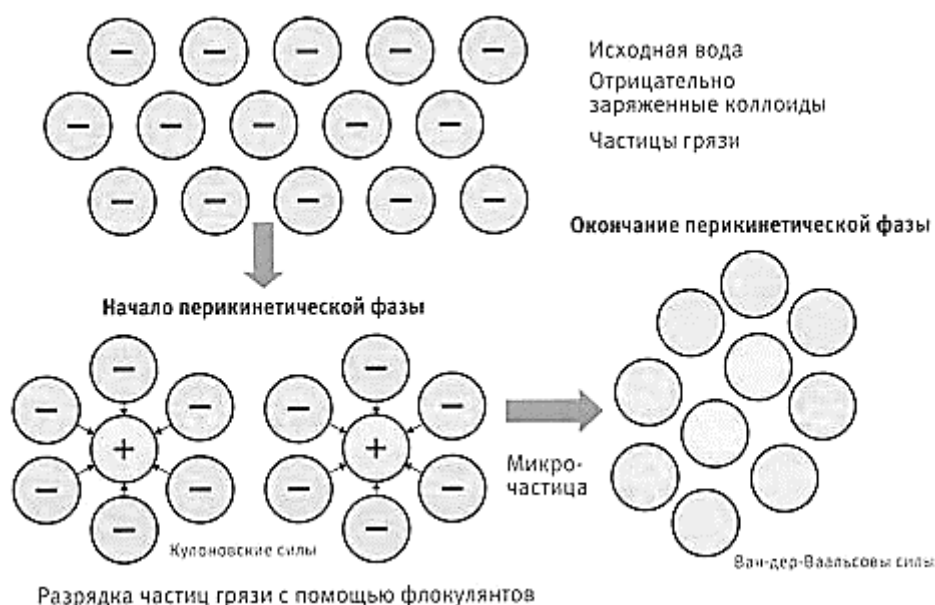


Рис. 4.11. Протекание флокуляции, коагуляции, перикинетической фазы

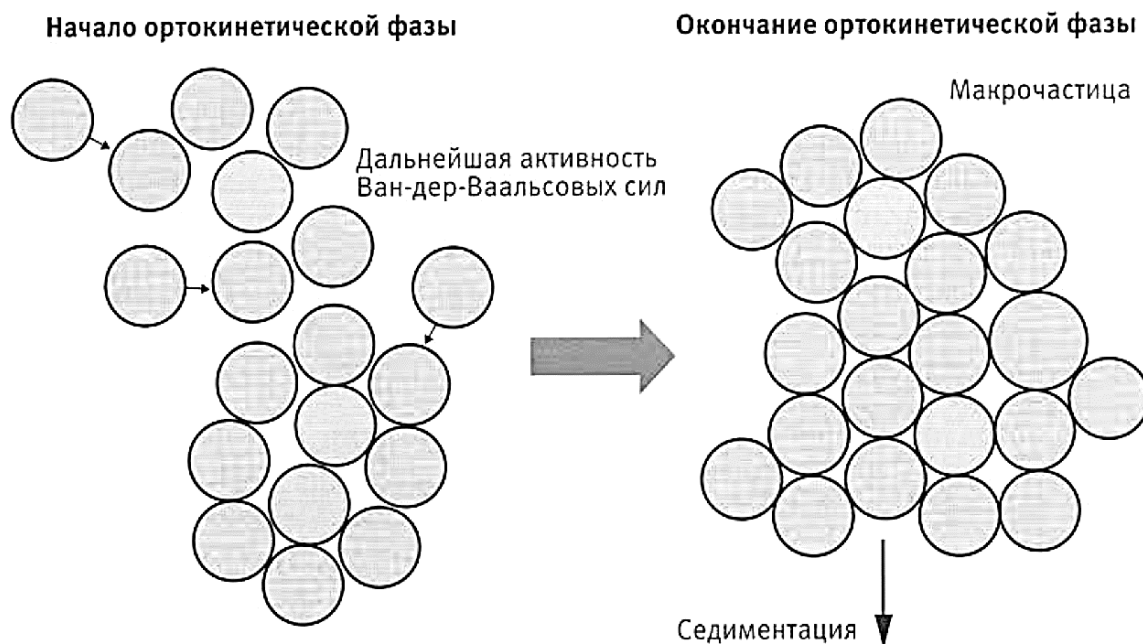


Рис. 4.12. Протекание флокуляции, хлопьеобразования, ортокинетической фазы

Пример расчета 4.6 (предварительное осаждение и флокуляция)

Сколько соли железа следует подавать в сточную воду с указанными далее параметрами при предварительном осаждении, если 50% железа служат осаждению FePO_4 , и 50%-му образованию $\text{Fe}(\text{OH})_3$?

$C_{\text{Р,прит}} = 7 \text{ г Р/м}^3$ и $X_{\text{св.при.}} = 200 \text{ г СВ/м}^3$.

Сколько осадка производится при отделении в совокупности 80% превращенных в суспензию веществ?

Решение

Расчет потребности в металле: $7 \text{ г/м}^3 \cdot 56 \text{ г Fe/моль} / 31 \text{ г/моль} = 12,6 \text{ г Fe/м}^3$ для осаждения фосфора.

Молярная масса FePO_4 , $= 56 + 31 + 4 \cdot 16 = 151 \text{ г/моль}$.

Образованный при полном осаждении фосфора фосфат железа:

$7 \text{ г Р/м}^3 \cdot 151 \text{ г FePO}_4/\text{моль} / 31 \text{ г Р/моль} = 34 \text{ г FePO}_4/\text{м}$.

Окончательная потребность в железе:

$2 \cdot 12,6 \text{ г Fe/м}^3 = 25,2 \text{ г Fe}^{3+} / \text{м}^3 \rightarrow$ в растворе с 12% по весу Fe
III: 210 г/м^3 .

Молярная масса $\text{Fe}(\text{OH})_3 = 56 + 3 \cdot (16 + 1) = 107 \text{ г/моль}$;

Возникают $12,6 \text{ г Fe/м}^3 \cdot 107 \text{ г Fe}(\text{OH})_3/\text{моль} / 56 \text{ г Fe/моль} = 24 \text{ г Fe}(\text{OH})_3/\text{м}^3$.

Так как соли железа также являются твердыми веществами, окончательная концентрация твердого вещества составляет $X_{\text{СВ}} = 200 + 34 + 24 = 258 \text{ г СВ/м}^3$.

От этого отделяются 80%, или 206 г СВ/м^3 , так что остается 52 г СВ/м^3 .

1.12. Способы реализации химико-физических методов

1.12.1. Методы нейтрализации и осаждения

Различают прерывистый (порционная очистка сточных вод) и непрерывный (проточная очистка сточных вод) методы нейтрализации. Первый следует выбирать при обработке небольших количеств отработанной воды и при сильных колебаниях концентрации компонентов.

Прерывистый метод

При прерывистом методе, рис. 4.13, сточные воды задерживаются в водосборных бассейнах и к ним добавляются необходимые химикаты. Перемешивание происходит при помощи вдувания воздуха или мешалками. Улучшенные установки состоят из двух бассейнов или резервуаров, которые заполняются поочередно. Добавление нейтрализующего вещества производится при включенной мешалке, пока не будет достигнуто заданное значение рН. Мешалка выключается, чтобы нейтрализационные осадки могли седиментировать. В отстоявшейся осветленной воде следует еще раз измерить значение рН. Если произошли значимые изменения значения рН, то следует снова перемешать и дозировать нейтрализующее вещество. После опорожнения следует очистить резервуар.

Непрерывный метод

Если норма отведения сточных вод превышает $25 \text{ м}^3/\text{сут}$, то предпочтительными являются непрерывные методы, рис. 4.14.

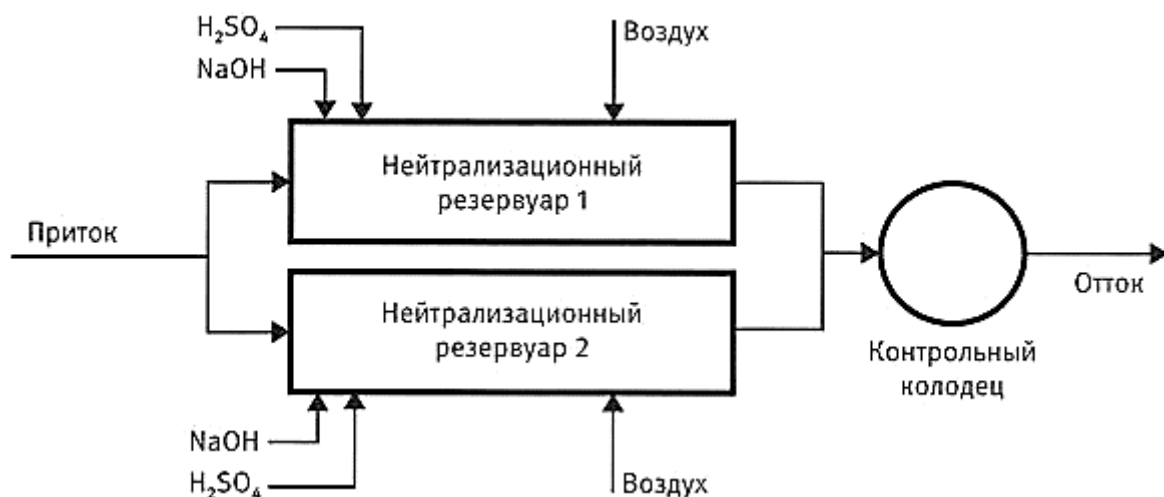


Рис. 4.13. Принципиальное изображение прерывистой нейтрализационной установки

Их преимущество заключается в том, что быстро протекающие процессы, такие как химическая реакция при нейтрализации, могут протекать в существенно более маленьких установках, чем это возможно при прерывистом методе. Время реакции для нейтрализации и осаждения металлов составляет приблизительно от 10 до 15 мин. Добавление химикатов регулируется по значению рН. Путем перемешивания нерастворимые вещества переходят во взвешенное состояние, вместе с отработанной водой выводясь и седиментируя в следующем отстойном бассейне.

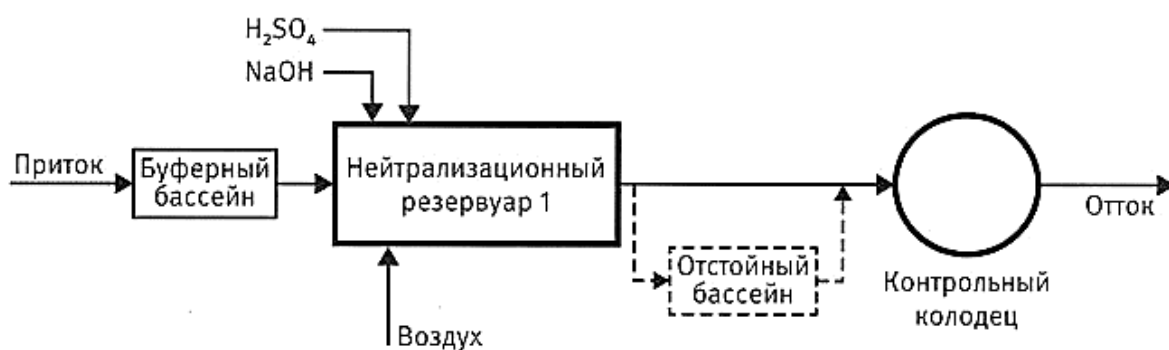


Рис. 4.14. Принципиальное изображение непрерывной нейтрализационной установки

При сильном объемном потоке и колебаниях концентрации обрабатываемых сточных вод к нейтрализационной установке следует подключить буферные бассейны. При известных условиях также предварительная обработка отдельных потоков сточных вод может привести к уменьшению объема установки.

Факторы, влияющие на размер нейтрализационного резервуара

На размер нейтрализационного резервуара влияют следующие факторы:

- объем потока сточной воды;
- качественные характеристики сточной воды и их колебания, особенно значения pH;
- время реакции и растворения нейтрализующего вещества;
- геометрия резервуара, например каскад, перемешивающий котел с мешалкой;
- требования к измерительной технике и технике автоматического регулирования.

1.12.2.Метод флокуляции

Отдельные фазы флокуляции значительно различаются по необходимому расходу энергии и продолжительности. Поэтому имеет смысл упорядочить отдельные фазы в соответствии с камерами реакции или, по крайней мере, объемом резервуара.

Метод контактного шлама

При многокамерном варианте (рис. 4.15) исходная вода течет сначала в резервуар для смешивания, где добавляются и интенсивно перемешиваются флокулянты (перикинетическая фаза). После этого вода закачивается в бассейн для флокуляции для ортокинетической фазы. Здесь могут быть дополнительно добавлены вспомогательные средства для флокуляции.

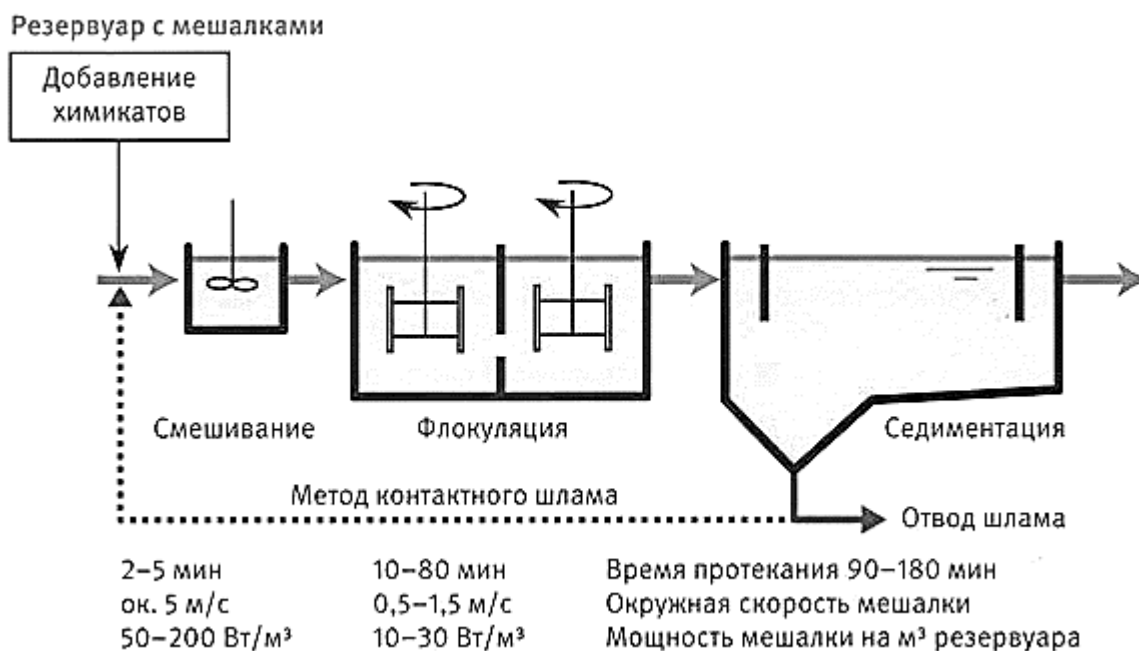


Рис. 4.15. Классическая установка для флокуляции
(многокамерный принцип)

Образовавшиеся макрохлопья разделяются в присоединенном отстойном бассейне. Как правило, возможна рециркуляция части отделенного шлама до попадания в резервуар для смешивания или флокуляции (метод контактного шлама). Из указанных также данных для времени удерживания, скорости вращения мешалки становится очевидно, что перикинетическая фаза протекает очень быстро, а ортокинетическая, наоборот, очень медленно и что вызванные мешалкой разрушающие силы в ортокинетической фазе следует считать наиболее незначительными.

Однокамерный принцип – висбаденский фильтр

Однокамерный принцип, так называемый висбаденский фильтр (рис. 4.16), был разработан в целях достижения наиболее низкого объема строительных работ. При висбаденском фильтре флокулянт дозируется в приемном канале для исходной воды. Преобладающее там турбулентное течение используется для интенсивного перемешивания флокулянтов с исходной водой. Приток в резервуар осуществляется во внутренней части разделенного направляющими стенками круглого резервуара. Там располагается мощная мешалка для дальнейшего интенсивного смешивания.

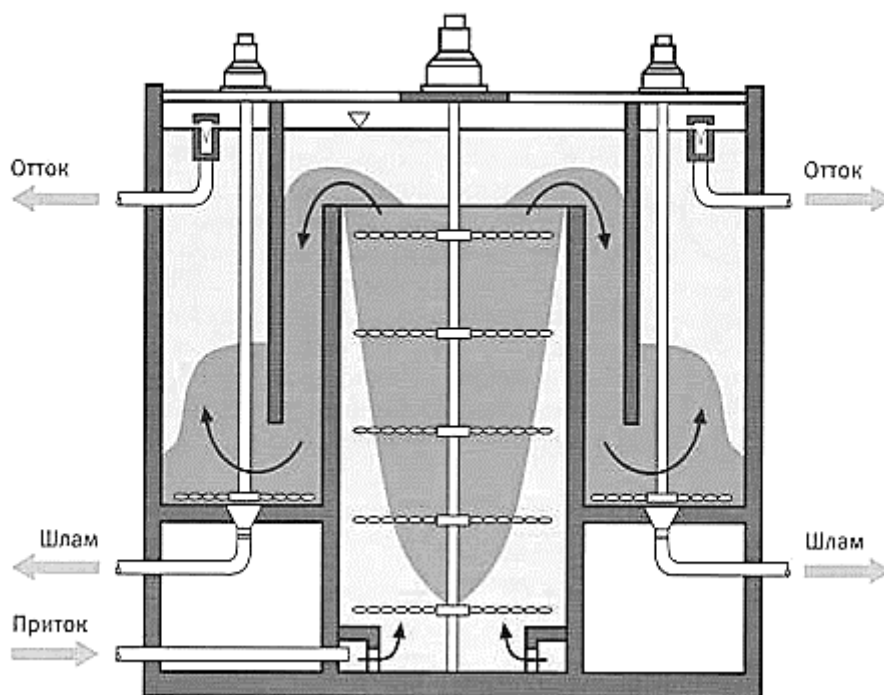


Рис. 4.16. Висбаденский фильтр (круглый резервуар при однокамерном принципе)

Вода направляется здесь наверх, чтобы затем излиться снова вниз за направляющую стенку во внешнюю часть резервуара. Скорость потока и турбулентность во внешней части резервуара меньше, вследствие чего, макрохлопья могут формироваться, связываться и седиментировать. Осаждаемый шлам опускается на дно внешнего кольцевого пространства и целенаправленно выводится.

Слишком мелкие хлопья остаются пока над зоной седиментации во взвешенном состоянии. К ним присоединяются в дальнейшем другие хлопья до тех пор, пока не будет достигнут необходимый для седиментации размер хлопьев. Поэтому висбаденский фильтр называют также «фильтром для парящих хлопьев».

Флокуляционная фильтрация

Другой вариант метода представляет собой флокуляционную фильтрацию. При флокуляционной фильтрации отказываются от реакционных или смесительных камер и необходимые для флокуляции химикаты добавляются непосредственно в приемный канал фильтра. При этом методе часть реакции протекает внутри фильтрующего слоя. Флокуляционная фильтрация характеризуется по сравнению с простой фильтрацией более короткой продолжительностью работы фильтра.

Однако при перегрузке или ошибках в дозировке сохраняется опасность выноса из фильтра, которая, тем не менее, может быть снижена путем использования многослойных фильтров. Этот метод особенно подходит для слабонагруженных сточных вод.

1.12.3. Дезэмульгирование

Эмульсии

Под эмульсиями понимают дисперсную систему (смесь веществ), состоящую по меньшей мере из двух жидких фаз. Стабильность смеси будет поддерживать активные вещества с помощью поверхностей раздела.

Эти вещества, которые предотвращают разделение на две фазы, называются также эмульгаторами или поверхностно-активными веществами (ПАВ). С их помощью неполярные вещества, такие как масла, жиры, углеводороды или растворители, бензины, минеральные масла, могут более или менее стабильно связываться в полярные жидкости, такие как вода. Для того чтобы такие отходы или воду можно было очищать, необходимо сделать эмульгатор недействующим, – т.е. расщепить эмульсию.

Принцип дезэмульгирования

Принцип дезэмульгирования (рис. 4.17) основывается на сходных с флокуляцией процессах (на добавлении разноименно заряженных ионов).

Принципиально стабильные эмульсии могут расщепляться при помощи добавления кислот или поливалентных электролитов, таких как FeCl_3 ; или $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ т. е. из эмульсии образуется грубая дисперсия. При помощи нейтрализующего заряд воздействия электролитов упраздняется отталкивающее воздействие коллоидных частиц, так что они коагулируют, т. е. могут перейти в энергетически более благоприятное состояние.

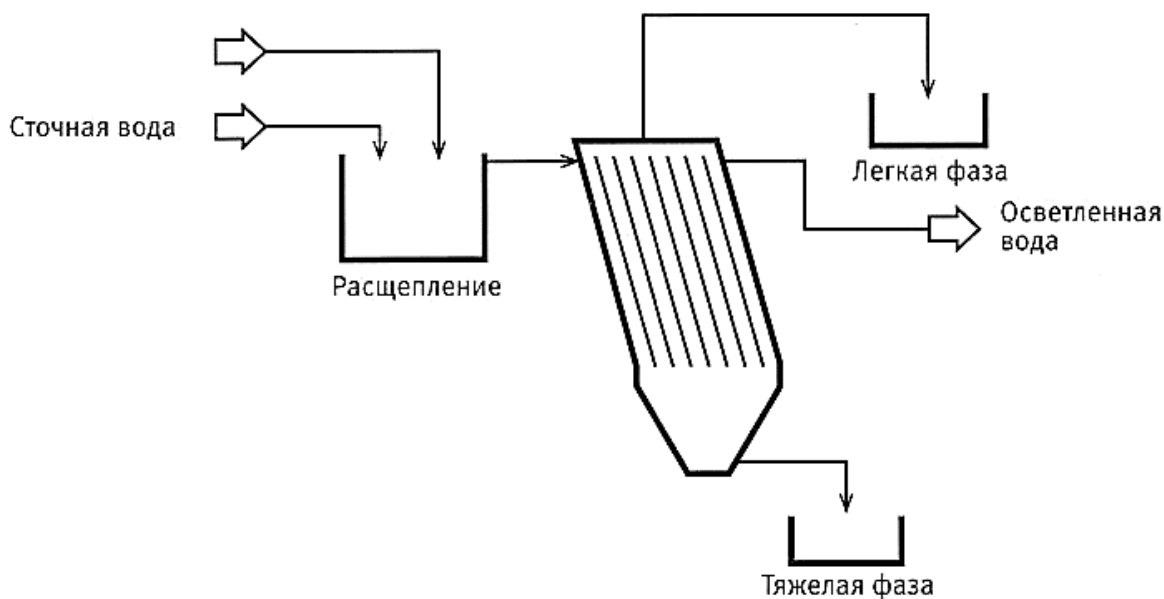


Рис. 4.17. Деэмульгирование

Областью применения является расщепление эмульсий «масло в воде», при этом выводимый продукт образует масляную фазу или содержащий масло осадок из гидроксидов тяжелых металлов.

1.13. Адсорбция

Сорбция означает поглощение вещества на граничной поверхности соседней фазы. Если поглощение происходит исключительно поверхностным слоем, то этот процесс называется адсорбцией, рис. 4.18. На поверхность твердого вещества (адсорбента) оседают удаляемые примеси (адсорбтивы). В осажденном состоянии адсорбтив называется адсорбтом.

Адсорбция – физико-химический процесс разделения, при котором процесс внедрения частиц протекает экзотермически, т. е. с выделением теплоты. Десорбция, процесс растворения адсорбтива в адсорбенте, напротив, протекает эндотермически, т. е. с поглощением теплоты.

В характеристике явлений адсорбции употребляются также значения физической адсорбции (физической сорбции) и химической адсорбции (хемосорбции). Эти процессы различаются в основном по количеству процессов адсорбции с тепловым эффектом (энтальпия адсорбции).

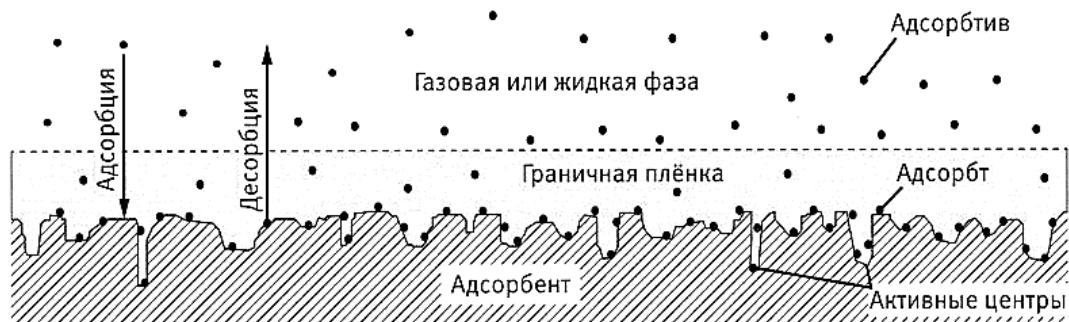


Рис. 4.18. Основные понятия адсорбции

Физическая сорбция

Физическая сорбция сопровождается ван-дер-ваальсовыми силами (дипольными силами, силами дисперсии, силами индукции). В соответствии с этим энтальпия адсорбции составляет небольшое значение от максимального значения 60 кДж/моль (среднее значение энтальпии 20 кДж/моль). Существует обратимая связь частиц, при которой возможна десорбция.

Хемосорбция

Хемосорбция отличается высокой энтальпией адсорбции от 60 до 450 кДж/моль (среднее значение 200 кДж/моль). Адсорбированные соединения находятся на поверхности в измененном химическом состоянии. Высокие энергии связи в большинстве ковалентных связей не способствуют десорбции. Процесс адсорбции в этом случае необратим. Применение адсорбции применяется при очистке сточных вод от растворенных в воде органических примесей.

В первую очередь она используется для удаления искусственных веществ, галогенированных углеводородов, биологических веществ, которые трудно поддаются разложению и бактериально токсичны, а также для разложения парализующих органических вредных веществ. Так, метод адсорбции часто находит применение при очистке фильтрационной воды из хранилища, а также при очистке сточных вод химической, металлообрабатывающей и текстильной промышленности.

Активированный уголь.

Порошковый активированный уголь. Зерненный уголь.

Гранулированный активированный уголь.

В качестве адсорбента при очистке сточных вод часто применяется активирован уголь (АУ), а также частично бурый уголь. Активированный уголь обладает весьма большой удельной поверхностью и адсорбирует прежде всего гидрофобные вещества. В зависимости от диаметра частицы активированный уголь в порошковом активированном угле (ПАУ) отличается, к примеру, от гранулированного активированного угля (ГАУ). ПАУ имеет диаметр частицы между 10 и 100 мкм и размер частицы между 0,5 и 5 мм. ПАУ имеет преимущество по сравнению с ГАУ, так как процесс адсорбции может быстро протекать на поверхности и внутри активированного угля за счет короткого пути диффузии.

Адсорбционные смолы

В особых случаях в качестве адсорбирующих веществ применяются также адсорбционные смолы. Адсорбционные смолы являются высокомолекулярными органическими пористыми полимерами с большой неионной поверхностью. Кроме того, поверхности могут изменяться благодаря функциональным группам, поэтому могут использоваться взаимодействия ионного обмена.

Они адсорбируют не только стехиометрические анионы, катионы, но и незаряженные соединения, которые принадлежат к органическим молекулам. Полярность поверхности может быть в зависимости от структуры матрицы более или менее насыщенной. Адсорбционные смолы поглощают преимущественно гидрофильные вещества.

В противоположность АУ адсорбционные смолы имеют более высокую механическую и химическую стойкость, что является преимуществом при работе с коррозионно-активными сточными водами. Близко расположенные вещества связываются благодаря поверхностным силам, которые являются более слабыми по сравнению с электростатическим притяжением ионов. Поэтому присоединение к адсорбционным смолам обратимо, т. е. адсорбционные смолы способны восстанавливаться.

Адсорбционные смолы применяются там, где органические примеси должны удаляться в относительно малых концентрациях для того,

чтобы защитить, к примеру, последующие стадии очистки. Весьма низкие концентрации органических веществ требуются, например, для технологической воды при изготовлении чипов в полупроводниковой промышленности. Более детальное рассмотрение адсорбции ограничивается далее активированным углем.

1.13.1.Адсорбция активированным углем

1.13.1.1.Характеристика активированного угля как адсорбента

Активированный уголь как адсорбент обладает большой внутренней поверхностью. Он образуется из углеводов и веществ, содержащих лигнин, например из торфа или скорлупы орехов, посредством коксования и активирования. Благодаря коксованию исходное вещество превращается в почти чистый углерод.

При активировании, которое может происходить термически или химически, углерод селективно удаляется из структуры. Это приводит к образованию весьма большой внутренней поверхности (500-1500 м²/г).

В водоочистке применяется чаще всего АУ с внутренней поверхностью от 500 до 1200 м²/г. По размеру частиц АУ делится на порошковый (ПАУ) с диаметром частицы менее 100 мкм и зерненный активированный уголь с размером частицы между 0,5 и 5 мм. Характерные признаки объединены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Характерные признаки активированного угля

Параметр	Значения
Диаметр частиц:	
– зернённый уголь	0,5-5,0 мм
–порошковый уголь	10-100 мкм
Пористость	300-1500 мм ³ /г
Внутренняя поверхность	500-1200 м ² /г
Доля микропор (<1 нм) на внутренней поверхности	>95%

Поскольку в АУ кристаллические и аморфные области располагаются неупорядоченно, то образуется множество зазоров и щелей, которые называются порами. Диаметр пор лежит в диапазоне от 0,1 до 100 нм. В зависимости от диаметра поры делятся на различные классы, табл. 4.6.

Таблица 4.6

Обозначения пор по диаметру

Пора	Диаметр, нм
Субмикропора	<0,4
Микропора	0,4-2,0
Мезопора	2-50
Макропора	>50

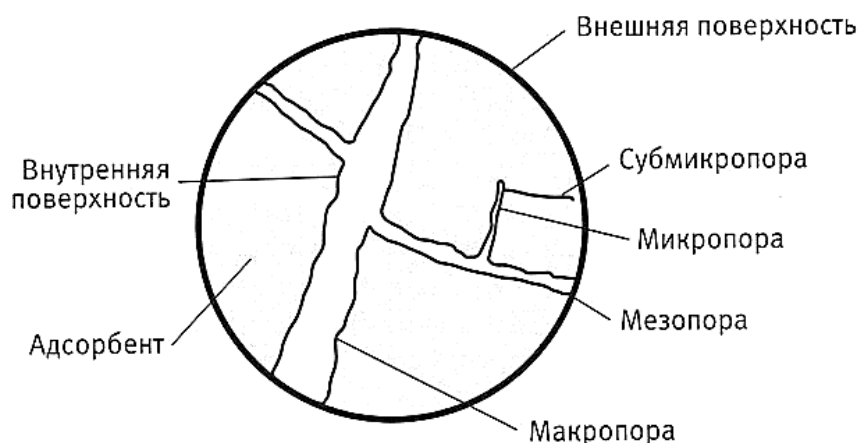


Рис. 4.19. Схематическое изображение текстуры пор активированного угля

1.13.1.2.Адсорбционное равновесие

Для вычисления и измерения метода адсорбции особое значение имеет положение адсорбционного равновесия, установленное при определенном режиме работы. Адсорбционное равновесие обозначается как установленное стабильное состояние, которое сохраняется по истечении долгого времени между концентрацией адсорбции в жидкой фазе и нагрузкой адсорбента. Стабильное состояние устанавливается по модельному представлению тогда, когда процессы адсорбции и десорбции на поверхности АУ взаимно уравнивают друг друга.

Нагрузка адсорбента приводится, как правило, в качестве массы адсорбируемого вещества из раствора на единицу массы адсорбента:

$$q_{\text{наст}} = \frac{x}{m_a}, \quad (4.22)$$

где $q_{\text{наст}}$ – нагрузка адсорбента с отсчетом времени t , мг/г;

m_a – масса адсорбента, г;

x – масса адсорбируемого вещества, мг.

Изотерма адсорбции

Нагрузку равновесия следует описывать через изотерму адсорбции. Вообще изотермы адсорбции определяются периодическим методом, при котором адсорбент контактирует с порцией с адсорбируемой жидкой фазы до тех пор, пока не установится адсорбционное равновесие. При этом различные точки изотермы устанавливаются благодаря эксперименту с равными исходными концентрациями у адсорбента и с различными количествами адсорбента. При этом каждая изотерма относится только к одной определенной постоянной температуре.

Для раствора отдельного вещества в каждый момент времени требуется следующий массовый баланс:

$$V(c_0 - c(t)) = m_a(q(t) - q_0), \quad (4.23)$$

где V – объем жидкой фазы, л;

c_0 , – концентрация адсорбента с нулевым отсчетом времени, г/л;

$c(t)$ – концентрация адсорбента с отсчетом времени г/л;

m_a , – масса адсорбента, г;

$q(t)$ – нагрузка адсорбента с отсчетом времени, г/г;

q_0 – нагрузка адсорбента с нулевым отсчетом времени, г/г.

Если используется свежий АУ, то начальная нагрузка $q_0 = 0$ (4.23).

Таким образом, можно упростить:

$$q(t) = \frac{V}{m_a}(c_0 - c(t)). \quad (4.24)$$

Благоприятная изотерма

Для математического описания изотермы адсорбции существуют различные модели. Они основываются частично на эмпирических наблюдениях, частично – на теоретических положениях.

Одна подходящая модель, с которой можно весьма точно описать процесс адсорбции в водном растворе на АУ, представляет собой благоприятную изотерму. Речь идет о простой степенной функции у благоприятной изотермы, которая математически описывается

$$q_{\text{наст}} = \frac{x}{m_a} = K_F c_{\text{наст}}^a \quad (4.25)$$

где $q_{\text{наст}}$ – нагрузка адсорбента с отсчетом времени, мг/г;

x – масса адсорбируемого вещества, мг;

m_a – масса адсорбента, г;

K_F , – благоприятная константа;

$c_{\text{наст}}^a$ – концентрация равновесия/адсорбируемого вещества в растворе, мг/л;

a – благоприятная экспонента.

Более высокие параметры K_F означают более высокую нагрузку при равной концентрации остатка, т. е. АУ может удалить больше загрязняющих веществ в зависимости от его массы. Более высокий параметр a означает вращение изотермы против часовой стрелки.

Изотерма с высоким параметром a , рис. 4.20, указывает как на незначительную нагрузку при малой концентрации остатка адсорбента, так и на значительную нагрузку при высокой концентрации остатка адсорбента. Использование АУ, изотерма которого имеет большой наклон, предпочтительно только при очень высокой концентрации загрязнений.

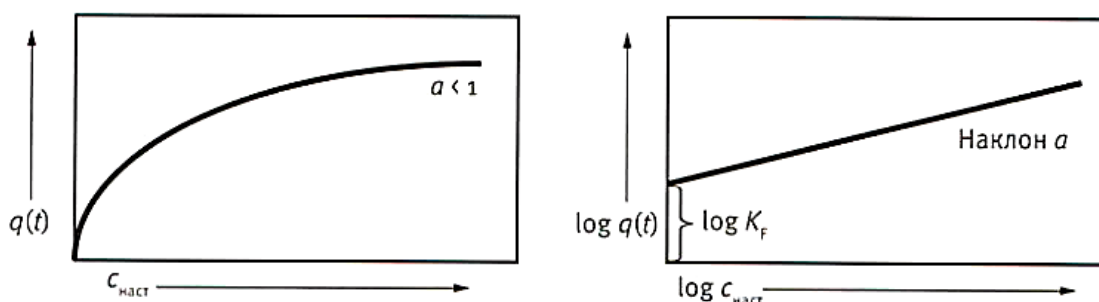


Рис. 4.20. Благоприятная изотерма в стандартном и двойном логарифмическом представлении

Сточные воды имеют многокомпонентный состав со смешанными изотермами

Закономерности, объясняющие изотермическое уравнение по благоприятности, сформулированы для отдельных веществ в разбавленном водном растворе. При использовании АУ в очистке сточных вод речь идет о процессах адсорбции различных субстанций из многокомпонентной смеси сточных вод. Если в водной фазе растворено много компонентов, то они оказывают двустороннее влияние при адсорбции.

На адсорбенте предоставлено ограниченное количество адсорбционных мест для того, чтобы какие-то индивидуальные вещества конкурировали друг с другом. Различные виды веществ, входящие в сточную воду, могут при изменяющихся концентрациях в воде влиять в некоторых случаях на механизмы замещения в подвижном растворе с АУ.

Если трудно адсорбируемое вещество находится в высоких концентрациях, то оно адсорбируется при достаточном временном контакте до состояния равновесия. Поскольку концентрация легко адсорбируемых веществ в смеси увеличивается, они могут заменить трудно адсорбируемое вещество на уголь. Однако такого подвижного раствора ожидать не стоит, так как существует крепкая связь между адсорбтивом и адсорбентом, например, в хемосорбции.

Распространенной причиной уменьшения адсорбционной емкости отдельных субстанций из сточных вод является содержание в сточных водах коллоидов. Они склеивают поверхность и частично блокируют систему пор адсорбента. В целом видимые субстанции сточных вод выборочно адсорбируются.

Таблица 4.7.

Факторы, влияющие на адсорбцию с активированным углем

Фактор влияния	Принцип действия
Температура	При понижающейся температуре повышается адсорбционная емкость
	При растущей температуре повышается скорость адсорбции
Значение pH	При низких значениях pH могут адсорбироваться кислоты (например, органические кислоты, фенол)
	При высоких значениях pH могут адсорбироваться основания (например, амины)
Молекулярная структура адсорбтива	Вещества одинаковой химической природы лучше адсорбируются при незначительном разветвлении
	Ароматические органические соединения значительно лучше адсорбируются в качестве алифатических соединений
	Вид и положение функциональных групп: часто в одной молекуле есть как полярные, так и неполярные функциональные группы, которые ориентируются на активированную углеродом поверхность следующим образом: неполярные (гидрофобные) группы ориентированы на АУ, а полярные (гидрофильные) – в раствор
Молекулярная масса адсорбтива	С уменьшением молекулярной массы адсорбционная способность возрастает, так как молекулы большого размера не сопягаются в адсорбционных порах (микропорах)
	При весьма незначительной молекулярной массе возрастает растворимость (гидро-фильность). Это оказывает негативное влияние на адсорбционную способность
Растворимость адсорбтива	С уменьшением растворимости возрастает адсорбционная способность
Полярность адсорбтива	Полярные молекулы лучше растворимы в воде, тогда как неполярные адсорбируются хуже
	Большинство АУ обладают неполярной поверхностью, вследствие чего полярные и неполярные органические вещества могут хорошо удаляться из воды
Ионизация адсорбтива	Сильно ионизированные вещества плохо адсорбируются, это означает, что адсорбционная способность возрастает с уменьшением степени диссоциации
Концентрация адсорбтива	Чем выше концентрация, тем выше нагрузка адсорбента

Существуют различные методы, которыми можно выделить смешанные изотермы из изотерм чистого вещества. При этом предполагается, что отношения концентрации в смеси известны. Тем не менее для большинства сточных вод это не тот случай. Однако есть вариант, когда сточные воды характеризуются через параметр суммы и устанавливают одну изотерму. В качестве изменяющихся параметров выступают РОУ и ХПК, так как они могут связываться со всеми веществами, содержащимися в сточной воде. Когда устанавливается соотношение между ХПК и спектральными коэффициентами адсорбции (СКА/5АК), тогда СКА тоже можно применить. Вследствие благоприятной изотермы параметры достаточно точно описываются при водоподготовке и очистке сточных вод с возникающими комплексными процессами адсорбции в смеси, не поддающейся точному определению.

Изотерма адсорбции относится только к одному определенному адсорбенту и одному определенному адсорбтиву; для ее определения необходимы измерения исходных параметров сточных вод.

Адсорбционное равновесие допускает при определенных условиях производства максимально допустимую нагрузку адсорбента, которая обозначается также как пропускная способность адсорбента. Положение равновесия, так же, как и адсорбционная способность органических веществ в водном растворе с АУ, оказывает влияние на ряд свойств этих субстанций. Кроме того, такие внешние факторы, как температура или значение рН, влияют на адсорбционную способность. Факторы влияния перечислены в табл. 4.7.

1.13.1.3. Кинетика адсорбции

На практике методами адсорбции, как правило, не достигается равновесная нагрузка, поскольку были бы необходимы бесконечно длинные временные нагрузки и вместе с этим весьма значительный объем адсорбера. По этой причине в параметрах адсорберов или в их балансировании при равновесной нагрузке допустимы еще понятия временного протекания процесса адсорбции, т. е. кинетика адсорбции, или скорость адсорбции. Равновесная нагрузка и скорость адсорбции

образуют основу для измерения времени контакта адсорбтива и адсорбента. На основании этих данных может осуществляться технико-научный выбор оптимальной мощности и рабочих параметров.

Под кинетикой адсорбции понимают временное протекание процесса адсорбции вплоть до достижения состояния равновесия. Скорость определяется по массе переносимого вещества адсорбтива при адсорбции. Этот перенос может разделяться на процессы, которые происходят на поверхности, вне и внутри отдельной частицы.

В общем и целом, процесс адсорбции осуществляется в жидкой фазе и, по сути, состоит из четырех стадий, рис. 4.21.

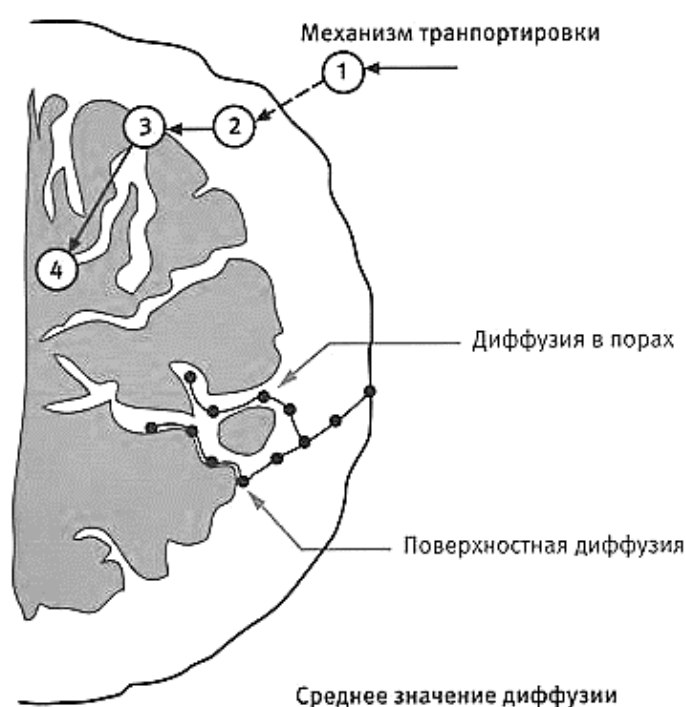


Рис. 4.21. Адсорбция на отдельной частице, транспортные и диффузионные механизмы процесса адсорбции в водной фазе

1. Перенос адсорбтива из жидкой фазы на край граничной пленки, которая находится вокруг частицы адсорбента (конвекция при обдуве или диффузии в свободной фазе).

2. Перенос через граничную пленку на внешний край частицы адсорбента (пленочная диффузия).

3. Перенос вовнутрь адсорбента (частичная диффузия) посредством диффузии в жидкость пор (диффузия в пористой среде) и (или)

диффузия в адсорбированном состоянии вдоль внешней поверхности (поверхностная диффузия).

4. Энергетическое взаимодействие частиц адсорбтива с активными центрами собственной поверхности адсорбента.

Стадия 1

Под диффузией и конвенцией в свободном растворе понимают перенос адсорбтива в непосредственной близости от адсорбента. Эта стадия адсорбции достигается методом подвижного слоя благодаря тому, что адсорбтив, находящийся в среде сточных вод, проходит в принудительном порядке через адсорбционную колонну. При псевдоожигении, которое применяется при использовании порошкового угля, осуществляется контакт между адсорбентом и адсорбтивом благодаря интенсивному смешиванию обеих сред порошкового угля и сточных вод.

Стадия 2

Адсорбент окружен граничной пленкой, так называемым диффузионным слоем Нернста, которая должна проникнуть в адсорбтив, прежде чем сможет продвинуться в поры адсорбента. Толщина этого граничного слоя составляет от 10 до 100 мкм. Эта стадия адсорбции называется пленочной диффузией.

Стадия 3

Перенос адсорбтива в макро- и мезопоры осуществляется преимущественно посредством диффузии водных пор. Движущей силой диффузии водных пор является перепад концентраций жидкости пор внутри частицы угля. Возрастающее количество столкновений адсорбтива со стенками пор препятствует диффузии пор с возрастающим проникновением молекул в область микропор, особенно тогда, когда размер молекул соответствует приблизительному диаметру пор. С этого момента поверхностная диффузия играет решающую роль, когда адсорбированные молекулы, не десорбируясь, диффундируют вдоль стенки пор и продвигаются дальше внутрь пор за счет профильной нагрузки в грануле угля.

Диффузию пор и поверхностную диффузию трудно отличить на практике, так как они накладываются друг на друга. Поэтому часто объединяют оба процесса диффузии под одним понятием частичной диффузии.

Стадия 4

Последней стадией процесса адсорбции является собственно наложение адсорбтива на свободную поверхность адсорбента. Адсорбционная емкость отличается по типу угля и зависит, прежде всего, от структуры пор и распределения пор по размерам, а также от внутренней поверхности.

Скорость отдельных стадий лишь отчасти может подвергаться воздействию внешних факторов. Так, к примеру, пленочная диффузия может ускоряться за счет повышения степени турбулентности, вследствие чего уменьшается толщина граничной пленки. С другой стороны, диффузный перенос вещества в порах адсорбента может непосредственно не оказывать такого влияния. Параметрами влияния на скорость диффузии являются перепад концентраций в частице адсорбента, а также константа диффузии, которая сильно зависит от температуры и вязкости. Косвенно на кинетику сорбции может положительно влиять высокая тонкость измельчения активированного угля, так как в этом случае увеличивается удельная внешняя поверхность и сокращаются пути диффузии.

1.13.2. Методы адсорбции

При использовании порошкового угля к сточным водам применяется ПАУ и на последующих этапах очистки в контактных отстойниках происходит разделение очищенной воды от угля с адсорбированными загрязнениями.

В качестве контактных отстойников могут применяться резервуары с мешалками и с внутренним контуром циркуляции. Разделение загруженного порошкового угля может производиться или посредством коагуляции с последующим осаждением, или фильтрацией, а также за счет комбинирования обоих способов разделения.

В общем и целом, различают следующие методы:

- одноступенчатый прямоточный метод;
- двух- или многоступенчатый прямоточный метод;
- двух- или многоступенчатый метод противотока;
- одноступенчатый прямоточный метод с рециркуляцией.

Для расчета параметров ПАУ-системы или ПАУ-дозы достаточно достижения адсорбционного равновесия, тогда в стационарном временном контакте между адсорбентом и сточными водами осуществляется интенсивное перемешивание этих двух составляющих. Это означает, что при данных величинах протекания реакции с помощью изотермы адсорбции можно вычислить нужную ПАУ-дозу. На практике при очистке сточных вод, как правило, достаточное время удерживания ПАУ составляет примерно от 15 до 20 мин.

Особое преимущество в использовании порошкового угля состоит в том, что за счет изменения дозы происходит адаптация изменяющегося состава сточных вод. Вместе с этим эффективность очистки, или качество протекания реакции, остается постоянной.

За счет концентрации равновесия, а именно концентрации в ходе реакции, с порошковым углем допустимы максимальные нагрузки.

Одноступенчатый прямоточный метод

Одноступенчатый прямоточный метод, рис. 4.22, применяется чаще всего. Порошковый уголь добавляется к потоку сточных вод и интенсивно перемешивается с ними в контактных отстойниках.

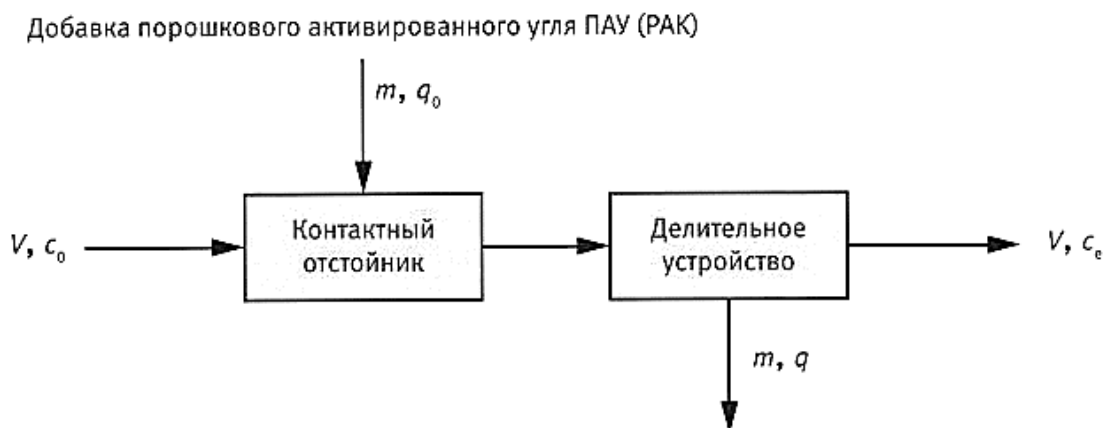


Рис. 4.22. Основная схема технологического процесса одноступенчатого прямоточного метода

Многоступенчатый прямоточный метод

После заданного времени адсорбции, которое рассчитывается из среднего времени удерживания сточных вод в контактных отстойниках, ПАУ отстаиванием или фильтрацией отделяется от очищенных сточных вод. В этом методе максимально доступная нагрузка устанавливается

ливается за счет концентрации в ходе реакции, которая остается в равновесии с этой нагрузкой. Контактный отстойник представляет собой емкость для перемешивания, в котором концентрация равна концентрации в ходе реакции.

При многоступенчатом прямоточном методе, рис. 4.23, обычно соединяются подряд два этапа с прямым током, и в каждом этапе происходит добавление ПАУ.

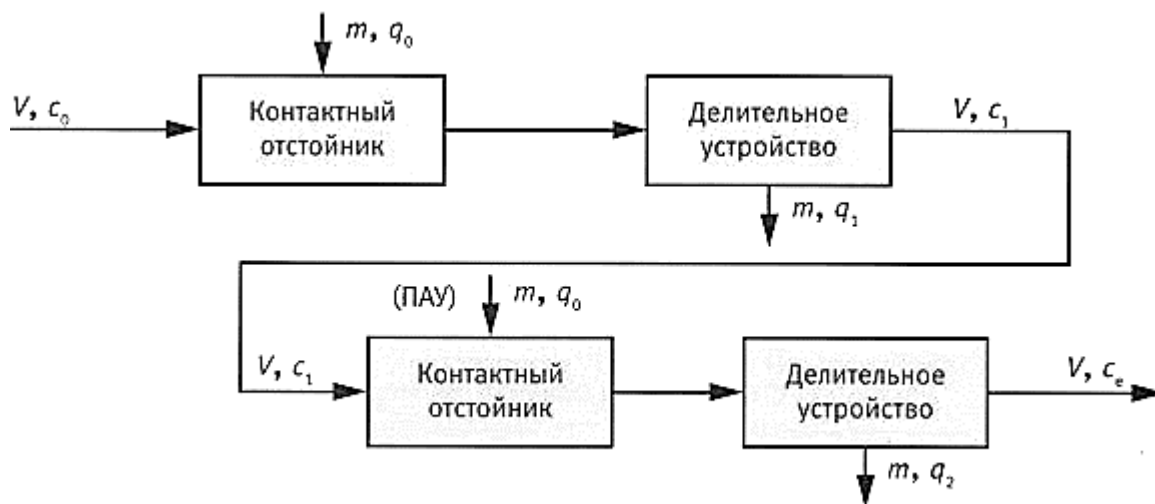


Рис. 4.23. Основная схема технологического процесса двухступенчатого прямоточного метода

Также на каждом этапе концентрация в ходе реакции находится в равновесии с нагрузкой АУ. Благодаря этому на первом этапе можно достигнуть более высоких нагрузок, чем на втором, так как концентрация в ходе реакции на первом этапе выше, чем на втором.

Незначительный расход ПАУ при равной эффективности очистки

В ходе одноступенчатого метода есть только одна доза ПАУ, с которой можно достичь определенной концентрации остатка, тогда как в многоступенчатом прямоточном методе равная эффективность очистки достигается при различных значениях дозы угля. При этом общее количество порошкового угля составляется из единичной дозы соответствующей ступени, для которой существует множество универсальных вариантов комбинаций. В многоступенчатом прямоточном методе по сравнению с одноступенчатым методом при равной эффективности очистки можно достичь незначительного расхода ПАУ. Более высокие затраты компенсируются более низким расходом АУ.

Многоступенчатый метод противотока

При многоступенчатом методе противотока на последнем этапе происходит дозирование свежего ПАУ, отделенный загруженный АУ подается на предыдущем этапе, далее дозирование происходит с наиболее высокими концентрациями. ПАУ вводится противотоком к сточным водам, и нагрузка АУ остается в равновесии с исходной концентрацией при бесконечном количестве ступеней, так что при этом методе можно достичь максимально возможной нагрузки.

Таким образом, благодаря многоступенчатому методу достигается еще меньший расход АУ, чем при многоступенчатом прямоточном методе.

Одноступенчатый прямоточный метод с рециркуляцией (Незначительный расход ПАУ)

Одноступенчатый прямоточный метод с рециркуляцией состоит в применении отделяющейся в разделителе частично загруженный ПАУ и возвращении смеси с помощью насоса в контактный резервуар. Время пребывания АУ в системе и концентрация ПАУ в контактном резервуаре увеличиваются за счет обратного хода по аналогии с очисткой сточных вод активным илом.

Благодаря этому объем нагрузки ПАУ утилизируется лучше, и в итоге расход угля оказывается незначительным. Издержки производства при выборе этого метода можно значительно сократить только при значительных капитальных затратах.

1.13.3.Метод использования зерненого угля

Зерненный уголь часто используется в адсорберах с неподвижным слоем адсорбента (фильтрах), так как при этом речь идет о простых подвижных системах, которым не требуется постоянное техническое обслуживание. С фильтрами из зерненого угля, в противоположность фильтрам, использующим порошковый уголь, можно достигнуть высоких нагрузок, которые соответствуют равновесию концентрации подачи. Поэтому количество зерненого угля, требуемое на 1 м^3 очищенных сточных вод, получается меньшим, чем порошкового угля. Тем не менее применение зерненого угля требует увеличенных капитальных

затрат. Кроме того, стоимость зерненого угля значительно выше стоимости порошкового угля. Но зерненный уголь, в отличие от порошкового, можно регенерировать. р

Полунепрерывный процесс

Адсорбция в неподвижном слое адсорбента является полунепрерывным процессом. Прежде всего производится непрерывная загрузка адсорбера до концентрации в определенных заданных границах для исключения проскока. Отработанный АУ затем заменяется или регенерируется.

Во время работы адсорбера присоединение каждой его частицы адсорбента к адсорбтиву из раствора происходит до тех пор, пока концентрация загрязнения в адсорбере и растворе не придет в равновесие. Массопередачи протекают не бесконечно быстро, а зависят от времени из-за различных переносов сопротивлений, при засыпке адсорбера образуется профиль концентрации и нагрузки, который переходит во время процесса адсорбции через засыпку.

Если профиль достигает выхода адсорбера, то измеряется временной путь концентрации. Этот путь называется кривой проскока. На рис. 4.24 показаны профиль концентрации и кривая проскока для предельного случая бесконечно быстрой кинетики, а на рис. 4.25 – реальный ход реакции профиля концентрации и кривой проскока.

Три зоны засыпки внутри адсорбера

При рассмотрении процесса адсорбции для определенного времени можно выделить три зоны засыпки внутри адсорбера.

В зоне I на входе адсорбера адсорбент уже загружен до равновесного значения. Адсорбтив из раствора больше не поглощается. Концентрация раствора соответствует концентрации в ходе реакции.

В зоне II встречаются профили нагрузки и концентрации, т. е. здесь происходит переход вещества из раствора на адсорбент. По этой причине зона II называется также переходной зоной массы или трансферной зоной массы. Форма профиля в этой зоне определяется кинетикой адсорбции и положением адсорбционного равновесия.

Зона III является еще не достигнутым фронтом адсорбции. И концентрация раствора, и нагрузка в этой зоне в идеале равны нулю. При определенном проценте неадсорбированных веществ в растворе концентрация в зоне III равна концентрации таких веществ.



Рис. 4.24. Идеальная, или стехиометрическая, кривая проскока и идеальный профиль

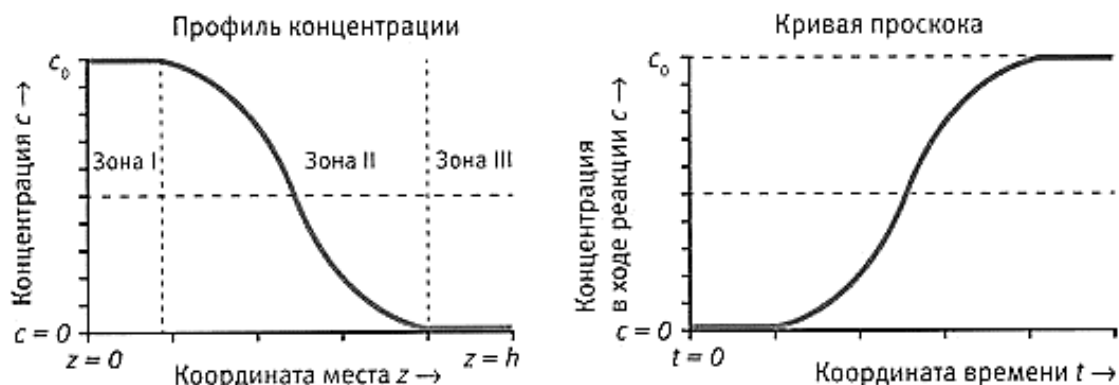


Рис. 4.25. Реальная кривая проскока и реальный профиль концентрации. Кривая проскока смешанного типа из смеси двух веществ

Если в растворе находится много адсорбтивов с различными адсорбционными свойствами, то образуется также значительное количество фронтов адсорбции, которые мигрируют с различной скоростью через засыпку адсорбера. На рис. 4.26 представлена характерная диаграмма кривой проскока смешанного типа из смеси двух веществ. При этом наиболее слабый адсорбируемый компонент 1 адсорбируется прежде всего соответственно его индивидуальному адсорбционному равновесию. Более сильный адсорбируемый компонент 2 мигрирует с временным запаздыванием через адсорбер и адсорбируется соответственно данному равновесию смеси. При этом компонент 2 вытесняет компонент 1 из адсорбента до тех пор, пока не достигнет равновесия в смеси. Благодаря этому увеличивается концентрация более слабого адсорбируемого компонента 1 в процессе работы адсорбера ($c_1/c_0 > 1$).

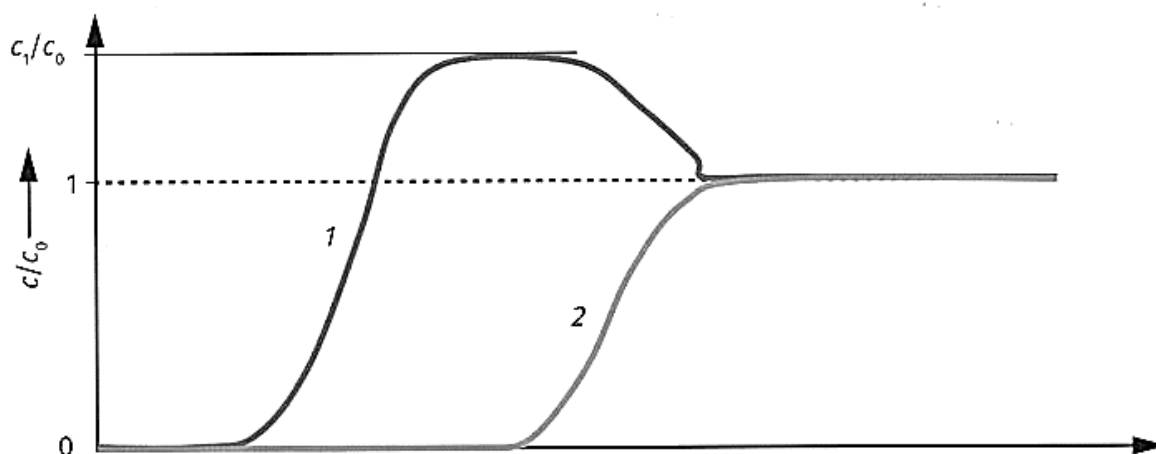


Рис. 4.26. Кривые проскока бинарной смеси:
 1 – более слабые адсорбируемые компоненты;
 2 – более сильные адсорбируемые компоненты

При определении суммы параметров для оценки результата адсорбции различные кривые проскока индивидуальных веществ не разделяются аналитически в области очистки сточных вод. При этом эффекты вытеснения могут подтверждаться лишь за счет возникновения высоких суммарных параметров концентрации в процессе работы адсорбера.

Для дозирования фильтров из АУ требуется прогнозирование временного пути у кривой проскока, к моменту которой достигается граничная концентрация в процессе работы адсорбера.

Для определения кривых проскока применяются следующие методы:

- экспериментальное определение изотерм адсорбции периодическим методом,
- теоретическое определение кривых проскока с помощью моделей массообмена;
- экспериментальное определение кривых проскока с помощью лабораторного адсорбера.

Если граничная концентрация достигается в процессе работы адсорбера, то всегда существует часть неиспользованного объема адсорбента, которая зависит от длины переходной зоны массы. Чем длиннее эта зона или чем более плоская кривая проскока, тем более неполным является использование объема адсорбента. По этой причине наличия

одного-единственного адсорбера недостаточно для рентабельного производства. На практике многие адсорберы соединяются друг с другом и представляют собой адсорбционную колонну. Адсорбционная колонна оптимально рассчитана тогда, когда первый адсорбер полностью загружен в колонну, достигая граничных значений. Длина переходной зоны массы может влиять на скорость фильтрации, которая воздействует на кинетику адсорбции (см. «Кинетика адсорбции»).

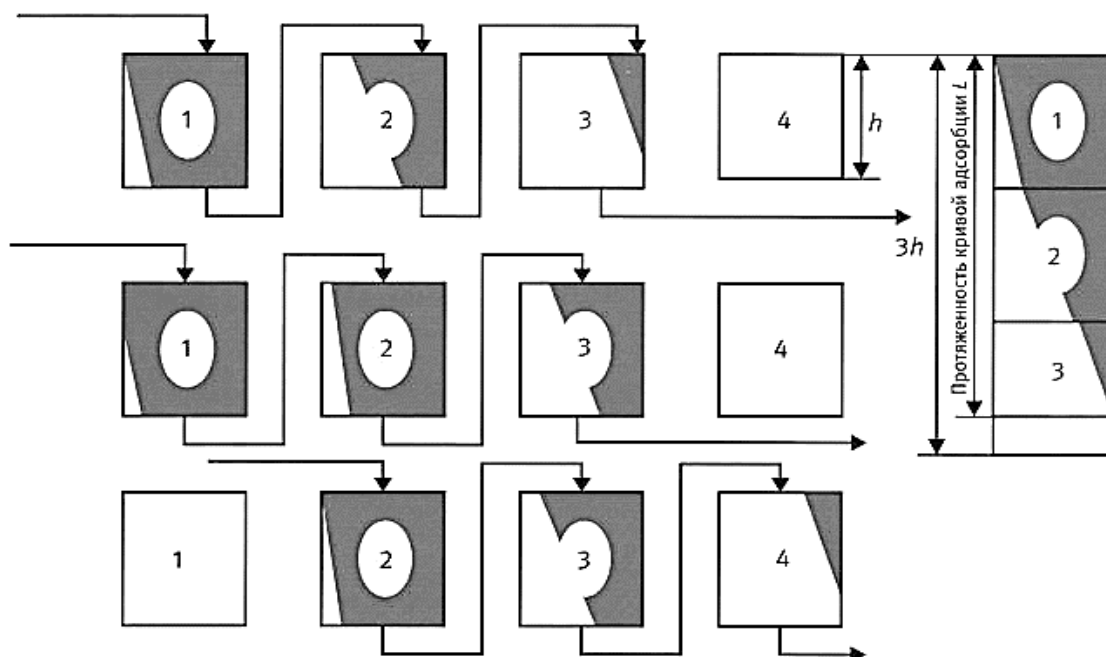


Рис. 4.27. Нагрузка или профиль концентрации при последовательном соединении трех адсорберов с неподвижным слоем

Процесс загрузки в одну стадию адсорбации с тремя адсорберами

Блок-схема временного процесса загрузки в одну стадию адсорбции с тремя адсорберами представлена на рис. 4.27. Если в процессе работы адсорбера происходит превышение концентрации проскока, то к концу цепочки подключается

Пример расчета 4.8 (фильтр из активированного угля)

После того как станут известны значения изотермы при данной концентрации индивидуальной нагрузки АУ, можно определить продолжительность работы фильтра из АУ, на которую влияет тонкость

фильтрации, от которой зависит возможность проскока вредного вещества на выходе фильтра. Обычной числовой мерой является расход АУ, который рассчитывается следующим образом:

- груз вещества $V_{\text{сут}} [\text{кг/сут}] = Q [\text{л/с}] + c [\text{мг/л}] - 86400$
 $c/\text{сут}/1000000 \text{ мг/кг}$;
- расход активированного угля $F_{\text{АУ}} [\text{кг/сут}] = V_{\text{сут}} / q$, где q – относительная масса загрузки вещества $[\text{моль/г АУ}]$ – молярная масса M адсорбирующегося вещества $[\text{г/моль}]$;
- продолжительность работы фильтра вплоть до полного заполнения сорбционной емкости $t_{\text{сост}} [\text{сут}] = m_{\text{АУ в фильтре}} [\text{кг}] / F_{\text{АУ}} [\text{кг/сут}]$.

В следующем примере расход АУ и продолжительность работы фильтра (при $m_{\text{АУ в фильтре}} = 500 \text{ кг}$) для возникающего объемного потока $Q = 0,5 \text{ л/с}$ должны определяться по адсорбирующей концентрации уксусной кислоты на 200 мг/л и по благоприятной изотерме из примера расчета 4.7. Молярная масса уксусной кислоты равна 60 г/моль .

Решение

Расчет концентрации веществ: $0,2 \text{ г/л} / 60 \text{ г/моль} = 0,00533 \text{ моль/л}$.

Адсорбированное количество вещества измеряется благоприятной изотермой по примеру расчета 4.7:

$$n = 5,37 \cdot 10^{-3} \cdot 0,003330,75 = 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ моль.}$$

В пересчете на $0,05 \text{ г}$ в испытании с АУ $\Rightarrow 0,00149 \text{ моль/Гг}$.

Нагрузка $a = 0,00149 \text{ моль/г} \cdot 60 \text{ г/моль} = 0,0894 = 8,9\%$.

$$F_{\text{АУ}} = V_{\text{сут}} / q = 0,5 \text{ л/с} \cdot 200 \text{ мг/л} - 86400 / 1000000 / 0,0894 = 96,6 \text{ кг АУ/сут};$$

При 500 кг АУ фильтр истощается примерно после пяти дней. Рекомендуется выбирать большие фильтры.

Еще один, незагруженный адсорбер, в то время как самый загруженный адсорбер (в этом случае – первый) опять наполняется свежим АУ.

За счет отношения проскока в процессе работы адсорбера с неподвижным слоем АУ можно достичь не постоянную концентрацию в ходе реакции, а измененную со временем эксплуатации.

1.13.4.Сочетание адсорбция-биология

Адсорбция на биологической стадии

При отщеплении органических веществ, которые содержатся в сточных водах и затрудняют очистку или трудно поддаются разложению, индивидуальные потоки сточных вод могут обрабатываться общей биологической адсорбционной очисткой. Адсорбция всегда конкурирует с другими физико-химическими методами обработки сточных вод, так что рекомендуется проверять техническую и экономическую возможность ее использования.

Адсорбция с одновременной биологической обработкой

При использовании в фильтрах зерненого угля АУ служит, с одной стороны, адсорбентом, а с другой – почвой для микроорганизмов. В такого рода фильтрах могут также протекать процессы нитрификации и денитрификации с выходом продукта за один проход в единицу времени.

Применение ПАУ в очистке сточных вод активным илом целесообразно в случаях, когда очистные установки биологически перегружены или протекает нестабильное биологическое разложение.

Преимущества и недостатки

Добавка ПАУ имеет некоторые преимущества:

- адсорбированные вещества, содержащиеся в сточных водах, могут связываться, так как они мешают биологическому разложению;
- значение показателя шлама снижается, так что биология может работать с высоким содержанием шлама;
- обезвоженный шлам улучшает свои свойства за счет того, что накапливается кондиционер;
- вещества, содержащиеся в сточной воде, обогащаются на поверхности адсорбентами и только затем идет их разрушение микроорганизмами; здесь возникает преимущество по концентрации;
- накопление кислорода на АУ, в результате чего улучшается нитрификация и во время осаждения может происходить распад веществ.

Недостатки:

- более высокий выход шлама, причем такой шлам не может использоваться в сельском хозяйстве, если предельные значения превышены относительно АОХ (адсорбируемых органически связанных галогенов) и тяжелых металлов;
- более высокие затраты по сравнению с чисто биологической установкой.

Адсорбция после биологической стадии

Если АУ используется только после выполненной механико-биологической предварительной очистки, то извлекается множество веществ, которые способны к биологическому расщеплению и могли бы навредить процессу адсорбции. Благодаря этому методу происходит целенаправленный адсорбционный захват веществ в сточных водах, которые являются биологически устойчивыми, как, например, реактивный краситель из производства текстильной промышленности.

Отношение биологически устойчивых веществ к веществам, способным к биологическому расщеплению, становится существенно больше после биологической стадии, поэтому устранить органические остатки веществ экономичнее и эффективнее может конкурирующая адсорбция, нежели одновременная адсорбция.

1.13.5.Регенерация активированного угля

Во многих случаях регенерация или реактивация угля целесообразна с точки зрения как экономии, так и экологии.

Регенерация

Под регенерацией понимают удаление адсорбированных веществ от нагруженного адсорбента и восстановление емкости адсорбции до прежнего состояния. При использовании данного метода активная поверхность остается без изменений.

Реактивация

Реактивация означает удаление адсорбтива посредством химической реакции. Все это соответствует процессу инициализации.

По существу различают:

- термическую регенерацию;
- химическую регенерацию;
- биологическую регенерацию.

1.13.5.1.Термическая регенерация

Порошковый активированный уголь после использования всегда находится в водной фазе и более или менее загрязняется твердыми веществами и ПАУ-шламом, а также содержит намного меньше твердых веществ, чем ГАУ. Так как для термической регенерации или реактивации АУ, применявшийся в очистке сточных вод, должен осушаться, то при использовании ПАУ требуется гораздо больше энергии (высокие затраты на энергию), чем для ГАУ. Потери при использовании ПАУ выше, чем для ГАУ, поэтому регенерация или реактивация до сих пор экономически возможна только для ГАУ.

При термической регенерации АУ адсорбенты должны осушаться и подвергаться пиролизу. При осушке до 400 °С уже десорбируются легколетучие вещества, между 400 и 700 °С происходит пиролиз оставшихся веществ на адсорбенте. При реактивации АУ при температуре около 700 °С обрабатывается исходящим СО, и водяным паром.

В самом процессе реактивация никак не сказывается на активности АУ, тем не менее изменения структуры пор и потери адсорбента при изнашивании, выгорании и газификации угля составляют 10% от общей активности. Разумеется, за счет реактивации повышается объем нагрузки АУ, что можно объяснить дополнительными адсорбционными местами в полученном при коксовании АУ при нагрузке из органических веществ.

Газовые отходы, появляющиеся при термической регенерации, очищаются от отходов за счет вторичного окисления, улавливания пыли и, при необходимости, адсорбционной очисткой газов.

Химическая регенерация

Химическая регенерация АУ происходит за счет добавления химических реактивов (кислот, щелочей, окислителей). Адсорбированные вещества химически разлагаются. Присутствие шлама негативно сказывается на количественном добавлении химических реактивов. В случае сдвига значения рН необходимо провести повторную нейтрализацию. В окислительном методе потери угля возникают за счет окислительного разложения. Химические методы, которые используются для очистки сточных вод, являются весьма затратоемкими.

Биологическая регенерация

Если поверхность АУ частично или полностью занята веществами, которые способны к биологическому расщеплению, то при биологической регенерации может восстанавливаться часть объема нагрузки ПАУ. Преимущество метода биологической регенерации состоит в том, что присутствие воды и шлама не только не является недостатком, а даже желательно. Микроорганизмы используются для адсорбирующих веществ в качестве субстрата и включаются в круговорот их обмена веществ. Благодаря биохимическому расщеплению адсорбированных веществ освобождаются адсорбционные места, что приводит к повышению адсорбционной емкости. За счет распределения биомассы на поверхности ПАУ происходит образование дополнительного сопротивления, которое усложняет последующие стадии адсорбции. Так как биологическая регенерация протекает очень медленно, экономичность этого метода следует проверять в каждом отдельном случае.

1.13.6.Метод ионного обмена

В методе ионного обмена определенные ионы поглощаются из раствора электролитов, а вместо этого равноценное количество других ионов возвращается снова в раствор. Ионы могут быть либо катионами, либо анионами, соответственно, различают катионный обмен и анионный обмен. Большинство ионитов являются полимерными субстанциями, у которых решетка полимера крепко связана с веществами. Наряду с синтетическим обменом существует также обмен на неорганической основе.

Как и при адсорбции, ионный обмен в качестве вспомогательного материала также вызывает обратимое связывание веществ, содержащихся в сточных водах. При этом происходит регенерация обедненной примесями, но концентрированной фазы с основным компонентом.

Общеупотребительными в очистке сточных вод являются следующие иониты.

- *катионный обмен*: смолы с сульфокислотой и карбоксильные группы кислот применяются в обмене катионов. Они связывают, например, ионы серебра и в обмен отдают ионы натрия или водорода.

- *анионный* обмен: смолы с аминогруппами. Они связывают, например, сульфаты или цианиды в обмен на хлорид-ион или гидроксид-ион. В очистке сточных вод преобладает использование ионного обмена высокомолекулярных структур с макропорами.

Выбор метода, зависит от значения рН.

При выборе типа обмена руководствуются значением рН раствора. Анионный обмен вмещает в себя как сильноокислую и слабоокислую области, так и нейтральные и слабощелочные растворы; сильнощелочные смолы имеют значение рН около 10, слабощелочные рН-8. Значения рН для катионного обмена:

- сильноокислые смолы – 1-15,
- слабоокислые смолы – 4-9,
- хелатообразующие смолы – 1,5-10,0.

Преимуществом является то, что активные группы ионного обмена химически крепко связаны с решеткой молекулы смолы, вследствие чего сточные воды освобождаются от любых органических веществ.

1.14. Процессы окисления и восстановления

К химическим реакциям при очистке сточных вод устанавливаются следующие требования:

- длительность реакций должна быть максимально короткой.
- не должно возникать токсичных продуктов реакции.
- равновесие должно смещаться в правую сторону уравнения реакции, чтобы не оставалось следов исходных продуктов в токсичных количествах. Это относится также к обработке химическими реактивами, которые могут смещать равновесие в правую сторону при самом незначительном избытке.
- реакция должна фиксироваться на основании выхода конечного продукта реакции.

В химических методах очистки сточных вод процессы окисления и восстановления играют важную роль. Они используются как при элиминировании неорганических ионов и молекул, так и при удалении органических компонентов из сточных вод.

Изначально окисление – это реакция, при которой вещество связывается с кислородом, а восстановление – реакция, при которой кислород отщепляется от элемента, связанного с ним. Сегодня под окислением/восстановлением понимают реакцию перехода электронов в общем. Окисление – это процесс отдачи электронов, восстановление – это процесс принятия электронов.

Окисление и восстановление

Окисление не протекает без одновременного восстановления, и наоборот, поэтому говорят об окислительно-восстановительной реакции или системе. Окислительно-восстановительную реакцию можно описать следующим образом:

- $A \rightarrow A^+ + e^-$ – окисление: вещество А отдает электрон;
- $B^+ + e^- \rightarrow B$ – восстановление: вещество В принимает электрон;
- $A + B \rightarrow A^+ + B^-$ – окислительно-восстановительная реакция: принятие и отдача электронов.

Если вещество А должно окисляться, то вещество В должно быть в избытке для того, чтобы установить сдвиг равновесия в желательном направлении. Каждое вещество, которое выступает в качестве акцептора электронов, т. е. принимает электроны, является окислителем, и каждое вещество, которое отдает электроны и функционирует в качестве донора электронов, является восстановителем.

Специальная технология окисления/восстановления состоит в использовании гальванических элементов (пространственное отделение окисления и восстановления) и электролизе (принудительный переход электронов посредством внешних источников напряжения).

Окислительные и восстановительные процессы используются во многих случаях не только как самостоятельные реакции, но и как стадия в процессе очистки. При применении этих процессов достигаются разные цели:

- дезактивация токсичных веществ, таких, например, как цианиды, хром или нитриты, менее проблематично окисляемые и восстанавливаемые соединения;
- уменьшение ХПК и АОГ в сточных водах;
- удаление запаха и окраски;
- уменьшение мути;

- обезжелезивание, удаление марганца;
- предварительная очистка биологически трудно разлагаемых веществ, вследствие чего они биологически лучше разлагаются;
- дезинфекция сточных вод. |

Процессы окисления и восстановления применяются, например, в очистке сточных вод металлоперерабатывающей промышленности, а также в гальванотехнике, текстильной промышленности, химической промышленности и при обработке подземных сточных вод.

Окислители

Применяются следующие окислители:

- кислород воздуха (O_2);
- технический кислород (O_2);
- ОЗОН (O_3);
- пероксид водорода (H_2O_2);
- реагент Фентона (Fe^{2+} / H_2O_2);
- хлор (Cl_2);
- хлорноватистая кислота ($HOCl$);
- диоксид хлора (ClO_2).

Схема системы озонирования с получением озона на месте из кислорода представлена на рис. 4.29.

Пример 4.10 (окисление пероксидом водорода)

Растворенная ХПК-концентрация сточных вод должна понижаться от 400 до 200 мг/л.

В примере расчета вычисляется ежедневный расход 30%-го раствора H_2O_2 (плотность: 1,11 г/см³), который образует при специфическом применении 3,0 г H_2O_2 по ХПК_{уд}). Возникающая величина объемного потока постоянна и составляет 10 л/с.

Решения

- $\Delta B_{сут, хгк} = (400 - 200) \text{ мг/л} \cdot 10 \text{ л/с} \cdot (60 \cdot 60 \cdot 24 \text{ с/сут}) / 1000000 \text{ мг/кг} = 172,8 \text{ кг ХПК/сут.}$
- $3,0 \text{ г } H_2O_2/\text{г ХПК}_{уд} \cdot 172,8 \text{ кг ХПК/сут} = 518,4 \text{ кг } H_2O_2/\text{сут} \Rightarrow 467,0 \text{ л } H_2O_2/\text{сут.}$
- для 30%-го раствора нужно 1,6 м³/сут.

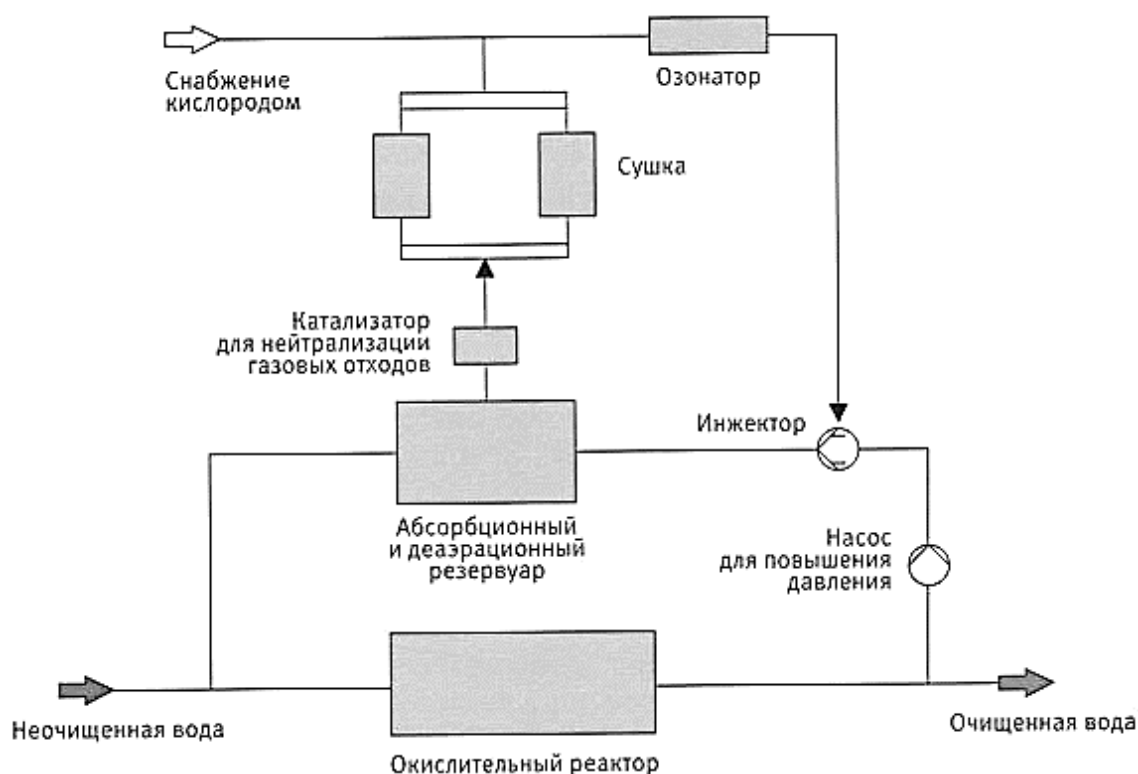


Рис. 4.29. Схема системы озонирования

Далее более подробно объясняются методы мокрого окисления, сжигания и обеззараживания.

Мокрое окисление

Под мокрым окислением понимают беспламенное окисление веществ. Органические (а также неорганические) вещества химически окисляются с добавлением кислорода или других окислителей при высокой температуре (примерно: 150-350 °С) и высоком давлении (примерно 10-220 бар). В процессе окисления возникают преимущественно угольная кислота и вода. В зависимости от условий реакции в водной фазе находятся низкомолекулярные органические кислоты в относительно малых концентрациях.

Мокрое окисление можно разделить на два метода:

- метод низкого давления;
- метод высокого давления.

Метод, который работает при температуре в диапазоне от 150 до 200 °С (процесс Циммерманна), называется мокрым окислением под низким давлением, а под высоким давлением – при температуре примерно до 330 °С и при давлении от 100 до 200 бар. За счет добавления

катализаторов при мягких условиях реакции можно достичь мгновенного или продолжающегося окисления.

Сжигание

Сжигание сточных вод – это химическое окисление, или также химические реакции с возникновением пламени. Благодаря окислению кислородом воздуха и высокой температуре органические вещества либо частично, либо полностью преобразуются в неорганические продукты горения H_2O и CO_2 .

Вода превращается в пар. В зависимости от типа сточных вод выпадает осадок, к примеру, в виде солей, шлака, золы и газов, который нужно удалять.

Сжигание сточных вод является энергозатратным процессом, хотя некоторые из следующих условий могут способствовать его применению:

- высокое содержание горючих органических веществ;
- высокая теплота сгорания органических веществ;
- применение газообразных или жидких отходов в качестве дополнительной энергии.

Сжигание не нарушается за счет следующих факторов, которые могут усложнять или предотвращать биологическое разложение:

- сильные колебания в характере и концентрации веществ;
- присутствие химически стойких веществ;
- присутствие токсичных веществ.

В качестве условия сжигания должно быть обеспечено отдельное получение потоков сточных вод с высоким и низким загрязнением на производстве.

Обеззараживание

Удаление или обеззараживание токсичных веществ (табл. 4.8) неизбежно, когда их присутствие в сточных водах нарушает процесс очистки или вредит очищенной воде.

Под токсичностью (ядовитостью) понимают прямое или косвенное вредное воздействие веществ на одиночные организмы, биоценоз или экосистему. Тип, количество и концентрация вещества, так же, как и тип организмов, тип поглощения, возможность аккумулировать, существенны для токсичного влияния веществ.

В биотестах можно легко узнать, какие частичные процессы предприятия токсичны и воздействие какого соотношения при растворении более не является ощутимым.

В зависимости от веществ меры по уменьшению токсичности включают в себя нейтрализацию, буферность, осаждение или коагуляцию. Указанные ниже меры являются обеззараживающими благодаря окислению/восстановлению. В системе прямого обеззараживания раствор (обеззараживающий) накачивается из резервуара в соответствующую ванну и там омывает в достаточном количестве погруженный продукт производства.

Раствор содержит в избытке химические вещества, необходимые для обеззараживания, вследствие чего реакция проходит быстро и полностью. В процессе реакции отработанный раствор, который содержит нерастворимые продукты реакции, частично стекает в резервуар, где нерастворимые соли могут осаждаться. При длительности контакта около часа в резервуаре также могут полностью протекать медленные реакции. Прежде чем обеззараживающий раствор попадет обратно в ванну, в дозаторе снова устанавливается избыток химических реактивов до желаемого значения.

Таблица 4.8

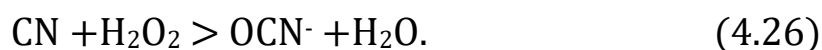
Список токсичных веществ

Вещества	Наименование и обозначение
Неорганические токсичные вещества	
Кислоты	Соляная кислота, HCl Серная кислота, H ₂ SO ₄
Основания	Едкий натр, NaOH Негашеная известь, Ca(OH) ₂
Окислители	Хлор, Cl ₂ Озон, O ₃ Пероксид водорода, H ₂ O ₂
Газообразные вещества	Аммиак, NH ₃ Сероводород, H ₂ S
Щелочные и щелочно-земельные соли	Бериллий, Be Стронций, Sr Калиевая промышленная соль
Тяжелые металлы	Медь, Cu Свинец, Pb Цинк, Zn

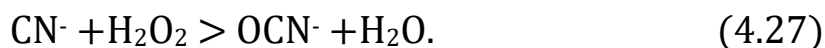
	Хром, Cr Ртуть, Hg Кадмий, Cd Мышьяк, As
Цианиды	Синильная кислота, HCN Хлорциан, ClCN
Органические токсичные вещества	
Алифатические соединения	Углеводороды (нефтяные масла)
Органические фосфорные соединения	
Ароматические соединения	Углеводороды (бензол) Фенол, диоксины, фураны Полихлорированные дифенилы (ПХД), ПАУ (флюоранты, бензапирены)
Детергенты	Анионные, неионные, катионные
Ядохимикаты	ХУВ (диэльдрин, дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ), линдан, гексахлор-циклобензол, гексахлорциклогексан)

Примером метода обеззараживания путем окисления/восстановления является окисление цианидов и восстановление нитритов.

Химические реакции по обезвреживанию цианидов были изучены более детально по отношению к другим реакциям в технологии очистки сточных вод. Цианид считается по своей летальной дозе самым токсичным из возможных веществ в неорганически загрязненных сточных водах. Тем не менее токсичным является только цианид-ион:



Превращение цианидов под действием пероксида водорода в цианаты с образованием воды описывает следующее уравнение:



Теоретически нужен 1 кг цианида на 1,3 кг пероксида водорода для того, чтобы окисление произошло полностью. На практике требуется от 3 до 8 кг пероксида водорода на 1 кг окисляемого цианида. За счет добавления катализатора или нагревания до 40-50 °С можно достичь быстропротекающей реакции превращения. Образованный цианат значительно меньше ядовит, чем цианид. Далее возможно его окисление до угольной кислоты и азота.

Обезвреживание цианида до уровня ниже контрольного значения с помощью пероксида водорода всегда проблематично при наличии таких тяжелых металлов, как медь, кадмий или цинк. Обеззараживание происходит, как правило, без проблем в диапазоне значений от 20 до 100 мг/л. Дальнейшее снижение содержания цианида, как правило, в большинстве случаев невозможно, так как тяжелые металлы катализируют распад пероксида водорода в конкурирующей реакции и не допускают полного окисления цианида.

Важным является то, что пероксид водорода добавляют в незначительных дозах, ожидая появления соответствующей реакции. Известны случаи, когда реакция начинается только после установления эквивалентного количества пероксида (1: 1), что приводит к интенсивному выделению тепла и газа и – при одновременном присутствии тензидов – к переливанию пены через край цистерны.

Обеззараживание нитритов протекает или при окислении до нитратов, или при восстановлении до азота. Восстановление нитрита осуществляется, как правило, при добавлении сульфамидной кислоты ($\text{NH}_2\text{SO}_2\text{H}$); реакция с мочевиной протекает при повышенной температуре (примерно 60 °C) с удовлетворительным выходом. За счет использования сульфамидной кислоты возрастает содержание сульфатов в сточных водах (риск коррозии бетона в канализации):



Менее известный вариант заключается в восстановлении бисульфита. Это особенно выгодно в тех случаях, когда в сточных водах, содержащих нитриты, также находятся хроматы, которые могут совместно обезвреживаться. Тем не менее при такой обработке повышается содержание сульфатов в сточных водах. При определенных условиях (например, внос пермеата при ультрафильтрации) есть риск анаэробного обратного преобразования нитрита из нитрата. Поэтому нужно обращать внимание на то, чтобы очищенные сточные воды не находились на предприятии в течение долгого времени, поскольку в противном случае необходимо учитывать превышение контрольного значения содержания нитритов.

Вопросы для самоконтроля

1. Принцип работы установки удаления фенолов из производственных сточных вод.
2. Ионообменная очистка сточных вод.
3. Понятие о регенерации ионитов.
4. Технологическая схема ионообменной очистки сточных вод.
5. Принцип работы ионитного фильтра.
6. Принцип работы ионообменной установки.
7. Методы электрохимической очистки сточных вод, понятие, применение.
8. Классификация методов электрохимической очистки сточных вод.
9. Анодное окисление и катодное восстановление.
10. Электрокоагуляционный метод очистки производственных сточных вод.
11. Способ электрофлотационной очистки сточных вод.
12. Понятие о электродиализе и его применении.
13. Гальвано коагуляционная очистка сточных вод, применение.
14. Понятие о мембранных процессах. Применение методов обратного осмоса и ультрафильтрации для очистки производственных сточных вод.
15. Классификация мембран, их характеристика.
16. Принцип работы схемы очистки воды от ионов тяжелых металлов методом ультрафильтрации.
17. Способы реагентной ультрафильтрации.
18. Принцип работы технологической схемы очистки от методом осмоса от ионов металлов.
19. Методы термической обработки сточных вод.
20. Принцип работы испарительной установки при термической обработке сточных вод.
21. Использование сушки и кристаллизации при термической обработке сточных вод.

22. Термо окислительные методы обезвреживания сточных вод.
23. Принцип работы схемы огневой обработки отработанных травильных растворов.
24. Биологическая очистка сточных вод, назначение.

Глава 5. БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Поскольку даже с помощью требующих больших затрат методов анализа невозможно непрерывно измерять концентрацию всех компонентов сточных вод, то методы очистки, охватывающие только определенные группы веществ и к которым должны быть приспособлены такие концентрации, например химическое осаждение, практически неприменимы для всесторонней очистки сточных вод.

Задача биологической очистки сточных вод состоит, таким образом, в том, чтобы аналогично протекающим в водоемах естественным процессам самоочистки с помощью микроорганизмов биологически преобразовать многокомпонентные смеси из органических расщепляемых компонентов, качественный и количественный состав которых подвергается сильным колебаниям.

Биологические методы составляют существенную долю в общем объеме очистки на станции обработки сточных вод. Все встречающиеся в природе органические вещества могут быть расщеплены с помощью микроорганизмов. Поэтому для сточных вод как пищевой промышленности, так и всех предприятий, перерабатывающих растительное или животное сырье, таких как винокуренные заводы, бумажные фабрики, кожевенные заводы, шерстомойки, принципиально возможна биологическая очистка. Биологическим методом могут быть очищены органически загрязненные сточные воды также химических и других производств.

Промышленная загрязненная вода образуется в связи с производственными процессами. Поэтому количество и состав определяются видом сырья и методом их обработки. Колебания в составе и количестве сточных вод могут возникать, например, вследствие:

- времени застоя;
- очистных работ;
- сезонного производства;
- перемещения сырья или готовых продуктов.

Также между однотипными предприятиями в зависимости от внутрипроизводственных мероприятий (например, циркуляции воды, удерживания крови, сухой очистки установок для сушки молока) ха-

рактер загрязненных вод может сильно отличаться. В качестве параметров для сравнения внутри отраслей служат удельный объем загрязнения и удельный расход воды/количество сточных вод (см. гл. 2 «Основы планирования защиты окружающей среды в сфере водного хозяйства для промышленных целей»).

Цель биологической очистки сточных вод состоит, прежде всего, в расщеплении органических углеродных соединений, а также в элиминировании азотистых соединений и фосфатов. Различают аэробное расщепление – биологическое окисление субстратов и анаэробное расщепление – биологическую редукцию компонентов. В качестве второго уровня классификации используется способ фиксации биомассы (метод без удержания биомассы, метод со взвешенной биомассой, метод биопленки).

Рекомендуемая дополнительная литература по теме биологической аэробной и анаэробной обработки сточных вод: «Анаэробная техника», «Водоснабжение населенных пунктов», «Очистка сточных вод – биологические и химические процессы», «Биология очистки сточных вод», «Обработка сточных вод».

1.15. Примеси сточных вод

Для характеристики сточных вод как многокомпонентных смесей были разработаны согласованные суммарные параметры воздействий и веществ. В определенных условиях анализа эти суммарные параметры характеризуют одну или несколько групп веществ, но не отдельные вещества. Наряду с этим применяется определение конкретных свойств, таких как, например, окраска, осадок, запах, показатель pH, температура, электрическая проводимость, поглощение УФ-лучей, а также определение отдельных компонентов, в частности:

- из группы анионов, например SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} ;
- из группы катионов, например Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Hg^{2+} , Cd^+ , NH_4^+ .

Первый критерий различия – деление на растворимые (общее количество органических и неорганических соединений, содержащихся в воде, 5) и нерастворимые (взвешенные твердые частицы, X) вещества.

Чтобы учесть содержащиеся в сточных водах осаждаемые нерастворимые вещества, определяется объемная доля (мл/л) и массовая концентрация (мг/л) осевших в течение двух часов веществ. Если необходимо учесть также и неосаждаемые нерастворимые вещества, то состав отфильтровываемых веществ (мг/л) определяется с помощью фильтрации (например, тонкость фильтрации 0,45 мкм).

Имеющиеся в растворимой и неосаждаемой форме органические загрязнения определяются непрямymi методами.

При этом учитывается кислородная масса, необходимая для микробиологического или химического окисления примесей сточных вод вплоть до неорганических конечных продуктов, и используется в качестве меры для состава органических загрязнений (мг/л O_2).

При данном анализе измеряется количество кислорода, которое расходуется во время микробиологических процессов обмена веществ при расщеплении загрязнений в аэробной среде при +20 °C в течение пяти дней (рис. 5.1). Новое увеличение потребления O_2 после приблизительно 10 дней обусловлено нитрификацией. Поэтому БПК; указывается в миллиграммах на литр O_2 .

Потребление O_2 может протекать беспрепятственно лишь в тех случаях, когда с самого начала имеется многообразный биоценоз бактерий и нет недостатка незаменимых неорганических питательных веществ. В промышленных сточных водах обеспечение подобных условий зачастую невозможно. Для проведения анализа в стоки вводятся специальные загрязнения.

Если состав сточных вод ингибирует условия жизнедеятельности микроорганизмов (например, крайний показатель pH, средства дезинфекции, соли тяжелых металлов), то помеха должна быть устранена до измерения (например, с помощью нейтрализации). В противном случае данный метод нельзя применять, поскольку это приведет к индикации неправильных, слишком низких значений БПК. С помощью нескольких ступеней разжижения пробы сточных вод может быть получено указание на наличие ингибирующих веществ.

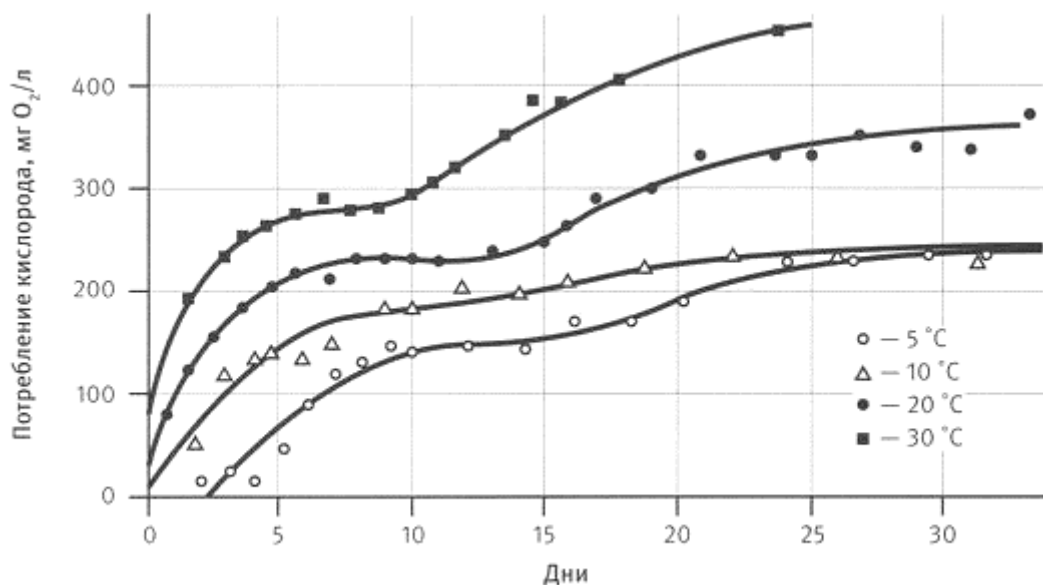


Рис. 5.1. Протекание потребления кислорода (БПК) в сточных водах при различных температурах

Увеличивающиеся по мере разжижения концентрации БПК позволяют сделать вывод о снижении влияния, замедляющего процесс расщепления.

С течением времени для анализа БПК; были разработаны различные методы, которые из-за своего специфического применения дают хоть и правильные сами по себе, но не всегда сопоставимые результаты.

Химическое потребление кислорода (ХПК)

Чтобы можно было учесть, по возможности, все органические загрязнения, при анализе ХПК в качестве сильного средства окисления используют дихромат калия в сернокислом растворе при температуре 148 °C. По потреблению хромата рассчитывают потребление кислорода, т. е. ХПК также указывают в миллиграммах на литр O₂. Благодаря этому возможны прямое сопоставление ХПК с БИК₅ и вместе с этим вывод о соотношении биологически расщепляемых и стойких веществ в сточных водах. ХПК всегда выше БПК₅; для коммунальных сточных вод отношение ХПК к БПК; находится на уровне 1,7-2. Из этого соотношения уже вытекают первые указания о том, в каком объеме могут быть очищены промышленные сточные воды с помощью биологического метода. Чем выше принятая для коммунальных стоков величина

соотношения, тем больше доля нерасщепляемых загрязняющих веществ.

Дальнейшими суммарными параметрами воздействий и веществ являются:

- общий органический связанный углерод (ООУ);
- полициклические ароматические углеводороды (ПАУ);
- абсорбируемые органически связанные галогены (АОГ);
- экстрагируемые органически связанные галогены (ЭОГ);
- малолетучие липофильные вещества, удерживающие в воде животные и растительные масла/жиры и нефтяные масла;
- субстанции метилена синего и активного висмута, с помощью которых удерживаются ПАВ и другие вещества

Азот

Азот. Общий связанный азот (TN_b) складывается из нескольких фракций:

- нитрит-, нитрат-азот (NO_2-N , NO_3-N),
- аммоний-, -аммиак-азот (NH_4-N , NH_3-N),
- органический азот (N_{org}).

Сумма аммиачного азота и органического азота обозначается так же, как ПАК (полный азот Кьельдаля).

Фосфор.

Значимые здесь соединения фосфора образуются:

- из солей ортофосфорной кислоты (PO_4^{3-});
- полифосфатов (р-Р);
- органического фосфора (P_{org}).

Наряду с поддающимися суммарному учету компонентами сточных вод необходимо обратить внимание еще на несколько субстанций, которые являются трудно расщепляемыми или экотоксикологически значимыми (например, полиэлектролиты, оказывающие токсичное влияние на организмы в водоеме). Принимая во внимание их поведение в очистном сооружении, исследуют такие вещества, как анионные полиакриламиды (а. ПАА/а. РАА), катионные полиакриламиды (к. ПАА/К. РАА) и анионные поликарбоксилаты (а. ПКК/а. РСО) – заме-

нителю фосфата. Полиакриламиды используются в качестве вспомогательного средства для коагуляции, в то время как поликарбоксилаты – это пример заменителей фосфатов в моющих средствах.

Чтобы определить способность к расщеплению, субстраты радиоактивно (^{14}C), чтобы таким образом определить в ходе работы экспериментальных установок их разделение на газовую фазу ($^{14}\text{CO}_2$), жидкую фазу и фазу ила. Если субстрат не разлагается биологически и не связывается абсорбционно с илом, он появляется в водной фазе при истинном расщеплении как ($^{14}\text{CO}_2$), в газовой фазе и при абсорбции без расщепления в иловой фазе.

В последние годы все больше обращают на себя внимание вещества, которые содержатся в сточной воде в очень маленьких концентрациях, но даже и в этом случае являются высокоактивными. Речь идет об эндокринных веществах, т.е. о гормонах' и об эндокринно-активных веществах.

Последние с биохимической точки зрения не являются гормонами, однако действуют так же. Источником гормонов в сточных водах является естественная секреция людей (животных) (для эстрогенов, например, от 25 до 100 мкг/(чел. . сут)), а также лекарственные препараты (синтетические эстрогены, противозачаточные таблетки, средства, повышающие уровень липидов в крови, и т. д.).

Производные синтетические эстрогены, как, например, важнейший 17-этинилэстрадиол, более стабильны в окружающей среде и в сточной воде, нежели возникшие естественным путем половые гормоны.

Биологическое расщепление гормонов/гормоноподобных веществ до сих пор еще является предметом исследований.

Под гормонами понимают медиаторы между различными органами одного организма, которые с помощью кровообращения попадают от соответствующих мест образования (эндокринная ткань) во все точки тела. Длительные процессы управления в обмене веществ во время роста и размножения находятся под контролем гормонов. Гормоны различают либо по месту их образования (надпочечник, гипофиз ит. д.), либо по их химической структуре (стероиды, полипептиды). Даже в мельчайших объемах (нанограммовые концентрации) они способны оказывать биологическое воздействие, так как особым образом

реагируют рецепторами на клеточную оболочку, цитоплазму или в области ядра клеток.

1.16. Аэробное биологическое превращение веществ

Целью биотехнологии является получение определенных продуктов посредством обмена веществ микроорганизмов, например пенициллина. Цель биологической очистки сточных вод, напротив, состоит в том, чтобы превратить как можно большую часть органических компонентов сточных вод в конечные минеральные продукты, такие как CO_2 и H_2O . Решающее значение в обоих случаях имеет знание процессов образования и превращения.

При расщеплении органического вещества образуются такие энергетически богатые, высокомолекулярные соединения, как углеводы, жиры и белки. Поскольку эти вещества не могут быть получены и расщеплены напрямую от микроорганизмов, первым шагом является разделение соединений гидролизом.

- с помощью экзоферментов микроорганизмов высокомолекулярные субстраты разлагают на составляющие (мономеры), после чего они готовы для дальнейшего расщепления.
- углеводы комплексного строения расщепляют на мономерные углеводы, такие как моносахариды.
- жиры липазой разделяют в водном растворе на состоящие из длинной цепи жирные кислоты и глицерин.
- протеины разлагают протеазами на аминокислоты.

Далее эти вещества окисляются в аэробной среде, т. е. превращаются под воздействием кислорода в очень бедные энергией продукты, такие как CO_2 и H_2O . Окисление веществ проходит вместе с отдачей электронов, сопровождающейся высвобождением энергии (перенос электронов или выпуск газов). Для передачи энергии во время внутриклеточного обмена микроорганизмов служат соединения аминокислот аденозина с фосфатами – аденозинтрифосфат (АТФ/АТР) и аденозиндифосфат (АДФ/АПР).

Другими существенными процессами при аэробной обработке сточных вод являются:

- адсорбция (присоединение) или сорбция (поглощение) органических веществ соответственно к микроорганизмам или в них;

- транспортировка в клетку (резорбция, процесс осмоса);
- накопление органических компонентов и продуктов обмена веществ в клетке;
- превращение в биомассу, промежуточные продукты и CO_2 и H_2O .

Модельное представление биологических процессов в очистных сооружениях

В упрощенном виде может применяться представленная на рис. 5.2 модель.

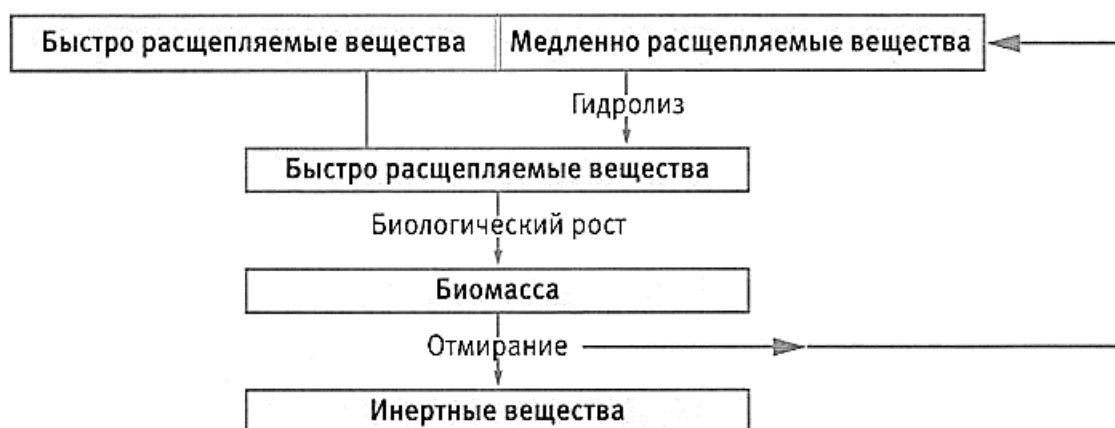


Рис. 5.2. Модельное представление биологических процессов в очистных сооружениях

В результате отмирания микроорганизмов, «поедания» одних другими наблюдается снижение потребности в энергии.

1.16.1. Расщепление углеродных соединений

Расщепление глюкозы

Основную часть органических веществ в сточных водах представляют углеводы комплексного строения, такие как крахмал и целлюлоза, которые, тем не менее, после некоторых расщеплений чаще всего превращаются в глюкозу. В конечном итоге все они расходуются в результате реакции расщепления глюкозы на процесс дыхания.

При расщеплении глюкозы ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) важны три шага:

- удерживаемая в глюкозе энергия высвобождается и сохраняется в форме АТФ;
- тело глюкозы C , распадается на маленькие C -тела;

- клетки снабжаются исходными веществами для обмена строительным материалом.

Окисление субстратов, рис. 5.3, происходит путем отделения водорода (H_2). Водород переносится на кофермент НАД (никотинамиддениндинуклеотид) ($NADH + H^+$). Затем вместе с 8 $[H]$ из гликолиза декарбоксилированием, обусловленным окислением, в дыхательной цепи 24 $NADH + H^+$ снова выделяется водород. Водород, а именно электроны водорода, переносится, в сравнении с последовательностью через ряд окислительно-восстановительных пар на конечный акцептор – кислород. При такой реакции возникает H_2O и НАД.

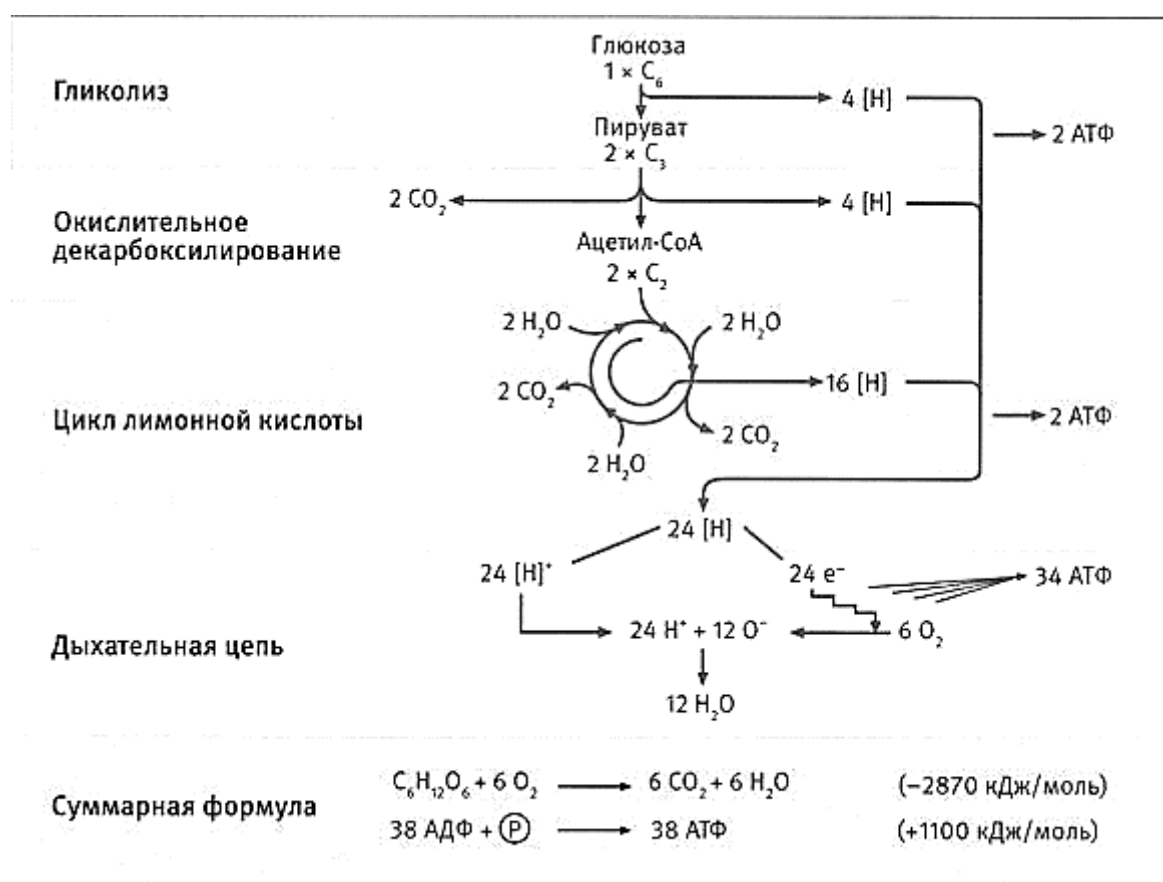


Рис. 5.3. Схема полного аэробного расщепления глюкозы

Если в конечном акцепторе не оказывается кислорода, водород переносится на другой субстрат, и возникают другие конечные продукты. Так, например, десульфуриканты используют ион сульфата в качестве акцептора водорода, который при этом восстанавливается до элементарной серы или сульфида.

Энергетический анализ

Во время аэробного расщепления 1 моля глюкозы в целом получается 358 моль АТФ, из них только 34 моля приходятся на АТФ в дыхательной цепи. Таким образом, перенос водорода к кислороду – это шаг с получением большого количества энергии. В 38 молях АТФ сохраняется получение энергии величиной $38 \cdot 29 = 1102$ кДж. Потенциально из 1 моля глюкозы может быть получена энергия, составляющая 2870 кДж/моль – разница в 1770 кДж. Соответственно 60% энергии высвобождается как тепло, так что биологический КПД потери глюкозы на дыхание составляет лишь 40%. Этим объясняется то, что в аэробной среде возможны процессы самонагревания (например, самовозгорание сена), которые используются при очистке сточных вод, например при аэробной термофильной стабилизации осадка.

До сих пор объяснялось то, каким образом протекает аэробное расщепление углеводов. Вместе с тем, однако, ничего не говорилось о том, от чего зависит скорость расщепления. А это весьма значимо, поскольку от этого зависит расчет параметров системы очистки. Скорость общего расщепления до CO_2 и H_2O зависит от скорости, с которой работает дыхательная цепь. Интенсивность дыхания также rozpoзнается по потреблению кислорода. При условии, что речь идет о биологически расщепляемых веществах и до сих пор не достигнуто максимальное дыхание, потребление кислорода организмами при возросшем выборе субстратов увеличивается, например в активном иле.

Возможность напрямую измерить в промышленных условиях потребление O_2 , дают приборы для расчета кислорода, с помощью которых может быть определена концентрация O_2 непосредственно в смеси водного ила. Активный ил, насыщенный O_2 благодаря воздушной или кислородной подпитке, подается в сосуд, который плотно закрывается. В сосуде находится измерительный зонд для O_2 . Содержимое по причинам, связанным с техникой измерения, следует перемешать и при длительном времени измерения выдержать в температурном режиме посредством водяной бани. В зависимости от дыхательной активности активного ила и выбора субстрата теперь используется растворенный кислород. Снижение концентрации O_2 , в зависимости от времени регистрируется прибором – самописцем.

Если перед измерением активный ил минимум несколько часов аэрировался дыхание без подачи субстрата, то с помощью измерительного оборудования можно определить «основное дыхание». Если после установления основного дыхания в измерительный сосуд с помощью шприца подается определенное количество субстрата, то из увеличения потребления кислорода можно найти «субстратное дыхание». Этот метод моделирует условия в аэротенке и позволяет сделать выводы о поведении субстратов при биологическом расщеплении активным илом, что невозможно при составлении кривых БПК₅.

Биологический рост

Микроорганизмы (активный ил) превращают поступающие питательные вещества (такие как С, N) при энергетическом обмене в неорганические конечные продукты (CO_2 , H_2O , NO^{-3}), рис. 5.4. В результате строительного обмена происходят рост и размножение микроорганизмов.

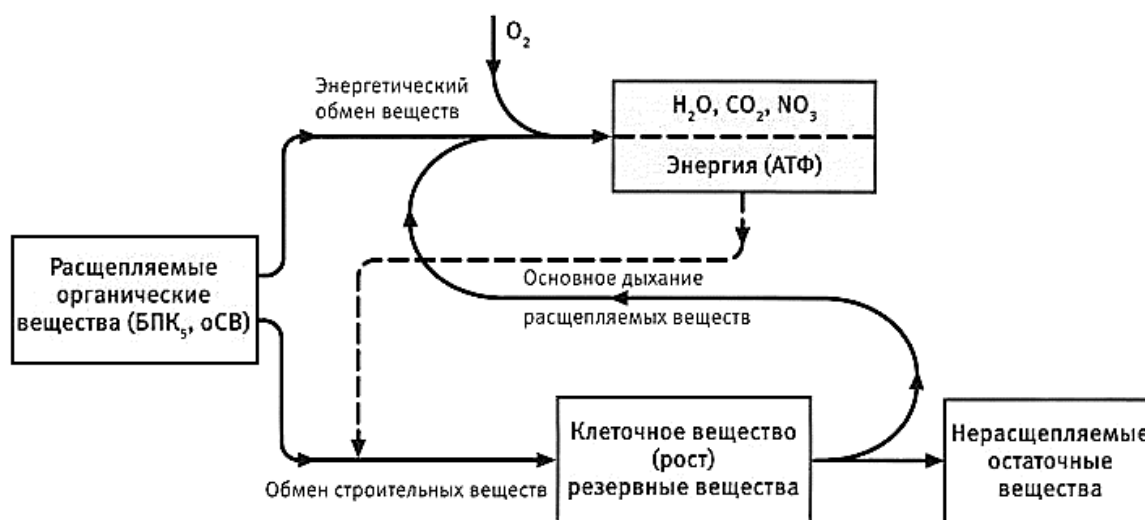


Рис. 5.4. Энергетический обмен веществ и обмен строительных веществ

Предпосылкой для роста организмов является то, что все необходимые для строительства клеточного вещества элементы должны быть представлены в форме пригодных для использования соединений. Различают 10 макроэлементов (С, О, Н, N, S, Р, К, Са, Mg, Fe) и такие микроэлементы, как марганец, медь, бор и др.

В качестве первого ориентировочного значения для аэробного расщепления в биологической очистке сточных вод можно принять

следующее необходимое соотношение питательных веществ: БПК₅: N: P=100:5:1.

Для сточных вод сахарных заводов достаточная база питательных веществ я может быть установлена уже при БПК₅ : N : P =100:2: 0,3.

Для выживания микроорганизмов в биоценозе решающими факторами являются показатель роста организмов в заданной среде и условиях субстрата.

Длительное время будет доминировать тот вид, который обладает наивысшей чистой скоростью размножения. Заданные условия характеризуются концентрацией субстрата, содержанием кислорода, показателем pH, температурой, турбулентностью, силами тяжести, естественными врагами и т. д. Сосуществование нескольких видов микроорганизмов возможно в том случае, если они имеют одинаковую чистую скорость размножения.

После периода адаптации, в котором организмы приспосабливаются к условиям жизни, они сначала растут экспоненциально в постоянных условиях среды.

При этом биомасса увеличивается согласно

$$\frac{dX_0}{dt} = \mu_{max} f(S, T, pH \dots) X_0, \quad (5.1)$$

где X_0 – биомасса в момент времени $t = 0$; μ_{max} – максимальный показатель роста, л/сут; S – концентрация субстрата; T – температура.

Показатель роста – скорость деления микроорганизмов – существенно зависит от концентрации питательных веществ. Показатель роста можно в зависимости от концентрации определенного субстрата описать, согласно Моно, следующим эмпирически полученным кинетическим отношением:

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_S + S} \quad (5.2)$$

где μ – фактический показатель роста при имеющихся условиях окружающей среды; K_S – полупостоянное значение, указывает на концентрацию субстрата, при которой достигается показатель роста $0,5 \mu_{max}$. При этом максимальный показатель роста

(μ_{max}), достигается, если субстрат S имеется в избытке и поэтому влияет неограниченно.

В качестве ферментативной реакции действует показатель роста, но он зависит от выбора субстратов кривой насыщения.

При увеличивающейся концентрации субстрата, рис. 5.5, достигается максимальный показатель роста (μ_{max}), который не может быть превышен даже при дальнейшем увеличении выбора субстрата. Важной величиной для характеристики кинетики роста микроорганизмов является показатель K_S обозначающий концентрацию субстрата, при которой как раз достигается $0,5 \mu_{max}$. Соотношение μ_{max} и показателя K_S является решающим для различных организмов относительно их кинетических свойств роста.

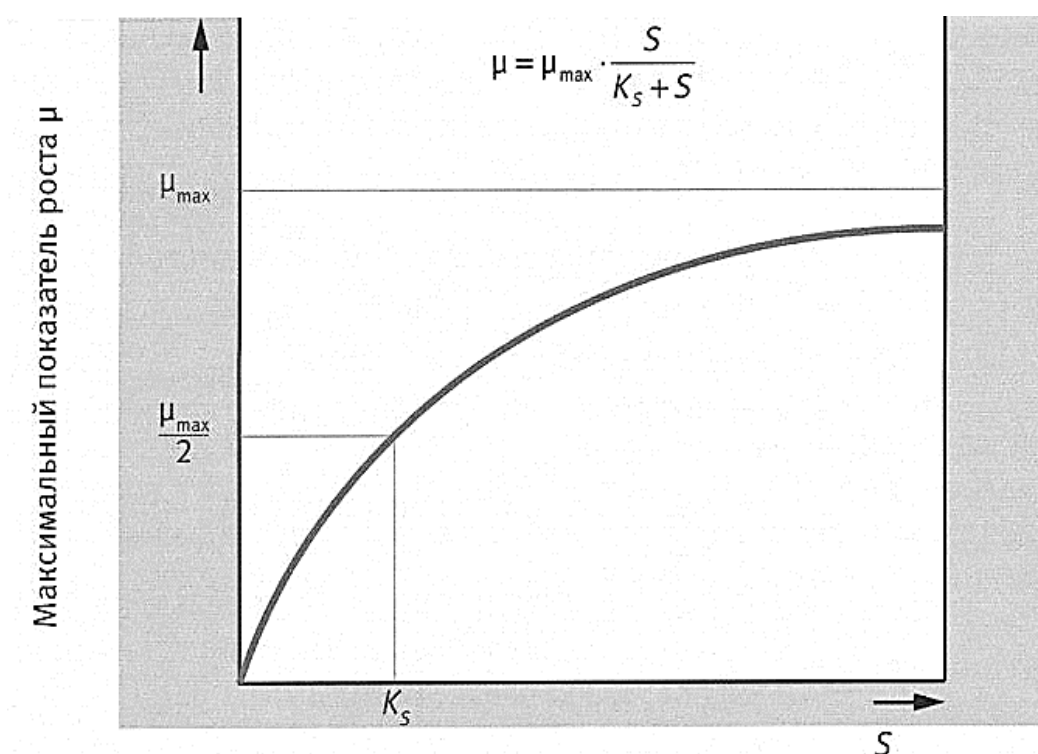


Рис. 5.5. Кинетика Моно

На рис. 5.6 представлены показатели роста трех различных модельных организмов (МО) в качестве функции субстрата S .

У МО₁ низкое значение μ_{max} и высокий показатель K_S . Максимальный показатель роста достигается лишь при высоких концентрациях субстрата.

У МО₂ более высокое значение μ_{max} и высокий показатель K_S . При высоких концентрациях субстрата МО₂ имеет превосходство, так

как у него более высокий показатель роста. Соотношение μ_{max}/K_S у MO_2 больше, чем у MO_1 .

Из этого следует, что MO_2 в соперничестве с MO_1 доминирует даже при небольших концентрациях субстрата.

У MO_3 более низкие показатели μ_{max} и K_S сравнении с MO_2 , однако соотношение μ_{max}/K_S все же больше, чем у MO_2 . В соперничестве между MO_2 и MO_3 организм MO_3 обладает преимуществом при низких концентрациях субстрата (крутая кривая роста), а MO_2 – при высоких концентрациях субстрата (высокий показатель роста).

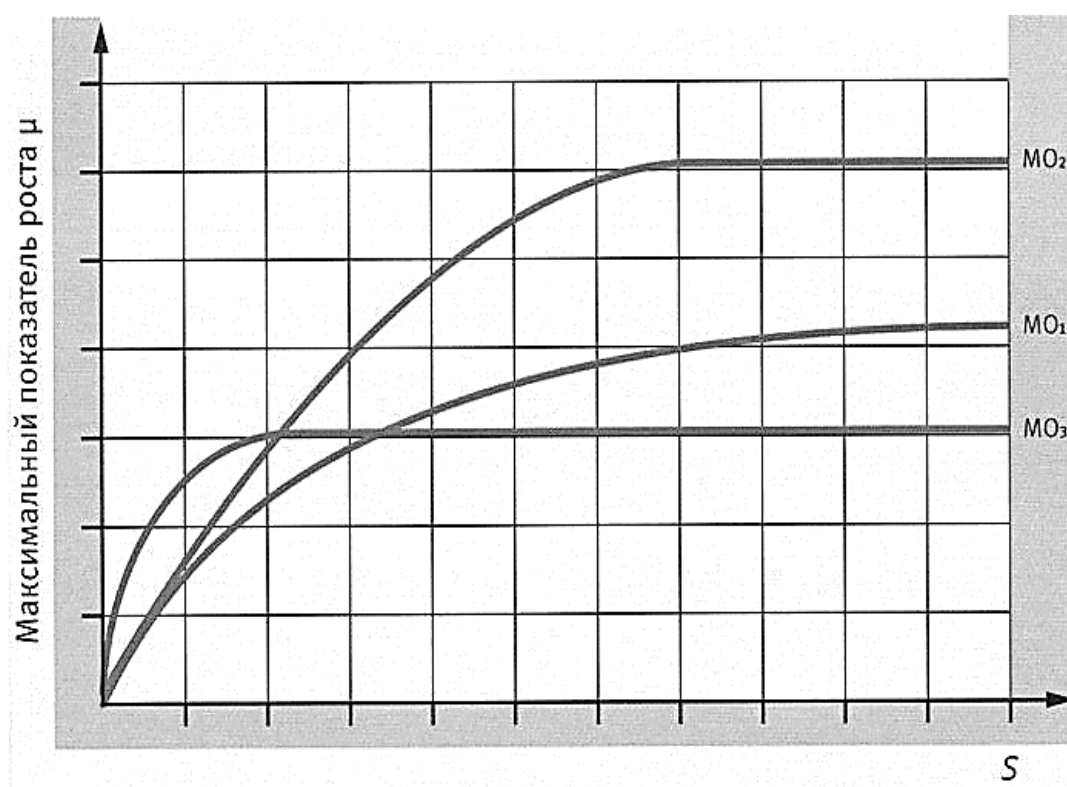


Рис. 5.6. Зависимость показателя роста модельных организмов MO_1 , MO_2 и MO_3 от концентрации субстрата

В конечном итоге при высоких концентрациях субстрата доминирует NO_2 .

Если сравнивать измеренные в чистой культуре параметры типичных бактерий активного ила, таких как:

- ацинетобактер (удаление Р, $\mu_{max} = 0,6 \text{ ч}^{-1}$, $K_S = 7 \text{ мг/л}$);
- цитробактер (факультативно анаэробная энтеробактерия, $\mu_{max} = 0,3 \text{ ч}^{-1}$, $K_S = 5 \text{ мг/л}$);

- тип 021N (нитчатые бактерии – причина вспухающего ила, $\mu_{max} = 0,16 \text{ ч}^{-1}$, $K_S = <1 \text{ мг/л}$), то характеристики роста цитробактера в аэробной среде соответствовали бы характеристикам NO_1 , характеристики роста ацинектобактера – характеристикам NO_2 , а характеристики типа 021N – характеристикам NO_3 .

В промышленной сфере может быть целесообразным использование специализированных бактерий, приспособленных для специальных процессов очистки, как, например, для расщепления трудно расщепляемых соединений.

Для успешного использования важно следующее: «(1) Микроорганизмы должны подходить для целевой установки. (2) При введении они должны находиться в метаболически активном состоянии. (3) Они должны подаваться в подходящем месте дозирования в достаточно высокой концентрации».

Благодаря заполнению различных экологических ниш активного ила, на практике, несмотря на сильно расходящиеся показатели μ_{max} и K_S возможно сосуществование видов.

Учесть время жизни поколения микроорганизмов позволяет расчет аэротенка по возрасту ила. Здесь действует следующее отношение:

$$t_{CB} = \frac{1}{\mu}, \quad (5.3)$$

где t_{CB} – имеющийся возраст ила, сут;
 μ – показатель роста, сут^{-1} .

Таблица 5.1

**Кинетические параметры микроорганизмов для
гетеротрофного аэробного расщепления при температуре
20 °С**

Полупостоянное значение K_S для субстрата, г ХПК/м ³	Показатель роста μ_{max} 1/сут	Теоретический минимальный возраст ила t_{CBmin} , сут	Показатель гибели b, 1/сут
5-30	4-8	0,25-0,125	0,1-0,2

Пример расчета 5.1 (кинетика Моно)

Необходимо рассчитать требуемый минимальный возраст ила E з согласно табл. 5.1 при 20 °С для гетеротрофного аэробного расщепления ХПК.

Следует применять следующие величины:

- μ_{max} (20 °С) = 5 сут⁻¹;
- $K_{S,ХПК}$ = 20 г ХПК/м³; 5; ПК = 800 мг/л; |
- $b(20^{\circ}\text{C})$ = 0,15 сут⁻¹.

Решение

- $\mu_{\text{нетто}} = \mu b = \mu_{max} \cdot S_{\text{ХПК}} / (S_{\text{ХПК}} + K_{S,ХПК}) b = 5 \cdot 800 / (800 + 20) \cdot 0,15 = 4,73 \text{ сут}^{-1}$.
- $t_{CB} = 1 / \mu_{\text{нетто}} = 0,21 \text{ сут}$.

Наряду с концентрацией субстрата на рост влияют температура, концентрация кислорода, показатель рН, токсичные вещества, азот, фосфор, ПАВ, а также скорость распада («показатель гибели микроорганизмов»). Для дополнительной информации о кинетике этих влияющих факторов см. уже названную дополнительную литературу.

1.16.2.Превращения азота

Нитрификация

Аэробные бактерии получают энергию в основном из реакций расщепленного из органических субстратов водорода (донор Н) кислородом воздуха (акцептор Н). Нитрификаторы, напротив, используют в качестве акцептора Н аммоний вместо органических веществ. Поскольку они также используют в качестве источника углерода неорганический СО, их относят к автотрофным бактериям, т.е. для жизни им не требуется никаких органических веществ, как гетеротрофным организмам.

В окислении аммония до нитрата всегда участвуют две группы бактерий, а именно нитрита (нитро-НО окислитель аммония (например, нитросомонас) и окислитель нитрита (набактер) пример, нитробактер). Происходят следующие ступени реакции:

- нитросомонас:



– нитробактер:



– суммарно:



Итак, в целом благодаря деятельности обмена веществ нитрификаторов соединения аммония окисляются при потреблении O_2 , до нитрата, при этом возникают H^+ -ионы, которые могут влиять на снижение показателя pH, если использован буфер.

Получение энергии при окислении неорганических веществ, тем не менее, очень незначительно, что проявляется в небольшом получении клеток при поглощении субстрата. Таким образом, для создания 1 г сухого клеточного вещества гетеротрофной бактерии кишечной палочки необходимо всего лишь 2 г целлюлозы, в то время как для автотрофной бактерии нитросомонас – 30 г NH_3 .

Следствием этого является также медленная скорость роста нитрификаторов, которая, кроме того, сильно зависит от температуры.

В табл. 5.2 представлены максимальные показатели роста (1/сут), т.е. число показателей делений в сутки и следующий из этого возраст ила (сут).

Тесное физиологическое соединение обеих групп бактерий происходит особенно из-за того, что высокая концентрация аммония токсично влияет на нитробактер, т.е. нитросомонас должен не только предоставить для нитробактера нитрит, но и сократить высокие концентрации МН.

Таблица 5.2

Кинетические параметры нитрификации при 20 °С

Полупостоянное значение K_s для субстрата, г N/м ³	Показатель роста μ_{max} 1/сут	Теоретический минимальный возраст ила t_{CBmin} , сут	Показатель гибели b , 1/сут
0.3-0.7	0.6-1.67	1.67-1.11	0.03-0.06

Существенное влияние на показатель роста, который имеет решающее значение для расчета параметров, оказывают температура, концентрация субстрата, показатель pH и концентрация O_2 .

Нитрификаторы особенно восприимчивы к внезапным изменениям температуры. Однако за длительный период времени они могут

все же приспособиться к преобладающим температурам. Согласно научным исследованиям Новака, окисление аммония нитросомонасом наблюдается при температурах от -5 до +50 °С. Оптимальная температура колеблется, как правило, между 30 и 35 °С

Температура среды оказывает прямое влияние на скорость превращений обмена веществ, так что показатель роста можно описать в зависимости от температуры следующим образом:

$$\mu_{max}(T) = (20^\circ)e^{k(T-20)}, \quad (5.4)$$

где k – постоянная температуры.

Относительно 15 °С для нитросомонаса

$$\mu_{max}(T) = 0.47 \cdot 1.103^{(T-15)} \quad (5.5)$$

соответствует для 20 °С 0,77 сут⁻¹.

$$\mu_{max}(T) = 0.79 \cdot 1.071^{(T-15)} \quad (5.6)$$

соответствует для 20 °С 1,11 сут⁻¹.

Время жизни поколений нитрификаторов, в противоположность гетеротрофным бактериям, которые создают значительную массу активного ила, существенно дольше и сильно зависит от температуры (ср. табл. 5.1 и 5.2). Поэтому нитрификаторы могут развиваться только в биоценозе, который гарантирует им соответствующий времени жизни поколений минимальный период пребывания (возраст ила).

Фактический показатель роста в постоянно протекающей системе, например в нитрифицирующей установке для очистки сточных вод активным илом, зависит в первую очередь от пригодных для данных организмов концентраций субстратов.

Также и для нитрификации с помощью функции Моно может быть описана связь между показателем роста нитрифицирующих бактерий и выбором субстрата:

$$\mu = \mu_{max} \frac{S_{NH_4}}{K_S S_{NH_4}}. \quad (5.7)$$

Недиссоциированные формы аммония и нитрита, т. е. аммиак и азотистая кислота, рассматриваются как основные субстраты.

Поскольку концентрации NH_3 и HNO_2 в сточных водах приспособляются к равновесию диссоциации аммиака и азотистой кислоты,

то при нитрификационных процессах показателю рН отводится важная роль наряду с температурой.

Влияние показателя рН Оптимальные показатели рН для нитросомонаса находятся в пределах 7-8, а для нитробактера – в пределах 6-7.

Все же для обоих видов нитрификаторов собственно показатель рН не обладает микробиологическим действием, эффективными же являются находящиеся в связи с показателем рН минимальная окисляющая способность и влияние показателя рН на степень диссоциации кислотно-основных пар субстрата $\text{NH}_4 / \text{NH}_3$ и $\text{HNO}_2 / \text{NO}_2$

В щелочной среде соотношение $\text{NH}_4 / \text{NH}_3$ смещается в пользу аммиака, а в кислой среде – в пользу азотистой кислоты.

Что касается минимальной окислительной способности, то стехиометрическое уравнение для нитрификации показывает, что на 1 моль окисленного NH_4 высвобождается 2 моля ионов H^+ .

Такое получение кислоты нейтрализуется буферирующей способностью водоследующим образом:



Чем больше CH_2 выпаривается аэрацией, тем быстрее ионами H^+ внутри хлопьев снижается показатель рН. Хотя во время денитрификации часть окислительной способности возвращается, тем не менее для сточных вод с высокой концентрацией азота может возникнуть необходимость компенсировать часть потери окислительной способности известью, чтобы оставалась технологически необходимая структура из хлопьев.

Влияние содержания кислорода

Обе ступени нитрификации являются обязательными аэробными процессами. При нитрификации на 1 моль окисленного NH_4 ; требуется 1,5 моль O_2 , а на 1 моль окисленного NO_2 – 0,5 моль O_2 , т. е. для общей нитрификации используется, в пересчете на 1 г кислорода, 4,6 г $\text{O}_2/\text{г NH}_4\text{-N}$.

В общем необходимое для неограниченного роста содержание O_2 в сточных водах находится на уровне между 2 и 5 мг $\text{O}_2/\text{л}$. То, при каких концентрациях степень нитрификации снижается, можно установить с помощью расчета дыхания.

Влияние концентрации кислорода на показатель роста можно описать с помощью следующего члена уравнения Моно:

$$\mu = \mu_{max} \frac{S_{O_2}}{K_{s,O_2} S_{O_2}}. \quad (5.8)$$

В производстве учитывается несколько влияний вместе (ср. расчетный пример 5.2 (кинетика Моноочистки сточных вод активным илом с нитрификацией)).

Ингибирование нитрификации

Препятствующие нитрификации вещества, как правило, образуются из промышленных сбросов. Наряду с этим важнейшими ингибиторами нитрификации являются так называемые ингибиторы субстрата. Ингибирование этого типа означает, что происходит повторное ферментативное препятствование ферментативной «переработке» субстратов.

Наряду с ингибированием избытка субстрата (ингибирование нитритации аммиаком) для нитрификации возможно также ингибирование продукта нитросомонаса (ингибирование азотистой кислотой).

Вследствие нарушений взаимовлияния окисления аммиака и нитрита, например токсичными компонентами или колебаниями нагрузки, может произойти обогащение нитрита и (или) аммония, что является причиной существенного ингибирования общей нитрификации.

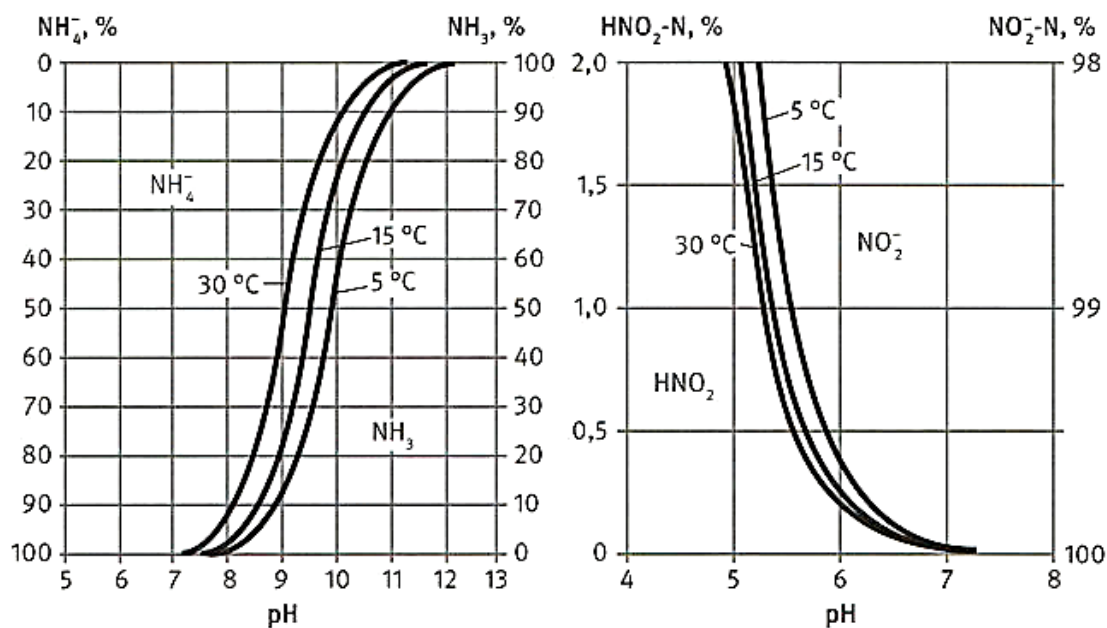


Рис. 5.7. Равновесие диссоциации: $NH_4^+-N \rightleftharpoons NO_2^- - N \rightleftharpoons HNO_2$,

Наряду с прямым влиянием на нитрификацию, колебания показателя рН (и в незначительной степени температуры) прежде всего смещают равновесие диссоциации аммоний–аммиак и нитрит – азотистая кислота. Как следует из рис. 5.7, со снижением показателя рН увеличивается доля азотистой кислоты, которая уменьшает доли аммиака, и наоборот. Поскольку обе эти недиссоциированные формы отвечают за ингибирование, колебания показателя рН косвенно влияют на продуктивность превращения.

Денитрификация

В противоположность окислению сокращенных соединений азота при нитрификации, при денитрификации происходит восстановление окисленных соединений М (нитрат, нитрит) до элементарного азота (М). Если реакция протекает до аммония (МН/), то можно говорить об аммонификации.

Денитрификация равна гетеротрофной диссимилиации нитрина. Для водоочистной техники гетеротрофная диссимилиация нитрата (денитрификация), как правило, имеет большое значение.

Согласно формуле



из 10 [H] 10 электронов переносятся на два М, за счет чего соединения азота разряжаются до элементарного азота (N₂), и 10 ионов Н⁺ соединяются с ионами нитрат-кислорода в Н₂. Поскольку при денитрификации, как при дыхании кислородом, органический субстрат расщепляется до СО₂, и Н₂О, этот процесс можно также назвать дыханием нитратом.

Благодаря дыханию нитратом вырабатывается окислительный потенциал, соответствующий 2,9 гО₂/г NO₂-2. Теоретически после этого в реакцию должны быть введены также 2,9 г БПК/г МО₃-N. Скорость денитрификации зависит, наряду с имеющимся количеством нитратов, непосредственно от содержания БПК₅.

Аноксическая среда

Участвующий в денитрификации биоценоз, т. е. часть общего активного ила, позволяет использовать для своего обмена веществ как молекулярный, так и связанный кислород. Многие из гетеротрофных

бактерий в смешанном биоценозе активного ила также способны к денитрификации.

Поскольку они по энергетическим причинам предпочтительно вдыхают аэробный углерод, важной предпосылкой для денитрификации является ограничение растворенного кислорода. Таким образом, при отрицательном кислородном балансе (аноксическая среда) нитрат-кислород используется вместо растворенного кислорода. Если одновременно с этим имеется достаточно хорошо растворимый субстрат, осуществляется дыхание нитратом.

Азот – акцептор электронов

В денитрификации азот является акцептором электронов и претерпевает ступени окисления от +5 до 0 (рис. 5.8). Благодаря делению кислорода до молекулярного азота возникают промежуточные продукты – различные оксиды азота.

Увеличивающееся производство как NO (монооксида азота), так и N₂O («веселящего газа») проходит в неблагоприятных физиологических условиях, например при низком показателе pH, а в настоящее время – при токсичных веществах, при высоких концентрациях кислорода, возможно также при избыточном содержании нитрата.

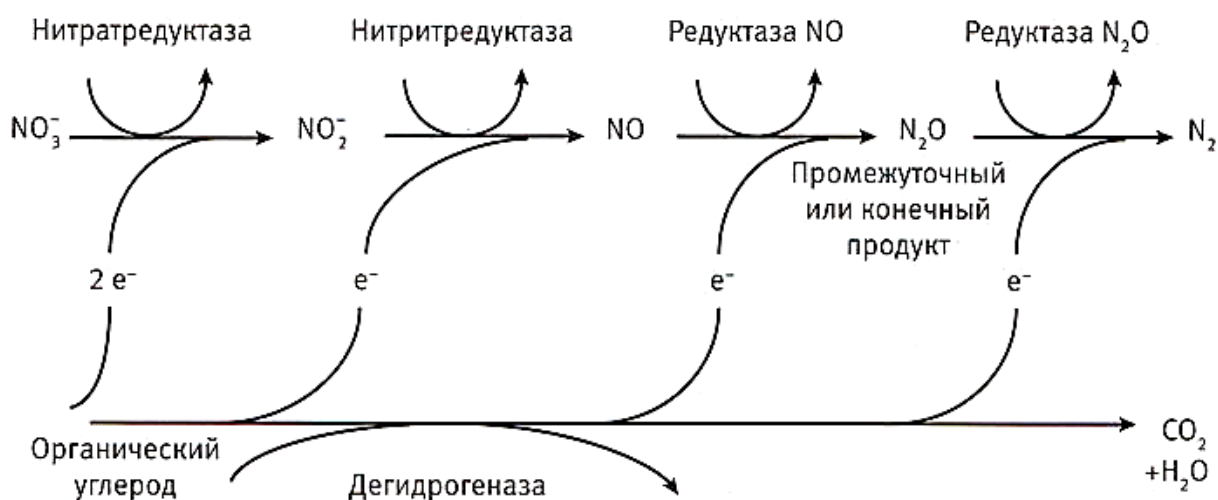


Рис. 5.8. Схема обмена веществ для гетеротрофной денитрификации

Энергетический анализ Энергетический анализ денитрификации (табл. 5.3) делает понятным то, что получение энергии организмами настолько больше, насколько значительней они могут сокращать имеющиеся оксиды азота. Общее получение энергии делится различным образом на единичные этапы (значения, соотнесенные с каждым молекул

глюкозы как субстрата). При первом этапе от нитрата к нитриту высвобождается 2/3 получения энергии.

Таблица 5.3.

**Получение энергии в промежуточных этапах
денитрификации относительно 1 моля глюкозы как
субстрата,
возможность использования источника углерода**

Промежуточные шаги	Получение энергии кДж/моль	% дыхания NO_3	% дыхания O_2
$\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2^-$	1946	72	67
$\text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2\text{O}$	632	23	22
$\text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$	134	5	4
$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$	2712	100	94
Дыхание O_2	2876	—	100

Возможность использования источника углерода

Кроме того, показатель денитрификации активного ила находится в прямой связи с возможностью использования источника углерода для восстановления азота. Использование двух различных субстратов приводит к очень разным показателям денитрификации, табл. 5.4. При добавлении низших жирных кислот четко прослеживаются более высокие показатели денитрификации, чем при добавлении спиртов, например метанола, который часто используется в качестве источника углерода.

Таблица 5.4

Кинетические параметры для денитрификации при 20 °С

Полупостоянное значение K_s для субстрата, г N/м ³	Показатель роста μ_{max} 1/сут	Теоретический минимальный возраст ила t_{CBmin} , сут	Показатель гибели b , 1/сут
10-20(ХПК)	3-6(гетеротрофный)	0,33-0,167	0,05-0,10
5-10(метанол)	5-10(метанол)	—	—

Новые разработки

Для обработки сточных вод, сильно нагруженных азотом, метод классической нитрификации/денитрификации применим лишь условно. Проблему представляют, прежде всего, высокие концентрации азота, которые приводят при нитрификации к сильному снижению

показателя рН. С увеличением снижения показателя рН появляется замедление (авто ингибирование) нитрифицирующих бактерий, вследствие чего прекращается полное превращение NH_4 в нитрат.

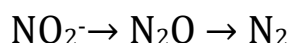
Кроме того, сточные воды, сильно загрязненные азотом, характеризуются, как правило, низким соотношением C/N, что требует затратного добавления внешнего углерода для денитрификации. Также большие затраты требуются и на аэрацию в целях удовлетворения потребности в кислороде для полного окисления аммония до нитрата.

Наряду с описанным удалением азота из сточных вод путем двух превращений: аэробным – окислением аммония до нитрата и аноксическим – восстановлением нитрата до азота – в различных публикациях последних лет представлены новые подходы.

Нитритация/денитритация

Комбинация методов нитритации/денитритации очень схожа с классической нитрификацией/денитрификацией. При этом содержащийся в сточных водах объем азота таким же образом сначала окисляется аэробно. Однако путь реакции расщепления сокращается, и азот окисляется лишь до промежуточного продукта – нитрита (NO^-). На последующей ступени денитрификации нитрит с помощью гетеротрофных бактерий в аноксических условиях превращается в присутствии достаточного количества углерода в молекулярный азот (N_2).

Путь реакции следующий:



Преимущество концепции этого метода в сравнении с классической нитрификацией/денитрификацией заключается в сниженной потребности в кислороде, поскольку количество этапов окисления уменьшается на один. Кроме того, потребность в углероде уменьшается, вследствие чего добавление дополнительных источников углерода в зависимости от состава сточных вод сокращается или может вообще не требоваться.

Чтобы остановить путь реакции расщепления азота нитритом и предотвратить образование нитрата, существуют различные технологические методы.

Один из таких методов – вымывание нитритоксидантов. Здесь могут использоваться различные показатели роста аммоний- и нитритокисляющих бактерий. Поскольку аммонийокисляющие бактерии (нитросомонас) при высоких температурах имеют значительно более высокие показатели роста по сравнению с нитритокисляющими бактериями (нитробактер), то нитросомонас наращивается при высоких температурах при поддержании небольшого возраста ила, в то время как нитритокисляющий нитробактер вымывается.

Кроме того, чтобы прервать путь реакции расщепления в случае нитрита, может использоваться замедляющее влияние аммиака на нитритоксиданты. При этом зависящее от показателя pH равновесие диссоциации аммоний/аммиак может быть смещено в сторону аммиака из-за добавления щелочи. При низкой концентрации аммиака используется ингибирование нитритоксидантов в качестве ингибирования оксидантов аммония, что препятствует образованию нитрата. Ограничение наличия кислорода, т. е. установка в реакторе незначительных концентраций кислорода, является еще одной возможностью препятствовать окислению нитритов и, как следствие, образованию нитрата.

Частичная нитритация с последующей деаммонификацией

При частичной нитритации с последующей деаммонификацией речь идет о двухступенчатом методе элиминации азота.

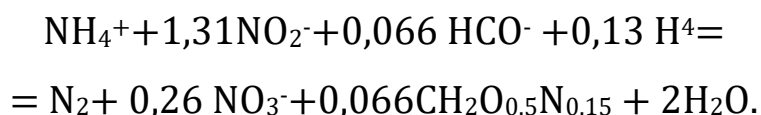
Сначала при частичной нитритации часть аммония превращается в нитрит. Чтобы остановить нитрификацию нитрита, необходимо препятствовать окислению нитрита, т. е. необходимо прекратить рост нитритоксидантов. Для этого, как было описано выше, существуют три стратегии. Поскольку при высоких температурах нитритоксиданты, в сравнении с аммонийоксидантами, обладают более низким показателем роста, они вымываются при поддержании небольшого возраста ила.

Вторая возможность состоит в ингибировании нитритоксидантов за счет повышенных концентраций аммиака, поскольку нитритоксиданты, в сравнении с аммонийоксидантами, ингибируются при более низких концентрациях NH_3 . Повышенные концентрации аммиака могут быть достигнуты повышением показателя pH. Установление малых концентраций кислорода – это еще одна возможность для ингибирования

ния нитритоксидантов, так как им требуется более высокая концентрация O_2 , нежели аммонийоксидантам. Щёлочность очищаемых сточных вод определяет соотношение NO_2^- / NH_4^+ в ходе частичной нитритации.

В последующей деаммонификации аммоний превращается при анаэробных условиях в молекулярный азот (N_2) и в небольшое количество нитрата (NO_3^-).

Следующее уравнение иллюстрирует эту реакцию:



Реакция называется анаммокс (Анаммох) (анаэробное окисление аммония) и преобладает благодаря автотрофным бактериям из группы планктомицетов. Показатель роста планктомицетов очень мал, поэтому реакторам для деаммонификации необходима длительная фаза приработки, и, кроме того, они должны обладать хорошим отстойником для биомассы. Высокая концентрация нитрита в реакторе деаммонификации замедляет процесс.

Области применения

Комбинация частичной нитритации и деаммонификации особенно подходит для очистки сильно загрязненных азотом сточных вод, поскольку комбинация этих методов из-за их автотрофного характера не зависит от органических источников углерода. Итак, этот метод особенно хорошо подходит для очистки сточных вод с очень неблагоприятным соотношением C/M.

1.16.3. Биологическая элиминация фосфора

При химической элиминации (осаждении) фосфора фосфаты превращаются в труднорастворимые соединения железа, алюминия или кальция и отделяются седиментацией.

Фосфор, как жизненно важное питательное вещество, а также необходимый при строении и энергетическом обмене веществ элемент, входит в биомассу и может быть удален с избытком ила. Давно известно, что многие организмы после ситуации дефицита потребляют фосфор даже сверх мгновенной потребности и способны сохранять его в клетках в качестве гранулята полифосфата.

В добавление к этому, однако, одна группа микроорганизмов в смешанном биоценозе активного ила способна создавать благодаря увеличенному поглощению фосфора и без предшествующего дефицита фосфора запас фосфатов (избыточное поглощение).

При биологической элиминации фосфора исходят из следующего механизма. В анаэробном резервуаре (никакого растворенного кислорода, никакого нитрата) должны взаимодействовать две группы бактерий. Факультативно анаэробные бактерии сначала сбрасывают легко расщепляемые полимеры в органические кислоты, главным образом в уксусную кислоту. Далее они служат в качестве субстрата для аэробных видов ацинетобактера, чтобы при потреблении энергии строить из них резервные вещества (например, поли-2-гидроксibuтановую кислоту (ПГБ/РНВ)). Необходимую для этого энергию они получают путем расщепления запасов полифосфатов, богатых энергией, что связано с высвобождением, т. е. с подвижным раствором фосфата.

По количеству обратно растворенного фосфата можно сделать вывод об активности этого процесса обмена веществ. Поэтому на анаэробном уровне необходимо, чтобы организмы брожения производили органические кислоты и растворяли как можно больше фосфатов. Процесс нарушается нитратом, поскольку из-за него брожение по причине увеличения окислительно-восстановительного потенциала ограничивается, а сформированные кислоты за счет денитрификаторов используются как конкуренты питания.

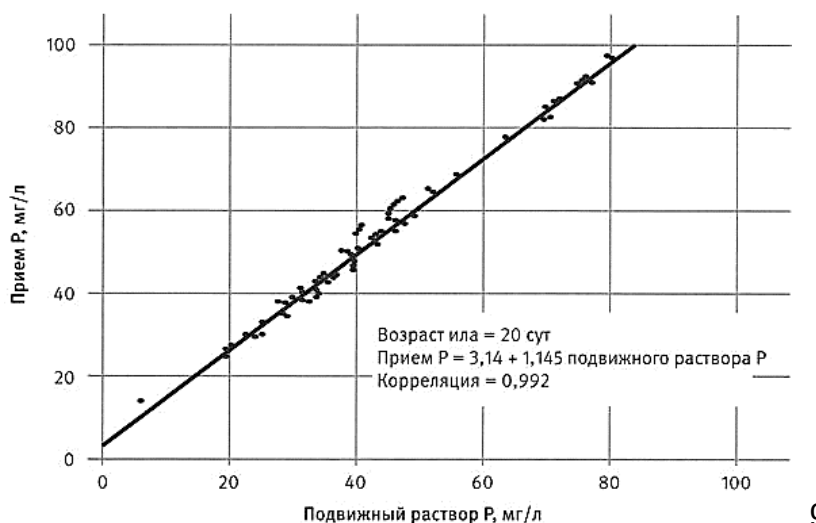


Рис. 5.9. Зависимость приема фосфора в аэротенке от подвижного раствора фосфора на анаэробной ступени

Способность сохраняющих фосфаты бактерий синтезировать с помощью запасов фосфатов резервные вещества дает им преимущество в росте по сравнению с другими аэробными бактериями, так что возможно насыщение этих видов в биоценозе активного ила.

На аэробной ступени виды ацинетобактера начинают сразу возмещаться с помощью сохраненных резервных веществ (ПГБ) и внешних субстратов запасов полифосфатов, при этом скорость приема напрямую зависит от величины предшествующего подвижного раствора, рис. 5.9.

На анаэробной ступени из факультативных анаэробов формируется ацетат.

Способные к накоплению фосфора организмы (например, ацинетобактер) принимают ацетат и синтезируют из него резервные вещества (ПГБ). Необходимую для этого энергию они получают путем расщепления запасов полифосфатов, из чего следует подвижный раствор PO_4 , рис. 5.10.

На аэробной ступени фосфат берется организмами из сточных вод и сохраняется как богатый энергией полифосфат. Необходимая для этого энергия получается расщеплением резервных веществ (ПГБ) и внешних органических веществ (BPK_4).

Для практической эксплуатации очистного сооружения с увеличенной биологической элиминацией фосфора действительны следующие требования.

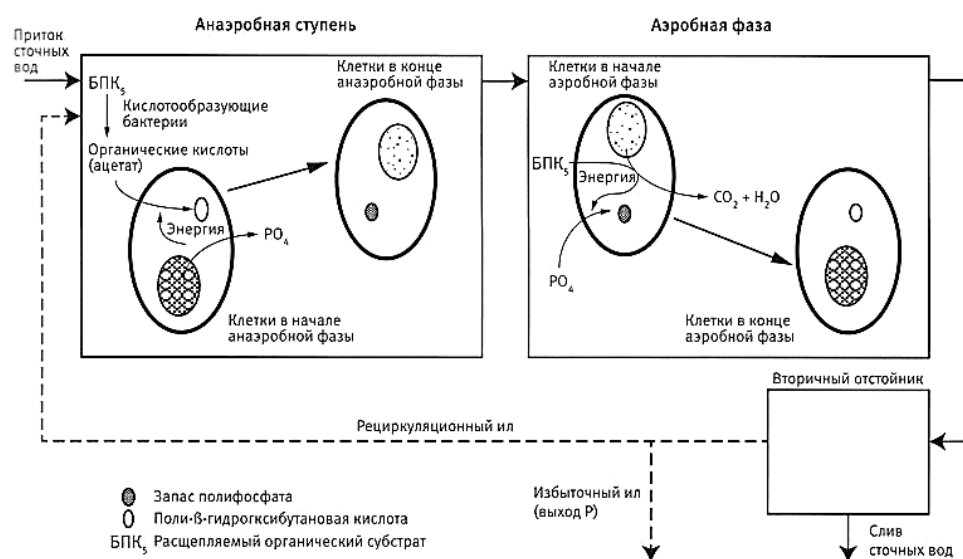


Рис. 5.10. Схема процессов обмена веществ при увеличенной биологической элиминации фосфора

На анаэробной ступени должна быть возможность формирования органических кислот, для чего необходимо достаточное количество легко расщепляемых субстратов (БПК₅). Анаэробная ступень не должна из-за подачи нитрата с рециркуляционным илом становиться аноксической. Во вторичном отстойнике длительность обработки ила должна быть установлена настолько короткой, чтобы не происходило обратное растворение фосфора.

1.16.4. Структура аэробного активного ила

В аэробном активном иле обнаруживается ферментативный потенциал, который необходим для превращения высокомолекулярных загрязнений в желаемые неорганические конечные продукты, а также для внедрения в биомассу. Поэтому хлопья тоже служат в качестве участков адсорбции, на которых могут объединяться биологически инертные вещества.

Физическое, химическое и биологическое состояние биомассы оказывается под влиянием состава сточных вод и методов очистки и поэтому может меняться от одной очистной установки к другой и внутри одной установки с течением времени.

Предпосылкой для применения метода очистки сточных вод активным илом и является отделение биомассы от очищенных сточных вод, например, путем седиментации во вторичном отстойнике. После этого в активном иле могут удерживаться лишь те организмы, которые формируют осаждаемые хлопья, прикреплены к ним или, как минимум, используют их в качестве среды обитания.

Образование хлопьев необходимо, даже если отделение биомассы производится путем флотации, фильтрации или центрифугирования. Превращенный в суспензию активный ил обычно состоит из беспорядочно образованных хлопьев диаметром от 50 до 300 мкм и удельным весом больше единицы.

Химический состав активного ила определяется собственно биомассой (бактерии, простейшие, грибы) и органическими (волокнистые вещества, крахмальные зерна и др.) и неорганическими (карбонаты, фосфаты, гидроокиси металлов, ил) включениями и отложениями.

Образование хлопьев активного ила может быть очень различным. В слабо загрязненных установках можно найти больше компактных хлопьев, которые в большинстве случаев характеризуются темным ядром и светлой граничной зоной (рис. 5.11). Внутренняя область состоит преимущественно из неорганических материалов (например, фосфата кальция, гидроксида алюминия и железа) и неживых органических веществ.

Граничную зону образуют живые, активные организмы, встроенные в слизеподобную матрицу. В сильно загрязненных установках хлопья часто образуют звездообразные наросты граничных зон, в которых различимы отдельные бактерии (рис. 5.12).



Рис. 5.11. Хлопья активного ила слабо загрязненной установки для очистки сточных вод активным илом с темным ядром и светлой граничной областью, фазово-контрастный снимок со стократным увеличением (фотоискусство)

В аэробном процессе очистки активными могут быть только части хлопьев, в которых могут диффундировать как растворенные загрязнения, так и кислород. При компактной круглой форме хлопьев

при диаметре хлопьев приблизительно 150 мкм активно 50% всего объема хлопьев, а при диаметре примерно 350 мкм – лишь 20%. Тем не менее на практике хлопья сильно разделены и нерегулярно формируются, так что в процессе очистки активно участвует значительно большая часть хлопьев.

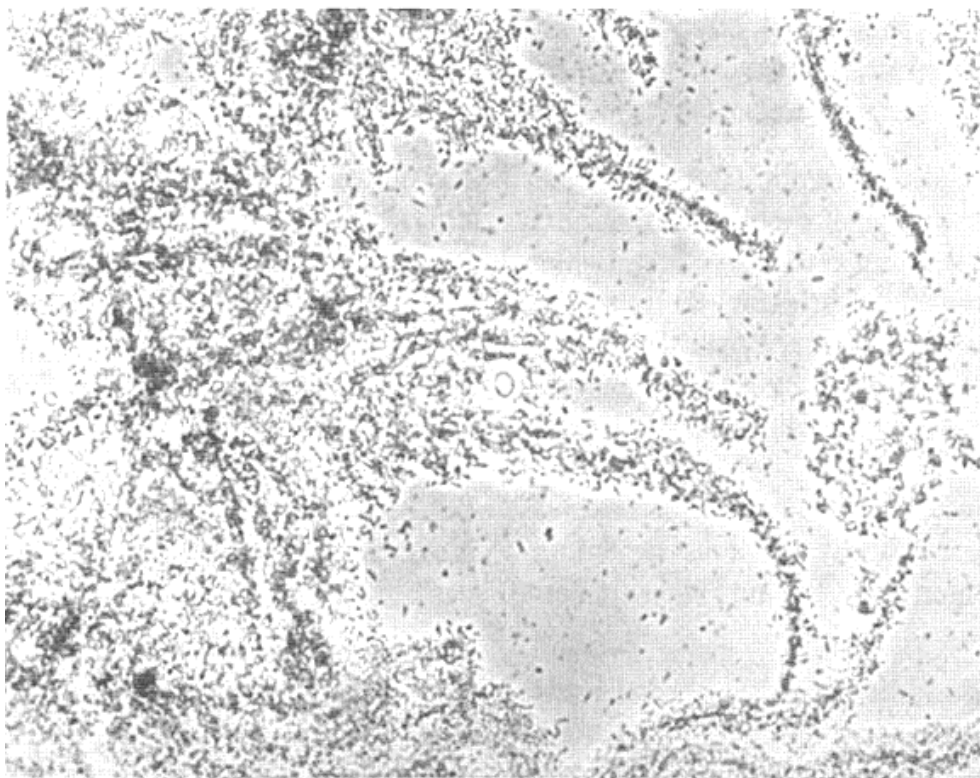


Рис. 5.12. Хлопья активного ила сильно загрязненной установки для очистки сточных вод активным илом со звездообразными наростами, фазово-контрастный снимок с увеличением в 400 раз (фотоискусство)

Незначительное морфологическое дифференцирование организмов в хлопьях активного ила все же не дает никаких указаний на разнообразие видов участвующих бактерий.

При наблюдении активного ила под микроскопом больше заметны простейшие, нежели морфологически однообразные бактерии. Несмотря на это их доля участия в процессе очистки в сравнении с бактериями незначительна. Поскольку они питаются преимущественно бактериями и мельчайшими, превращенными в суспензию частицами загрязнений, то, по существу, они участвуют лишь в уменьшении осадка очищенных сточных вод.

Следующую группу бактерий составляют нитевидные растущие организмы, которые в сравнении с объединенными в хлопья организмами имеют большие поверхности относительно объемов клеток. В слабо загрязненном, полностью перемешанном очистительном бассейне питательные вещества для организмов постоянно присутствуют лишь в очень малых концентрациях, из чего их следует очень маленький показатель роста.

В таких условиях относительно большая поверхность дает нитевидным бактериям преимущество роста и, как правило, комбинируется с высоким сродством субстрата нитевидных бактерий. Оставшаяся часть субстрата, которая задерживается после того, как нитевидные бактерии поглощают за короткий срок слишком много субстрата, дает хлопьеобразным бактериям лишь ограниченную возможность роста.

На рис. 5.13 эта связь представлена графически.

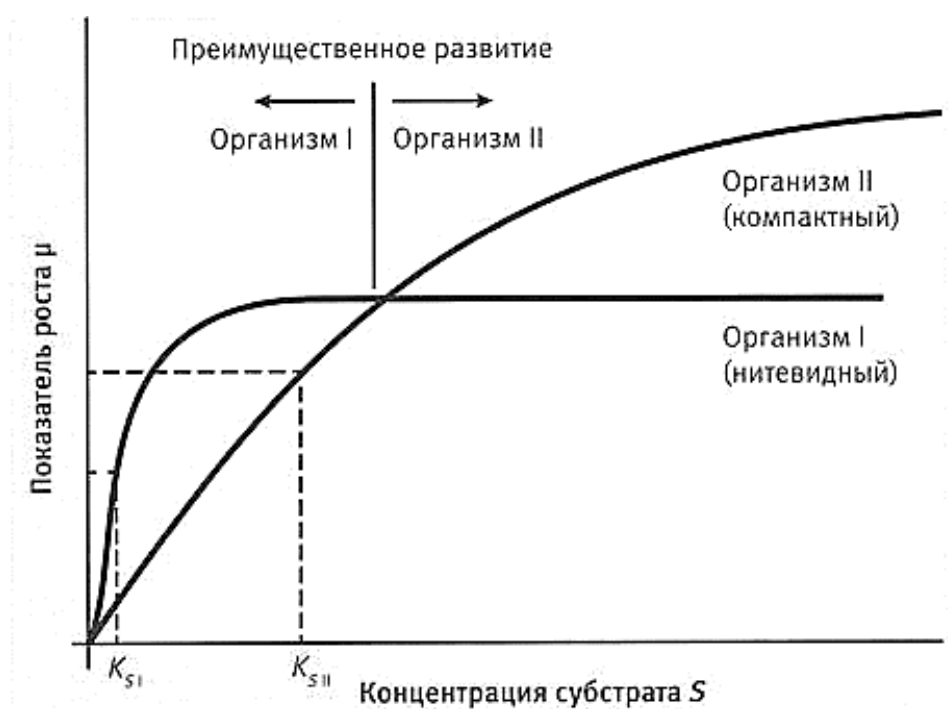


Рис. 5.13. Различные показатели роста компактно и нитевидно растущих организмов в зависимости от концентрации субстрата

Нитевидный организм достигает половины своего максимального показателя роста уже при очень малых концентрациях субстрата, в то время как компактный хлопьеобразный растущий организм II достигает своего максимального показателя роста лишь при значительно

более высокой концентрации субстрата. При малых концентрациях субстрата (например, в установках с нитрификацией/денитрификацией/органическим Р) нитевидно растущий организм получает преимущество в росте и может победить в борьбе за существование.

Проблемы, которые могут возникнуть в очистных установках из-за нитевидно растущих микроорганизмов:

- «вспухший» активный ил;
- плавающий ил;
- пена.

При этом «вспухший» ил и плавающий ил образуются в основном в аэротенке и вторичном отстойнике, а пена – как на активных ступенях, так и в метантенках.

Плавающий ил флотирует активный ил на поверхность раздела воды с воздухом и потом плавает на поверхности воды. СВ-концентрация в плавающем иле, как правило, очень высокая (встречается СВ-концентрация до >30 г СВ/л). Биомасса существует очень сжато, с относительно высокой вязкостью, и слой плавающего ила может достигать больше 10 см. Пена, т. е. стабильная крупнодисперсная пудингообразная матрица, является, с одной стороны, переходной формой плавающего ила к «надутому газом и вязкому плавающему, илу – пене», с другой стороны, независимым явлением, вызванным большим количеством нитевидных микроорганизмов.

Если пена появляется в очистных установках, которые не включены в работу или находятся в нештатных условиях, например повреждены и т. д., то речь идет, как правило, о вязкой структуре микроорганизмов, которые характеризуются плохой способностью к обезвоживанию и брожением в анаэробной среде, как в метантенке.

Смещение биологического равновесия в активном иле в пользу массового количества нитевидных бактерий обуславливается компонентами питательных веществ, влияниями температуры, различиями в концентрации кислорода и т. д. Кроме того, высокий объем органических загрязнений, например из сточных вод молочного производства, пивоварен, промышленности, изготавливающей напитки, бумажной и текстильной промышленности, способствует образованию «вспухшего» ила. В биологических очистных сооружениях, в которых обрабатываются сточные воды вышеназванных сфер промышленности,

очень часто в качестве доминирующего нитевидного организма встречается бактерия типа 021N. Состояние дефицита кислорода в очистке сточных вод активным илом, а также значимые объемы загнившей сточной воды выборочно влияют на другие определенные нитевидные бактерии. (эффект органических кислот, сульфидов).

Дефицит азота и (или) фосфора также может привести к увеличенному росту нитевидных бактерий. Нередко влияют несколько факторов одновременно, если результатом становится «вспухший» ил (например, при гниении богатых углеводом сточных вод в качестве продуктов выступают органические кислоты и образуются сульфиды).

1.17. Аэробные реакторы

С точки зрения промышленных предприятий к биологическим методам очистки выдвигаются, прежде всего, следующие требования:

- доступность по цене;
- стабильность предприятия;
- незначительная занимаемая площадь;
- отсутствие или незначительное производство избыточного ила;
- отсутствие проблем с отработанным воздухом.

Множество описанных далее методов показывает, что промышленные предприятия часто готовы опробовать инновационные методы. В качестве целевого направления тенденций развития методов очистки и режима эксплуатации служит наилучшее соблюдение названных требований.

Для расчета параметров установки для очистки сточных вод активным илом в области промышленности не существует общих рекомендаций, поскольку обобщение на основе различных краевых условий промышленности невозможно.

Первым шагом должно стать использование опыта других предприятий похожих отраслей промышленности.

Примеры приведенных в гл. 6 «Примеры промышленной очистки сточных вод» промышленных предприятий показывают, что аэротенки часто рассчитываются по следующим параметрам:

- $V_{\text{сут}}$ – объем субстрата, кг БПК₅/сут;
- t_p – расчетное время задержки, сут;

- $B_{p, \text{БПК}_5}$ – гидравлическая нагрузка, кг БПК₅/(м³·сут);
- $СВ_p$ – содержание сухого вещества в реакторе, концентрация отфильтровываемых веществ, кг СВ/м³;
- орг. $СВ_p$ – концентрация органической доли отфильтровываемых веществ, кг орг. СВ/м³;
- $В_{СВ, \text{БПК}_5}$ – Загрязнение илом, кг БПК₅/(кг СВ . сут).

Если находящееся в распоряжении количество питательных веществ P (БПК) поставить в отношение к массе активного ила M (соответствует нагрузке на ил)

$$V_{СВ} = \frac{F}{M} = \frac{V_{\text{сут}}}{V_{\text{аэр}} СВ_p}, \quad (5.9)$$

то можно будет охарактеризовать две важные фазы роста активного ила и вместе с этим активности организмов.

Две важные фазы роста активного ила

1. Выбор питательных веществ настолько велик, что для размножения клеток ограничивающим фактором является не питательное вещество, а время жизни поколения. Этот расчет/режим эксплуатации характеризуется:

- высокой нагрузкой на ил;
- высоким уровнем прироста ила,
- низкой производительностью очистки сточных вод,
- низкой удельной потребностью в кислороде.

Этот режим эксплуатации благоприятен для промышленных сточных вод, если на первой ступени очистки при высокой концентрации притока БИК требуется расщепление большей части органических примесей (из-за низкой удельной потребности в кислороде) с наименьшими затратами. Однако для этого часто применяется энергетически более выгодный анаэробный метод (см. разд. 5.4 «Анаэробное биологическое превращение веществ»).

2. Процессы обмена веществ ограничиваются существующим выбором питательных веществ. Этот расчет/режим эксплуатации характеризуется:

- низкой нагрузкой на ил;
- незначительным приростом ила,
- высокой производительностью очистки сточных вод,
- высокой удельной потребностью в кислороде.

Как правило, этот режим эксплуатации применяется для заключительной биологической очистки.

В этих целях аэротенки предприятий часто рассчитывают для нагрузки на ил по БПК; от 0,1 кг БИКу/ (кг СВ·сут). Такая нагрузка при температуре выше 15 °С в дополнение к обширному расщеплению углерода в большинстве случаев также способствует процессу нитрификации азотистых соединений. Расчеты могут опираться также на рабочую инструкцию, однако при этом необходимо учитывать измененные краевые условия. Если, например, в течение года сохраняется постоянная повышенная температура, это тоже должно быть учтено. При достижении определенной дозы ила в аэротенке должна учитываться возможная тенденция к «вспуханию» ила.

Требуемый объем биореактора зависит от следующего соотношения:

$$V_{\text{тр}} = \frac{B_{\text{сут,БПК}_5}}{СВ_p \cdot B_{\text{СВ,БПК}_5}}, \quad (5.10)$$

соответствует: $\frac{\text{необходимый для распределения объема}}{\text{концентрация организмов / м}^3 \cdot \text{условия питания}}$

Увеличение уровня нагрузки на ил влияет прямо пропорционально на сокращение требуемого объема. Поскольку уровень нагрузки на ил обратно пропорционален возрасту ила, то увеличение уровня нагрузки на ил обуславливает одновременно сокращение возраста ила:

$$t_{\text{СВ}} = \frac{B_{\text{сут}}}{B_{\text{СВ}} \ddot{U} S_{\text{сут}}}, \quad (5.11)$$

где $t_{\text{СВ}}$ – возраст ила, сут,

$\ddot{U} S_{\text{сут}}$ – ежедневный прирост ила, кг СВ/Сут.

Чтобы поддерживать в аэротенке предусмотренную дозу ила, соразмерную с ежедневным приростом ила (воспроизводимость бактерий), масса избыточного ила должна постоянно сливаться из системы. Для промышленных сточных вод коэффициент воспроизводимости (коэффициент прироста Y , кг СВ/кг субстрат, или кг ХПК_{биомассы}/кг ХПК_{субстрата}) Должен быть установлен при пробной эксплуатации или

сравнительные данные должны быть получены от схожих предприятий.

Расчет параметров по возрасту ила требуется в том случае, если должно быть установлено, что в реакторе для расщепления определенных веществ содержится определенный – как правило, медленно растущий – род бактерий.

Например, с целью достичь обширной нитрификации, согласно опыту, необходимо, чтобы возраст ила был приблизительно в два-три раза больше времени жизни поколения нитрификаторов, для того чтобы они могли размножаться в системе. В этом случае технологическая оптимизация фактора влияния илового загрязнения возможна лишь ограниченно.

Оптимизация есть повышение фактора влияния концентрации организмов на единицу объема. Поэтому технологически для оптимизации ориентируются прежде всего на повышение фактора влияния концентрации организмов на единицу объема. В то время как концентрация организмов (доза ила) в установках для очистки сточных вод активным илом составляет около 4 кг/м^3 , реакторы могут с помощью специальных систем удерживания или сгущения достигнуть многократного увеличения содержания биомассы, так что производительность на кубический метр объема очистки повышается, соответственно, реактор может быть меньше.

Наряду с улучшением систем реактора дальнейшим шагом является стремление к сокращению производственных расходов. При аэробном методе очистки главные расходы направлены на аэрацию и удаление избыточного ила, так что тенденции развития движутся в сторону более эффективного потребления кислорода (специальные системы аэрации, глубокие бассейны) и, соответственно, в сторону меньшего прироста избыточного ила (мембранный метод).

Активность организмов может быть улучшена путем целенаправленной оптимизации важных факторов влияния на показатель роста микроорганизмов, таких как:

- повышение температуры до оптимальной температуры микроорганизмов: (обычно в анаэробных реакторах);
- постоянное поддержание показателя pH в нейтральной зоне;
- улучшение снабжения O_2 , хлопьев путем увеличения концентрации O_2 , в воде;

- увеличение концентрации биомассы и времени задержки с помощью дополнительных поверхностей для роста в аэротенке;
- ограничение ингибирующих воздействий, а также ограничение диффузии;
- добавление, например, отсутствующих микроэлементов (при необходимости также азота или фосфора).

При всех методах оптимизации все же нельзя забывать, что в конечном итоге хорошее соотношение между финансовыми затратами и производительностью очистки может быть достигнуто лишь при стабильной производственной системе.

Слишком высокие органические загрязнения, напротив, могут привести к «вспуханию» ила. В отчете о работе ООСВ (АТУ) «Вспухание ила, плавающий ил и пена в аэротенках» рекомендуются следующие селекторы для улучшения структуры ила:

- аэробные селекторы, которые следует эксплуатировать при гидравлической нагрузке
- аноксические/анаэробные селекторы, которые должны быть рассчитаны для гидравлической нагрузки

1.17.1. Аэробные методы без удержания биомассы

Часто используемые предприятиями для предварительной очистки смесительные и уравнительные резервуары выполняют функции смешения концентрации и выравнивания массы (см. разд. «Выравнивание количества и концентрации»). Поскольку в сточных водах, например, пищевой промышленности все же очень быстро проходят процессы превращения, смесительные и уравнительные резервуары обычно аэрируют, чтобы избежать распространения запахов. Несмотря на то, что аэрация будет использована для различных целей – «сохранения свежести» и биологического частичного расщепления (намывной реактор), естественно, и при «сохранении свежести» имеют место биологические процессы расщепления, так что в обоих случаях речь может идти о биологическом методе очистки. Поэтому в аэрируемых смесительном и уравнительном резервуарах необходимо учитывать возможное биологическое предварительное расщепление с приростом отфильтровываемых веществ.

1.17.2.Аэробные методы с суспендированной биомассой

Методы Аэробные методы с суспендированной (находящейся во взвешенном состоянии) биомассой делятся на следующие группы:

- 1) метод очистки сточных вод активным илом с атмосферным кислородом; у
- 2) метод очистки сточных вод активным илом с чистым кислородом;
- 3) метод очистки сточных вод активным илом с особой глубиной и формой реакторов:
 - метод с большой глубиной очистного бассейна,
 - реактор «Биохох»,
 - башенная биология фирмы «Байер»,
 - метод глубокого вала;
- 4) метод пакетной обработки:
 - метод РПД (реактор переменного действия);
- 5) метод без общепринятой вторичной очистки:
 - метод флотации,
 - мембранный метод.

Метод очистки сточных вод активным илом

В классический метод очистки сточных вод активным илом входит биологическая очистка сточных вод с помощью превращенных в суспензию микроорганизмов (активный ил), которые способны образовывать и седиментировать хлопья, а затем путем рециркуляции ила концентрироваться в системе. Метод очистки активным илом был разработан в 1914 г. в Англии Ардерном и Локеттом. В настоящее время, благодаря множеству конструктивных форм и вариантов технологий (сильное загрязнение, небольшое загрязнение, нитрификация, денитрификация, биологическая элиминация фосфора), является наиболее часто применяемым по всему миру методом биологической очистки сточных вод в промышленном и коммунальном секторе.

Метод очистки сточных вод активным илом состоит как минимум из аэрируемого очистного бассейна, в котором проходит биологический процесс очистки, а также из вторичного отстойника, в котором формирующие хлопья микроорганизмы отделяются от водной фазы, попадают в промежуточный накопитель, сгущаются и возвращаются в очистной бассейн или удаляются из системы. Благодаря рециркуляции

биомассы (рециркуляционного ила) гидравлическое, время отличается от времени обработки ила.

Концентрация микроорганизмов в очистном бассейне может быть увеличена, так что по сравнению с намывным реактором требуется существенно меньший объем очистного бассейна. Растущая избыточная биомасса (избыточный ил) должна быть удалена из системы. На рис. 5.14 представлена основная схема метода очистки сточных вод активным илом.

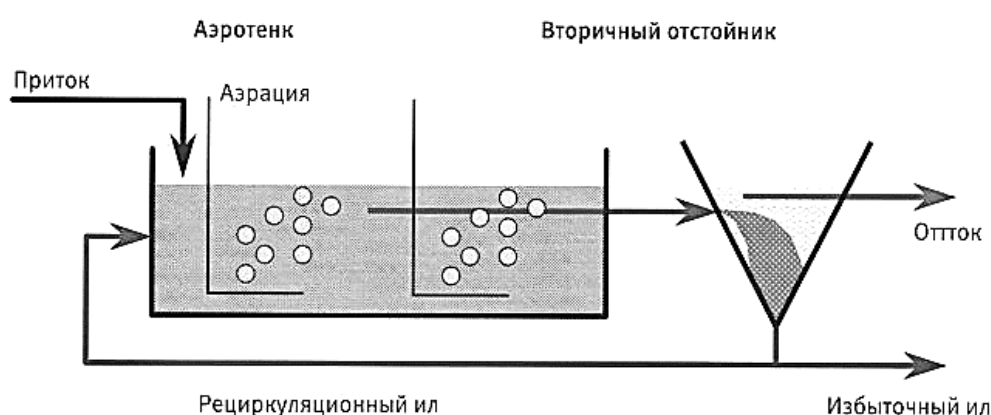


Рис. 5.14. Основная схема метода очистки сточных вод активным илом

Конструкционное исполнение и режим эксплуатации одноступенчатых станций очистки с аэротенками различным способом варьировались и дополнялись

При одноступенчатом методе, в противоположность двух- или многоступенчатому методу, активный ил состоит из единого биоценоза, т. е. нет отдельных круговоротов ила и отдельных биореакторов.

Для процесса биологического расщепления в методе очистки активным илом важную роль играет форма очистного бассейна и проточные соотношения. Изначально строились прямоугольные продолговатые очистные бассейны, течение в которых было продольным, т. е. сточные воды и рециркуляционный ил выводились на переднюю стенку, а смесь стекала на противоположной стороне через сточный желоб к вторичному отстойнику.

При этом в равномерно аэрируемых очистных бассейнах происходило в основном увеличение профиля O_2 , поскольку смесь из неочищенных сточных вод и рециркуляционного ила в начале бассейна по

причине высокой потребности в кислороде приводила к недостатку O_2 , в то время как в конце очистного бассейна потребление кислорода настолько сокращалось, что царил переизбыток O_2 .

Чтобы избежать сложного регулирования снабжения O_2 согласно потребности в O_2 по всей длине очистного бассейна, делались попытки как можно равномернее разделить сточные у воды по всему очистному бассейну. Первым шагом стало разделенное по всей длине очистного бассейна поступление сточных вод. Следующим шагом стала разработка полностью перемешанного очистного бассейна (резервуара для смешивания).

Для понимания биологических процессов в аэротенке еще раз стоит упомянуть, что производительность очистки зависит от соотношения объема загрязнений к биомассе (BCV), а скорость процессов превращения – от концентрации питательных веществ в реакторе.

Однако она не идентична концентрации – поступающих сточных вод, а зависит от смешения сточных вод с общим объемом аэротенка и от процессов расщепления. Если исходить из того, что во вторичном отстойнике от очищенных сточных вод отделяется лишь биомасса, то необходимая концентрация в ходе реакции должна быть достигнута уже в полностью смешанном аэротенке. Поэтому организмы живут в среде с очень маленькой концентрацией питательных веществ, т. е. процессы обмена веществ могут протекать только очень медленно.

При проектировании установок для биологической очистки промышленных сточных вод рекомендуются опыты по расщеплению, поскольку в этом случае могут быть получены принципиальные суждения о скорости расщепления (Михаэлиса-Ментена) и об ингибировании, рис. 5.15.

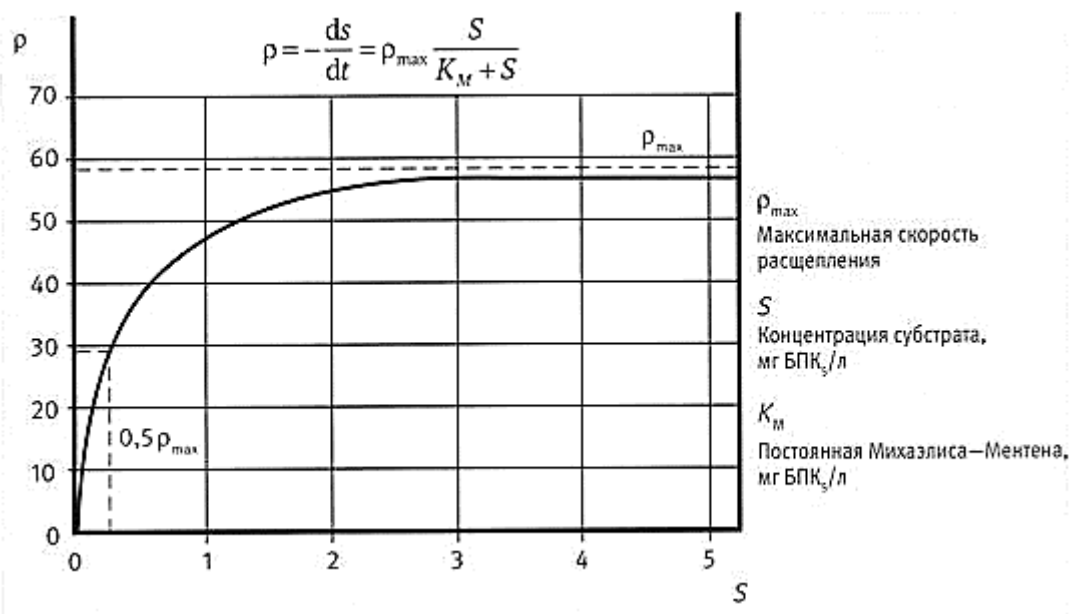


Рис. 5.15. Соотношение Михаэлиса-Ментен для ферментативных реакций

Если одинаковый объем аэротенка делится, например, на четыре одинаковых о каскада (бассейна-каскада), которые следуют один за другим, тогда в первом отсеке объем поступающих питательных веществ относительно общего объема и вместе с ним концентрация питательных веществ должны быть в 4 раза больше, чем в смешанном очистном бассейне. В последующих отсеках устанавливается сокращенная при расщеплении в предыдущем отсеке концентрация.

При одинаковом в целом БПК₅ загрязнении относительно общей емкости реактора и вследствие этого в каскадных установках по сравнению со смешанным реактором создаются реакционные камеры с различной концентрацией питательных веществ и скоростями реакций. Таким образом, одинаковая биомасса находится постоянно в зонах с высокой и в дальнейшем низкой скоростью. Благодаря делению общей реакционной емкости создаются зоны как с высокой скоростью преобразования, так и с малыми концентрациями в ходе реакции.

Некоторые технологические варианты станций очистки с аэротенками представлены на рис. 5.16.

Зачастую форма очистного бассейна связана с типом аэрационной системы. Из-за хорошей выработки кислорода (1,4-1,8 кг O₂/(кВт·ч) в промышленных условиях) часто выбирается мелкопузыр-

чатая система нагнетательной аэрации, преимущество которой проявляется, прежде всего, в глубоких очистных бассейнах (большая протяженность действия кислорода).

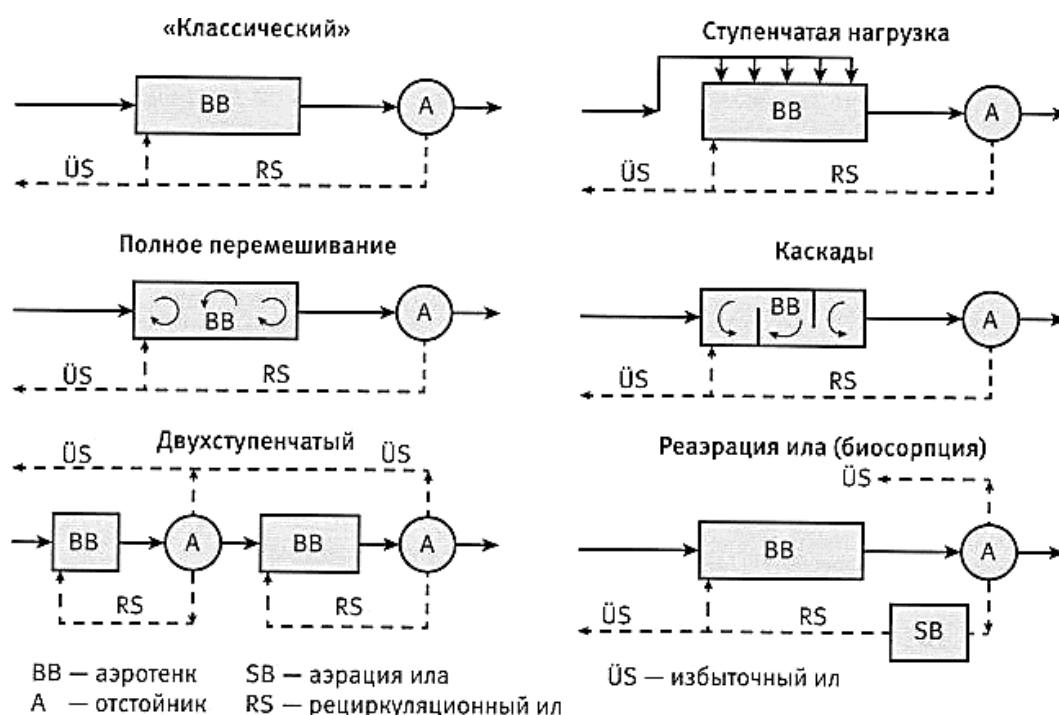


Рис. 5.16. Технологические варианты очистных станций с аэротенками

Неблагоприятным является прямой контакт мембраны аэратора со сточными водами, который приводит из-за проблем с закупоркой и усадкой к частой замене мембран. Эта проблема отсутствует в поверхностных аэраторах, которые в обычном случае приспособлены только для очистных бассейнов глубиной примерно до 4 м. Аэраторы Вентури способствуют очень хорошему перемешиванию, и их основные детали могут располагаться за пределами очистного бассейна. Аэраторы погружного типа часто используются из-за незначительных инвестиций в малых смесительных и уравнивающих резервуарах с малым потреблением кислорода.

Метод очистки с помощью чистого кислорода

В большинстве случаев установки с чистым кислородом представляют собой метод очистки активным илом с помощью поверхностных аэраторов, где вместо воздуха (21 об. % O_2) подается «технический чистый кислород» (98 об. %). Для лучшего использования кислорода

очистные бассейны закрывают и конструируют как каскадные очистные бассейны, рис. 5.17. Чистый кислород может поставляться и производиться на месте с помощью установок адсорбции при переменном давлении (АПД) или в установках по разделению воздуха (в низкотемпературных установках).

Метод очистки чистым кислородом находит применение, если при высококонцентрированных сточных водах требуется только восстановление органических соединений, поэтому установка рассчитана на высокую нагрузку на ил. Чтобы удовлетворять следующую из этого условия высокую потребность в кислороде, положительной может оказаться аэрация чистым кислородом, прежде всего, если из-за возможных проблем с запахом количество отработанного воздуха должно быть незначительным.

В сравнении с общепринятыми установками по очистке активным илом в установке с чистым кислородом может оседать несколько большее количество ила. Экономичность такой установки необходимо все же критически проверить (расход энергии для притока кислорода составляет около 0,25-0,3 кВт/кг O_2 , а для производства кислорода — около 0,4-0,45 кВт/кг O_2).

Метод очистки с особой глубиной и формой реакторов

Вместо того чтобы достичь увеличения производительности очистки в аэротенке путем повышения концентрации биомассы, можно также попытаться повысить активную долю единичных хлопьев активного ила. Ограничивающим фактором активности организмов активного ила является снабжение O_2 внутри хлопьев.

Поскольку этот процесс, по существу, происходит путем диффузии, важную роль играет парциальное давление O_2 в водной фазе. Поэтому, чтобы для лучшего и более экономичного снабжения кислородом использовать возрастающую пропорционально давлению и с увеличивающейся глубиной воды растворимость кислорода, были разработаны высокие узкие реакторы. Благодаря этому нагрузка на ил по БПК₅ при неизменной производительности очистки может повышаться в определенных границах.

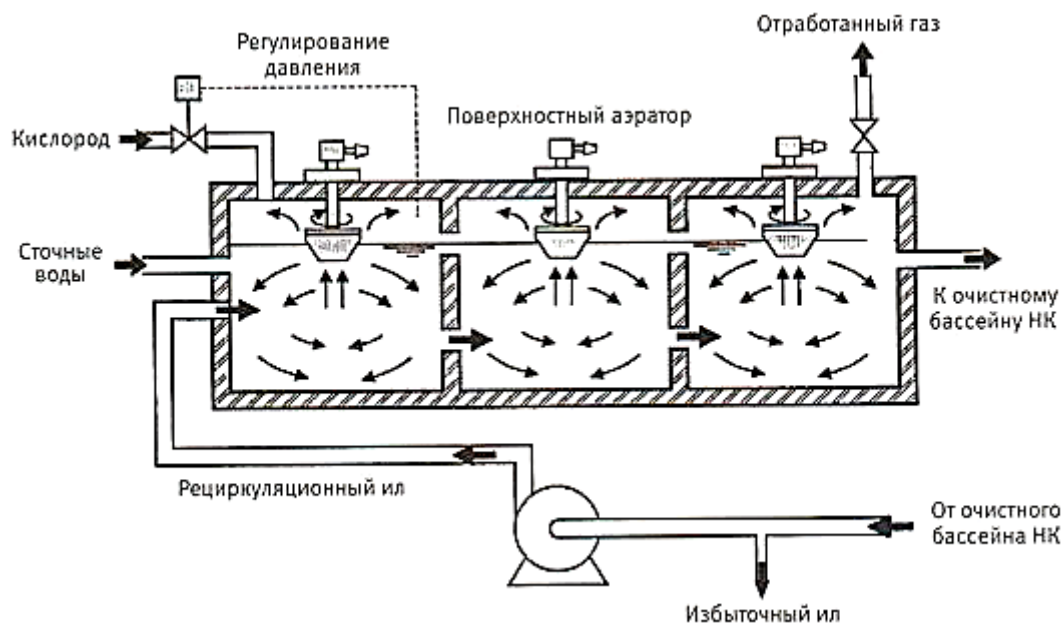


Рис. 5.17. Метод очистки чистым кислородом с тремя каскадными ступенями

От глубины аэротенка в диапазоне от 3,5 до 6 м тенденция движется в сторону увеличения глубины бассейна до 8-12 м, в отдельных случаях и больше. В пользу этого свидетельствует, наряду с более выгодным использованием кислорода, меньшая занимаемая площадь.

Более выгодное использование кислорода и обусловленное этим меньшее потребление энергии являются результатом как большей длины влияния, так и более высокого парциального давления. В противоположность этому стоит повышенное потребление энергии для преодоления большего давления воды.

С увеличивающейся глубиной воды примерно до 17 м максимум повышается выработка кислорода, рис. 5.18.

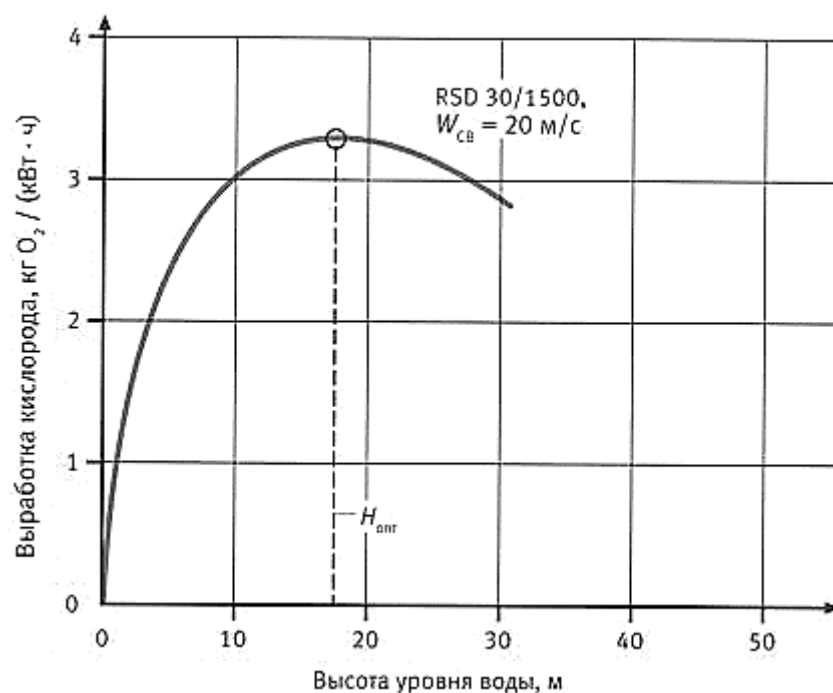


Рис. 5.18. Выработка кислорода в зависимости от высоты уровня воды

При глубоком бассейне необходимо учитывать то, что из-за незначительного притока воздуха сокращенная очистка CO_2 может, кроме всего прочего, стать причиной коррозии, а при смене глубокого аэротенка на мелкий вторичный отстойник в нем могут происходить нежелательные процессы газовыделения, которые могут увеличить вынос ила.

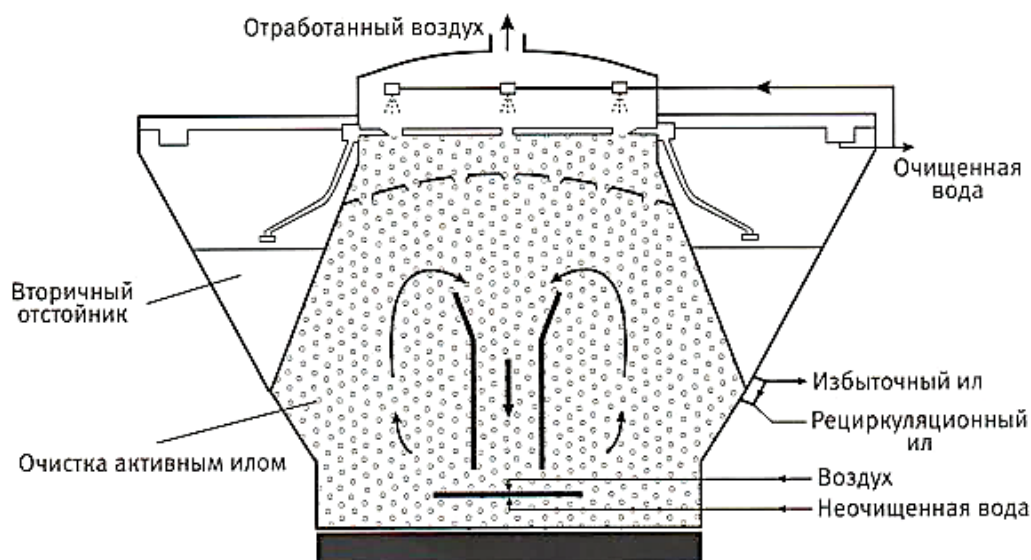


Рис. 5.19. Реактор «Биохох»

Известны особые емкостные конструкции с большой глубиной бассейна фирмы реактор «Биоох» «Байер» (стальной цилиндр высотой 12-30 м с прикрепленным снаружи кольцеобразным вторичным отстойником) и реактор «Биоох» фирмы «Уде», рис. 5.19, 5.20. Обе фирмы используют для аэрации особые впрыскивающие сопла.

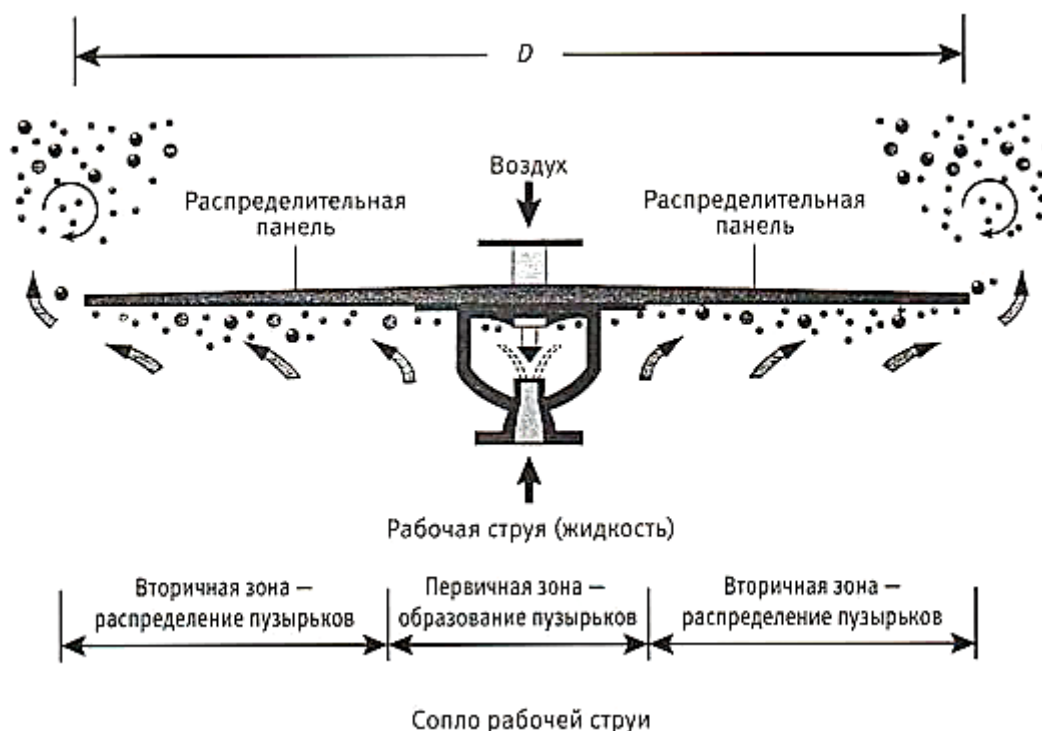


Рис. 5.20. Сопло рабочей струи реактора «Биоох»

Метод глубокого вала

Во внутренней трубе (Бомласотег) сточные воды отводятся вниз и снова текут по внешней трубе (B15ег) вверх. При этом движение воды методом доставки по воздуху производится исключительно путем противодавления, которое является результатом подачи воздуха. По причине большого времени воздействия и высокого давления при этом методе кислород эффективно используется. После начала аэрации во внутренней трубе производится аэрация во внешней трубе примерно на $\frac{1}{3}$ глубины очистного бассейна, что, таким образом, способствует очень хорошему использованию кислорода.

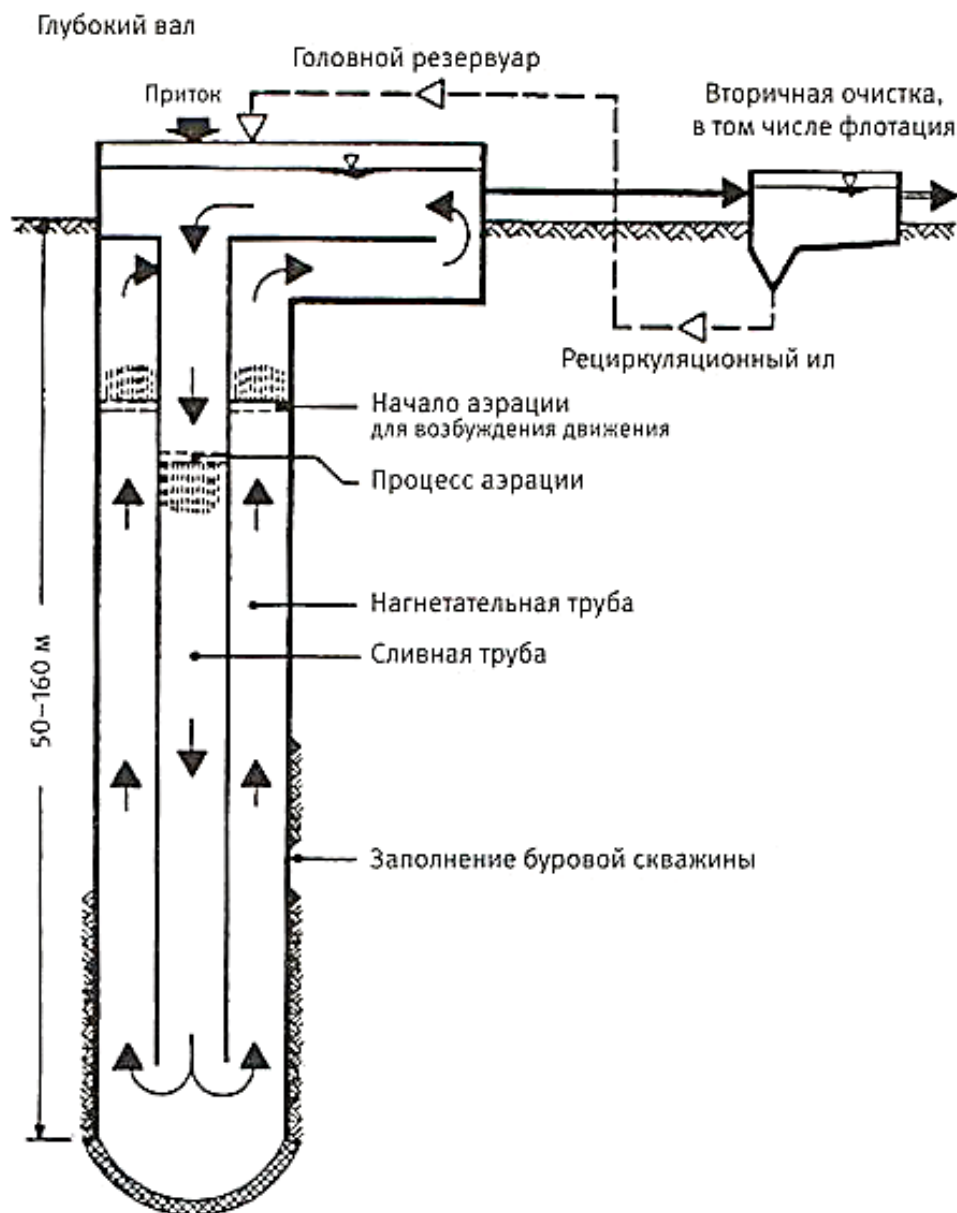


Рис. 5.21. Метод глубокого вала

Преимущества этого метода в сравнении с общепринятыми методами:

- крайне малая занимаемая площадь;
- незначительный расход энергии благодаря эффективному использованию кислорода;
- небольшое количество отработанного воздуха;
- отсутствие охлаждения сточной воды.

Недостатком является, прежде всего, то, что этот метод применим лишь при благоприятных грунтовых условиях.

Метод пакетной обработки

Реактор переменного действия состоит из аккумулирующего резервуара, в котором скапливается поступающая вода, и из одного или нескольких резервуаров РПД, которые периодически наполняются. Если аккумулирующий резервуар оборудован устройством для удаления осадка, то он может выполнять функцию первичного отстойника. В резервуарах РПД в одном бассейне одна за другой происходят все биологические реакции, а также процесс осаждения.

Протекание процесса характеризуется временной последовательностью фазы наполнения, реакции, седиментации и опустошения, рис. 5.22. Для элиминации азота имеет смысл подавать сточные воды в течение одного цикла несколькими партиями. С поступающими сточными водами денитрифицируется нитрат, образованный из предыдущего поступления сточных вод. Спуск воды происходит до осадка — осажденного активного ила.

Преимущество этого метода состоит в том, что протекание процесса не зависит от влияния гидравлических колебаний притока воды. Это значит, что соответствующие частичные процессы длятся так долго, пока не будет достигнута цель очистки.

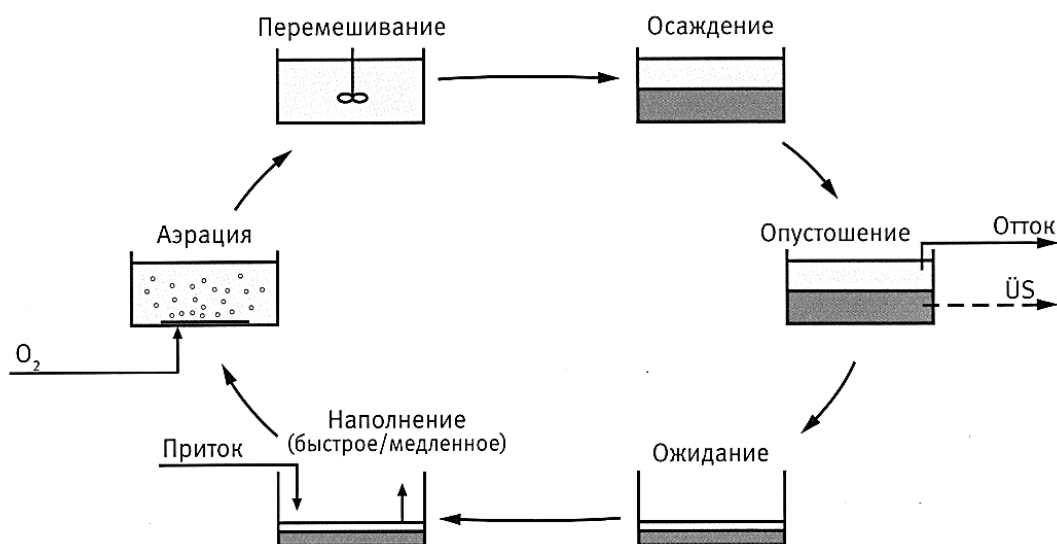


Рис. 5.22. Схематичное представление цикла РПД

Однако это требует дорогостоящего и стабильного управления производственным процессом. Еще одним преимуществом является

то, что путем толчкового наполнения образуется хорошо расщепляемый активный ил, поэтому данный метод подходит и для промышленных сточных вод, склонных к образованию вспухающего ила.

В качестве недостатка этого метода следует назвать необходимость снабжать все бассейны всем требуемым техническим оборудованием, например достаточно мощным аэратором. Неэкономичным метод становится, прежде всего, тогда, когда для очень сильно колеблющегося количества сточных вод требуется слишком большой, предварительно подключенный аккумулирующий резервуар.

В принципе установки РПД можно рассчитывать аналогично установкам с постоянным протоком, при этом дополнительно должно приниматься во внимание время заполнения, седиментации и отведения. Поскольку содержание СВ в РПД изменяется с уровнем заполнения, необходимо постоянно соотносить его с определенным объемом.

Здесь, верно, следующее отношение:

$$V_{\text{аэр}} \text{СВ}_{\text{аэр}} \frac{t_u}{t_p} = nV_{\text{min}} \text{СВ}_{\text{min}} = nV_p \text{СВ}_p, \quad (5.12)$$

где t_u , – продолжительность одного цикла;

t_p , – продолжительность фазы реакции (без периода наполнения, осаждения, опустошения, ожидания);

V_{min} – минимальный объем для удержания необходимой иловой массы;

nV_p – максимальный объем;

n – количество очистных бассейнов.

Выбор содержания СВ При выборе содержания СВ в минимальном объеме необходимо обеспечить гав минимальном объеме рантированное отделение ила от воды во время фазы отвода осветленной воды. Уровень осветленной воды должен составлять минимум 0,40 и 0,15 м высокого уровня воды (глубины воды, HW).

Метод без общепринятой вторичной очистки

Альтернативой для отделения биомасс в обычном вторичном отстойнике являются метод флотации и мембранный метод.

Метод флотации Эти альтернативы интересны, прежде всего, тогда, когда активный ил из-за своей тягучести плохо отделяется и (или) когда в аэротенках должна поддерживаться повышенная концентрация биомассы. Метод флотации позволяет повышать биомассу в сравнении

с общепринятым методом очистки сточных вод активным илом на коэффициент 2-3. При мембранном методе содержание СВ увеличивается на 10-20 г/л (в сравнении с общепринятыми 3-5 г/л), причем необходимый объем аэротенка сокращается в равном соотношении.

Еще одно преимущество – меньшая занимаемая площадь для отделения биомассы. Для флотации требуется около половины всей поверхности вторичного отстойника, для мембранного метода – существенно меньше, при этом методы микрофльтрации можно частично или полностью интегрировать в аэротенк.

Во время флотации отделение и сгущение активного ила происходит не во вторичном отстойнике, а во флотационной установке. Флотационная установка по конструкции идентична часто используемым флотационным установкам для сгущения избытка ила. При этом положительно зарекомендовал себя метод напорной флотации давлением с переработанным потоком (см. также разд. 3.3 «Флотация и осаждение легких жидкостей, жиров и эмульсий»).

Наряду с вышеназванными преимуществами применение флотационной установки целесообразно в том случае, когда запланированы глубокие аэротенки, поскольку при методе флотации выделение газа, являющееся результатом замены глубокого аэротенка и мелкого вторичного отстойника, не доставляет никаких проблем. Недостатком являются увеличенные в сравнении с вторичным отстойником затраты на строительство и эксплуатацию (потребление энергии около 0,08-0,15 кВт·ч/м³), а также повышенные производственные расходы.

В биологическом мембранном методе различают метод ультрафльтрации метод микрофльтрации (см. также разд. 3.5 «Мембранная технология»).

В методе биомембрата, рис. 5.25, аэротенк эксплуатируется с избыточным давлением (в основном 3 бар), отделение биомассы и рециркуляция происходят посредством ультрафльтрации. Следующими преимуществами наряду с повышенной концентрацией биомассы, полным удерживанием нитрификаторов и заменой вторичной очистки являются наибольшая стерильность и обусловленное повышенным давлением увеличенное использование кислорода.

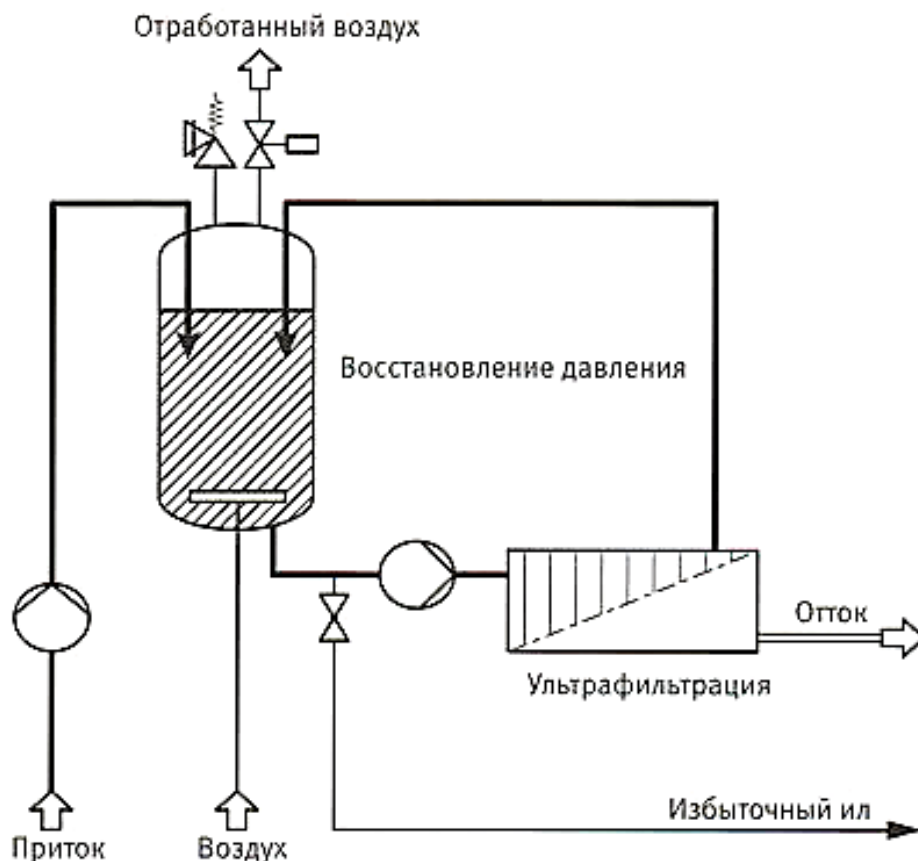


Рис. 5.25. Метод биомембран

Из-за высокого расхода энергии для мембраны ультрафильтрации (из-за необходимого высокого давления и высокой скорости переработки требуется $5-10 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$) этот метод применяется в случае особых требований и высоких концентраций. Все же проблематичным является разрушение структуры хлопьев путем срезающих усилий при накачке.

Это сопровождается частичным ограничением активности микроорганизмов. Преимущества мембранного метода состоят в небольшой выработке избыточного ила и небольшой нагрузке на ил. Из-за разрушения структуры хлопьев увеличивается показатель лизиса биомассы.



Рис. 5.24. Метод Кубота

Интересной альтернативой ультрафильтрации является применение микрофильтрации. Речь идет о погруженных в аэротенк мембранных пластинах или о трубчатых модулях, которые при пониженном давлении 0,05-0,4 бар отбирают очищенную от ила воду (рис. 5.24). Необходимая скорость отбора воды для мембран достигается благодаря установленным под мембранными пластинами аэрационным элементами. При расходе энергии необходимо учитывать, с одной стороны, энергию для разделения (потеря напора) биомассы и воды и, с другой стороны, дополнительную энергию для применения средне- или крупнопузырчатой аэрации, которая обеспечивает необходимую очистку мембран (скорость перетекания).

1.17.3. Аэробные методы с неподвижной биомассой

Первые концепции биологической очистки сточных вод в XIX в. Базировались на методике биопленки (метод с неподвижной, прочно закрепленной биомассой). Прежде всего широко распространились разработанные в 1893 г. Корбеттом биофильтры.

Сегодняшние требования к биологической очистке сточных вод включают несколько различных ступеней очистки, которые часто могут протекать лишь с помощью специальных групп микроорганизмов, обладающих, кроме того, низкой скоростью роста (например, нитрификаторов).

Поскольку использование методики биопленки позволяет полную иммобилизацию этих организмов и вместе с тем максимизацию числа организмов в реакторе, то сегодня этот метод актуален и ему приписывается высокий потенциал развития.

Методика биопленки в сравнении с методами очистки сточных вод активным илом имеет определенные преимущества и недостатки, при этом различные биопленочные системы обладают дополнительными особыми преимуществами и недостатками.

Общие преимущества биопленочной методики:

- биопленочные методики часто обеспечивают более высокое содержание микроорганизмов в реакторе.
- медленно растущие микроорганизмы (например, нитрификаторы) проще размножаются.
- не требуется дополнительного деления на фазы для рециркуляции биомассы в реактор.
- неподвижные микроорганизмы лучше приспосабливаются к среде. Процессы очистки протекают более стабильно.

Недостатки:

- по причине малой продолжительности контакта столкновения количества и концентрации хуже буферируются.
- чтобы избежать засорения, требуется более эффективное первичное осветление, а при необходимости – даже предосаждение.
- при погруженных биопленках требуется более высокая концентрация O_2 (в большинстве случаев 4–6 вместо 2 мг/л) для обеспечения достаточной транспортировки веществ путем диффузии.

Аэробные биопленочные методики делятся следующим образом, табл. 5.5. Принципиальные конструкции названных биореакторов показаны на рис. 5.25.

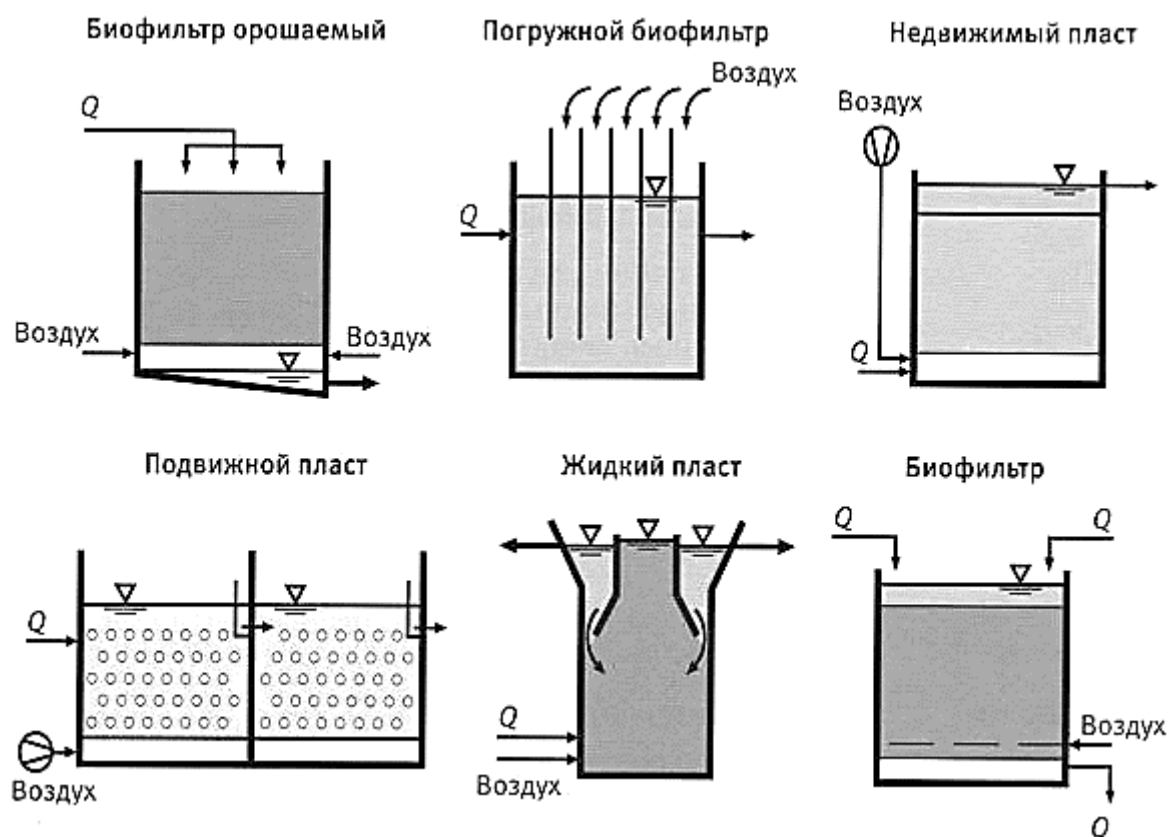


Рис. 5.25. Типы биофильтров

При очистке промышленных сточных вод часто применяются орошаемые биофильтры, которые в большинстве случаев эксплуатируются при большой нагрузке. Другие названные методы редко встречаются в промышленной сфере. Методы псевдооживления находят применение главным образом в промышленной сфере. Поэтому представление методов ограничивается описанием орошаемых биофильтров и реакторов с псевдооживленным слоем.

Орошаемый биофильтр

Под орошаемым биофильтром понимается резервуар, полностью заполненный наполнителем. Сточная вода распределяется по плоскости с помощью вращающегося оросителя и далее течет через наполнитель. Кислородом биомасса обеспечивается из наружного воздуха, в большинстве случаев – без технических приемов.

Установка биологической очистки включает орошаемый биофильтр, подающий насос и вторичный отстойник или сетчатое фильтрующее устройство для отделения образуемого биофильтрового ила,

представляющего крупные хлопья, рис. 5.26. Для повышения эффективности очистки применяется рециркуляция, которая проводится частично в циклическом, частично в постоянном режиме. Хотя к орошаемому биофильтру нередко подключен вторичный отстойник, его наличие не обязательно, как в методе очистки активным илом.

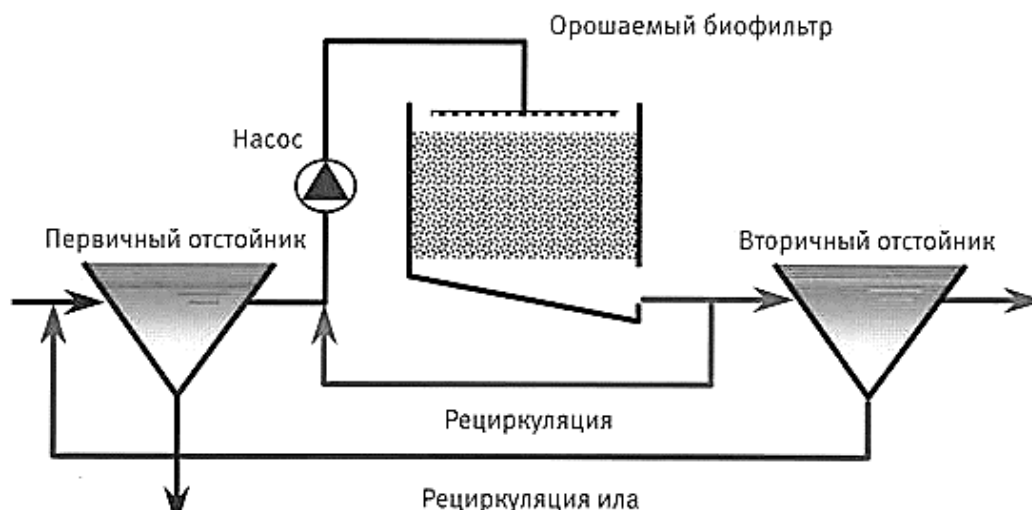


Рис. 5.26. Технологическая схема установки орошаемого биофильтра

Орошаемые биофильтры делятся по цели очистки:

- орошаемый биофильтр большой нагрузки только для элиминации ХПК/БПК;
- орошаемый биофильтр для одновременной элиминации ХПК/БИПК и нитрификации;
- орошаемый биофильтр для нитрификации (чаще всего как вторая ступень);
- орошаемый биофильтр для денитрификации.

В промышленности чаще всего применяются оборудованные пластмассовыми элементами орошаемые биофильтры большой нагрузки только в целях элиминации ХПК/БПК. Если речь не идет о свободных от твердых веществ сточных водах, то требуется предварительная сетчатая фильтрация для уменьшения опасности засорения. Необходимо также обращать внимание на эффективную очистку сточных вод от твердых веществ. Решающим преимуществом метода очистки с помощью орошаемого биофильтра является высокая экономичность при высокой концентрации сточных вод, поскольку для со-

кращения органических примесей не требуется снабжение техническим кислородом, а только энергия для насосов. При проблемах с запахом рекомендуется использовать рециркуляцию воздуха с частичной вытяжкой воздуха, который очищается в биофилтре.

После этого поверхностная нагрузка $q_{\text{Аф}}$ должна составлять в наполненном крошкой биофилтре минимум 0,4 м/ч, а в биофилтрах с искусственным наполнителем – минимум 0,8 м/ч относительно $Q_t(1 + RV_t)$. Для расчета параметров наполненного крошкой орошаемого биофилтра и биофилтра с искусственным наполнителем со специфической теоретической поверхностью минимум $100 \text{ м}^2/\text{м}^3$ для расщепления углеродных соединений дается гидравлическая нагрузка: гидравлическая нагрузка БПК₅ $V_{\text{р,БПК}} < 0,4 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$.

В биофилтрах с искусственным наполнителем со специфической теоретической поверхностью больше $100 \text{ м}^2/\text{м}^3$ возможна гидравлическая нагрузка БПК₅ более $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$. Однако это требует обоснования путем экспериментов или известного опыта. Специфическая теоретическая поверхность более $150 \text{ м}^2/\text{м}^3$ и гидравлическая нагрузка БПК. более $0,6 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$ непригодны для дальнейшего улучшения производительности. |

Указывается на то, что уже при специфической теоретической поверхности около $150 \text{ м}^2/\text{м}^3$ могут появляться засоры.

Высота наполнения биофилтра до 4 м является оправданной для биофилтра, наполненного крошкой. При использовании искусственного наполнителя с высокой вертикальной проницаемостью рекомендуется большая высота наполнения.

Для расчета параметров биофилтра большой нагрузки для промышленных сточных вод не существует единых расчетных подходов. На практике при хорошо расщепляемых органических сточных водах гидравлическая нагрузка БПК₅ составляет около 2-5 кг БПК₅ /($\text{м}^3 \cdot \text{сут}$), вместе с этим достигается КПД БПК около 60-80% (рис. 5.27).

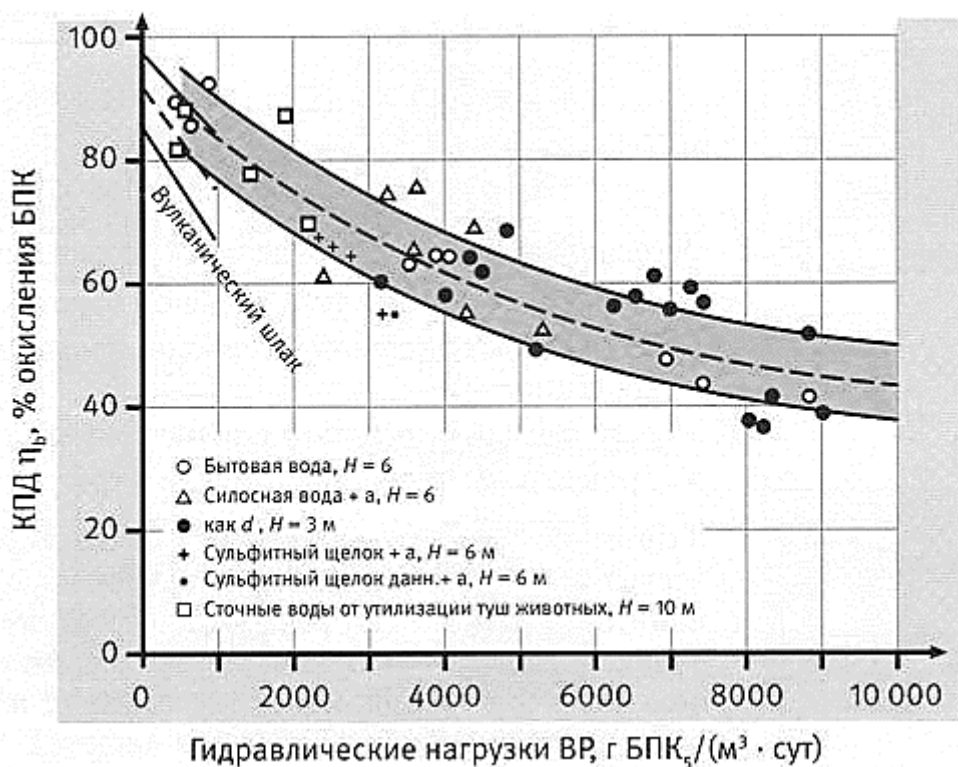


Рис. 5.27. Диаграмма производительности биофильтра большой нагрузки

Реактор с псевдооживленным слоем

Производительность расщепления в аэротенке напрямую зависит от соотношения нагрузки по БПК₅ к биомассе (нагрузка на ил по БПК₅, $V_{св}$). Благодаря увеличению концентрации биомассы в аэротенке может повыситься эффективность метода при одинаковых объемах очистного бассейна (гидравлическая нагрузка БПК₅, $V_{св}$ и, соответственно, одинаковом времени протекания. Однако это увеличение концентрации свободно осаждающихся хлопьев активного ила в аэротенке ограничено возможностью отделения и сгущения хлопьеобразного материала при вторичной очистке и обратной подаче в аэротенк.

Поэтому предлагается создавать организм в очистном бассейне поверхности для роста, на которые они прилипают и не включаются в цикл вторичный отстойник → рециркуляционный ил → аэротенк. Таким образом в самом широком смысле в одном бассейне создаются два биоценоза, которые могут отличаться особенно временем жизни поколений, т. е. возраст ила произрастающих бактерий может быть значительно выше, чем возраст свободных хлопьев в активном иле.

Это может быть особенно интересно с точки зрения процессов обмена веществ, на которые влияют медленно растущие организмы, как, например, нитрификация или превращение трудно расщепляемых субстратов. Однако эти варианты метода могут успешно применяться лишь в том случае, когда выполняются следующие предпосылки. Растущие организмы также должны быть в достаточной мере снабжены кислородом и питательными веществами и очищены от продуктов расщепления обмена веществ.

Поэтому поверхности для роста должны постоянно свободно омываться смесью сточных вод и ила, т.е. нельзя допускать засорений содержащимися в механически очищенных сточных водах твердыми веществами (особенно текстильными волокнами). С другой стороны, новые поколения организмов не должны постоянно удаляться под действием срезающих усилий или силы трения.

Реакторы с псевдоожиженным слоем – это реакторы больших нагрузок, в которых очищение происходит неподвижными микроорганизмами, вырастающими на маленьких, свободнодвигающихся материалах подложки. Материал подложки с большим удельным весом (например, кварцевый песок, пемза) постоянно удерживается благодаря наполнению сточными водами в псевдоожиженном состоянии. Чтобы достичь необходимой степени очистки, дополнительно организуют рециркуляцию.

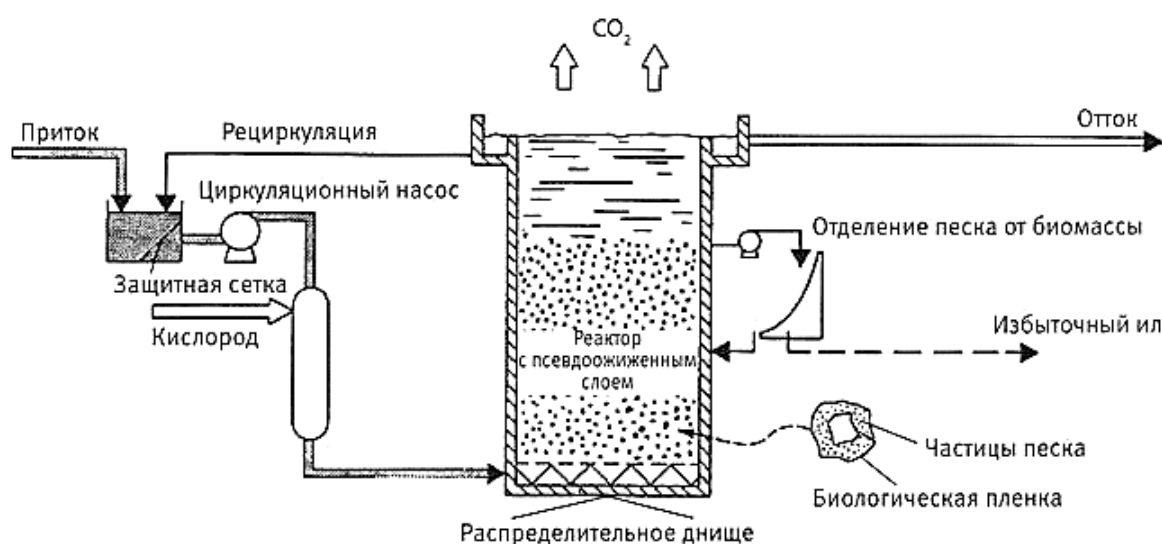


Рис. 5.28. Технологическая схема установки

Материалы подложки следует выбирать таким образом, чтобы они обладали большой фиксирующей способностью и псевдоожигались при незначительном расширении слоя с небольшой массой рециркуляции. Высокая плотность микроорганизмов часто требует аэрации чистым кислородом. Избыточная биомасса в реакторах некоторых типов отсоединяется от материала подложки и выводится в отдельную емкость (рис. 5.28). Другие реакторы оснащены успокоительной зоной, находящейся в крышке корпуса реактора, в которой скорость потока настолько сокращается, что материал подложки опускается вниз, в то время как биомасса с более легким удельным весом выводится (рис. 5.29).

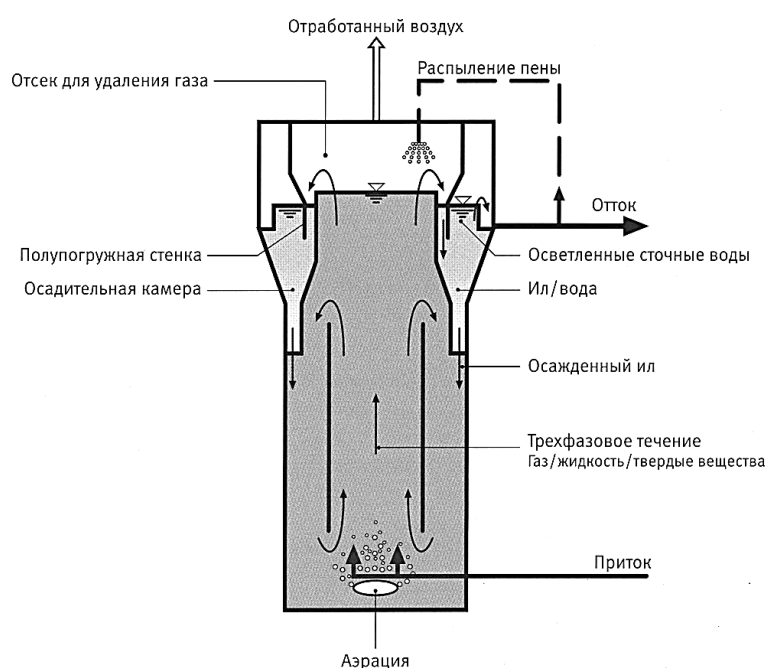


Рис. 5.29. Конструкция реактора

Основное преимущество метода с псевдоожженным слоем заключается в высоких концентрациях биомассы в реакторе (до 30 г СВ/л), которые допускают высокие гидравлические нагрузки (до 10 кг ХПК/м³) и вместе с тем небольшие габариты реактора. Из-за узкой конструкции потребность в поверхностях основания исключительно небольшая. Следующее преимущество – незначительный прирост ила. Этим преимуществам противопоставлены повышенные аппаратные и производственные затраты при использовании реактора больших нагрузок. Частично сложной оказывается регу-

лировка правильной скорости восходящего потока (доля песочных частиц с незначительной плотностью биопленки требует для псевдоожижения более высокой скорости восходящего потока, чем частицы песка с высокой плотностью пленки).

1.18. Анаэробное биологическое превращение веществ

Анаэробные биологические методы очистки делятся на метод анаэробной стабилизации ила (сбраживание ила) и метод анаэробной очистки сточных вод. Дальнейшее рассмотрение ограничивается методом анаэробной очистки сточных вод, значение которого в недавнее время значительно возросло.

Чтобы достичь эффективного удаления органических загрязнений с помощью анаэробного метода, необходимо добиться как можно более полного их превращения в биогаз (CH_4 , CO_2). Такое расщепление органических веществ в неорганические конечные продукты и метан осуществляется в несколько этапов при участии различных групп бактерий.

Анаэробное расщепление полимерных веществ до метана, рис. 5.30, происходит за четыре стадии.

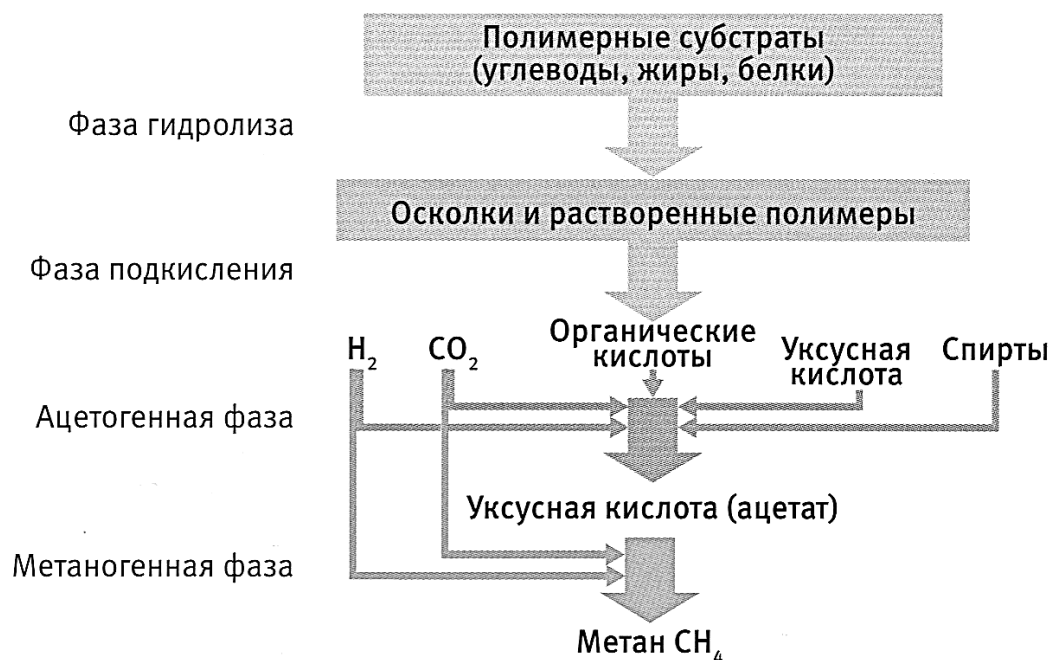


Рис. 5.30. Схема анаэробного обмена веществ

1. В фазе гидролиза высокомолекулярные, часто не растворенные вещества должны быть превращены с помощью ферментов в растворенные структурные звенья.

2. В фазе подкисления из различных факультативных или обязательно анаэробных видов бактерий формируются короткие цепочки органических кислот (например, масляной, пропионовой, уксусной), спирты, H_2 и CO_2 . Из этих промежуточных продуктов бактерии метана могут непосредственно превратить в метан только уксусную кислоту, H_2 и CO_2 .

3. Сформированные на второй ступени расщепления органические кислоты и спирты в ацетогенной фазе должны быть превращены в уксусную кислоту. Ацетогенные бактерии по реакционно-кинетическим свойствам тесно связаны с бактериями метана.

4. В метаногенной фазе, главным образом из уксусной кислоты, H_2 и CO_2 , формируется метан.

Поскольку бактерии метана, также взаимодействуя с ацетогенными бактериями, могут использовать в качестве субстрата только низшие органические кислоты (муравьиную и уксусную), а также CO_2 , H_2 и метанол, то гидролиз и подкисление примесей сточных вод являются важными предпосылками для высокого КПД анаэробной очистки. Это действует независимо от того, отделяются ли пространственно гидролиз и подкисление (двухступенчатый метод) от метановой ступени, или имеется только один реактор (одноступенчатый метод).

1.18.1. Обмен веществ, биологический рост

Анаэробное расщепление состоит, как показано, из нескольких единичных ступеней обмена веществ для различных бактерий, каждая из которых характеризуется специфическим ростом и соответствующей реакционной кинетикой. Так, в зависимости от примесей сточных вод различные фазы расщепления могут быть ограничены по скорости.

В богатых твердыми веществами сточных водах скорость расщепления определяет гидролиз. Напротив, при преимущественно расщепленных органических примесях из-за низких, в сравнении с другими группами бактерий, показателей роста определяющими являются

ацетогенная фаза и использующий ацетат метаногенез. Фаза подкисления, как правило, протекает без проблем. Сравнение показателей роста организмов, участвующих в различных процессах расщепления, приведено в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Сравнение кинетических параметров микроорганизмов

Расщепление	Полупостоянное значение K_s для субстрата, г ХПК/м ³	Показатель роста $\mu_{\max}$, л/сут	Показатель гибели b , 1/сут
Подкисление глюкозы, мезофильные бактерии	200	5,0	—
Образование метана из ацетата	11-930	0,05-1,4	0,004-0,0036
Гетеротрофное аэробное расщепление углерода при 20 °С	5-30	4-8	0,1-0,2
Нитрификация при 20 °С	—	0,6-0,9	0,03-0,06

Существенная разница между аэробным и анаэробным расщеплением органических субстратов заключается в количестве энергии, которую микроорганизмы могут получить из процесса обмена веществ. Как уже было описано, например, из одного моля глюкозы потенциально можно получить 2870 кДж/моль энергии.

При аэробном расщеплении одного моля глюкозы можно получить 40% АТФ, соответственно, 38 моль (60% высвобождается в качестве тепла). Количество полученной для организмов энергии при соответствующем анаэробном расщеплении составляет только 2 моль АТФ.

Оставшаяся энергия преобразуется в биогаз, из которого может быть произведен энергетически ценный конечный продукт. Соответственно в сравнении с аэробным процессом производится меньше биомассы (ила).

Важное влияние на анаэробный процесс расщепления оказывают:

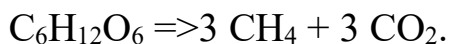
- концентрация субстрата;

- примеси сточных вод;
- температура;
- показатель pH.

Концентрация субстрата

В противоположность аэробным установкам анаэробные реакторы рассчитываются не по ВПК₅ или количеству азота, а по количеству ХПК. Поскольку ХПК охватывает также и окисляемые неорганические соединения (например, сульфиды), то ХПК дает некоторую «неточность». Основной характеристикой сточных вод здесь также является БПК₅, а соотношение ХПК/БПК – ориентировочным значением способных к расщеплению загрязнений. Не только вид способных к расщеплению загрязнений, но и их концентрация имеет большое значение для выбора метода и расчета параметров.

Расчетный пример 5.6 (стехиометрия, удельный выход газа)



1 моль глюкозы $\Rightarrow$ 3 моль метана.

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$: молекулярный вес = $6 \cdot 12 + 12 \cdot 1 + 6 \cdot 16 = 180$ г/моль.

CH_4 : молекулярный вес = $12 + 4 \cdot 1 = 16$ г/моль,
плотность: 0,72 г/л, $\Rightarrow$ объем 22,2 л/моль.

Ссылаясь на вышеприведенное уравнение: $3 \cdot 22,2 = 66,6$ л CH_4 ,
 $\Rightarrow$ теоретическая удельная выработка:

$p_{\text{CH}_4} = 66,6 \text{ л CH}_4 / 180 \text{ г органической субстанции} = 370 \text{ мл/г орг. в-в} = 0,37 \text{ м}^3/\text{кг}.$

С увеличивающейся концентрацией (например, ХПК > 5000 мг/л) могут возникнуть следующие проблемы:

- опасность ингибирующей концентрации (например, из-за создаваемых в процессе органических кислот);
- проблемы с перемешиванием;
- реакции осаждения;
- отделения газа и твердых веществ;
- проблемы с запахом.

Примеси сточных вод

Необходимое соотношение питательных веществ для анаэробного расщепления также зависит от характеристики сточных вод. Биологический прирост, например, в сточных водах, содержащих углеводы, примерно в три раза выше, чем в сточных водах, в которых преобладают белки или жиры. Соответственно выше и потребление питательных веществ. В качестве исходных данных даются следующие необходимые соотношения питательных веществ:

$\text{ХПК}_{\text{разлож}}: \text{N}: \text{P}: \text{S} = 300: 5: 1: 1$ (углеводы);

$\text{ХПК}_{\text{разлож}}: \text{N}: \text{P}: \text{S} = 800: 5: 1: 1$ (жирные кислоты и белки).

В малонагруженных реакторах средняя минимальная потребность составляет $\text{ХПК}_{\text{разлож}}: \text{N}: \text{P} = 1000: 5: 1$.

Все вредные вещества, как правило, ведут в первую очередь к ингибированию бактерий метана. Эта небогатая разнообразием видов популяция реагирует естественным образом более чувствительно на внешние влияния, чем богатая видами смешанная популяция фазы гидролиза и подкисления. Поэтому промежуточные продукты, сформированные на первой ступени расщепления, концентрируются вследствие ингибирования бактерий метана.

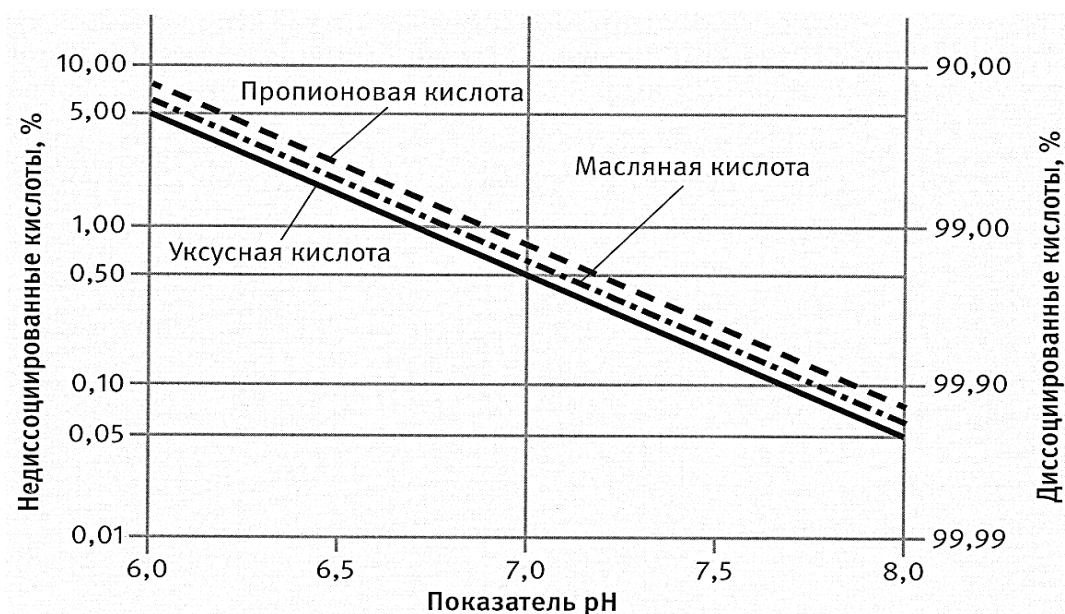


Рис. 5.31. Процентная доля недиссоциированных токсичных кислот в зависимости от показателя pH

Тем самым увеличивается содержание органических кислот, благодаря чему, в зависимости от имеющейся буферизирующей способности, начинается уменьшение показателя рН.

Из-за уменьшения показателя рН дополнительно увеличивается процентное соотношение токсически действующих недиссоциированных органических кислот, рис. 5.31.

В болотном газе возрастает процентная доля CO_2 , а производство газа в целом снижается. На практике в этом случае говорят о превращении процесса разложения в кислое брожение.

При определении предельных величин для токсичных веществ в реакторах, предназначенных для анаэробной очистки сточных вод, необходимо учитывать то, что бактерии могут привыкнуть к неизменным концентрациям в определенных границах (адаптация), а, с другой стороны, также и незначительные концентрации различных ядовитых веществ при одновременном наличии могут увеличиться под их влиянием. Поэтому не могут быть определены токсичные или ингибирующие предельные величины, а только предельные концентрации, при превышении которых субстанции в определенных условиях оказывают ингибирующее влияние. Такая концентрация зависит от состава популяции и от адаптации смешанного биоценоза.

Ингибирующее влияние оказывают только растворенные субстанции. Поэтому химические реакции осаждения во время метанового брожения, которое из-за существующих H_2S и CO_2 приводит к образованию труднорастворимых сульфидов металла и карбонатов, оказывают обезвреживающее влияние на все тяжелые металлы (за исключением хрома). В табл. 5.7 указаны важнейшие для анаэробного процесса расщепления тяжелые металлы, которые в небольших концентрациях часто требуются и как микроэлементы. Отсутствие микроэлементов в сточных водах (особенно Co , Ni , Se) приводит к ингибированию анаэробного расщепления.

Особый вид помех может встречаться из-за введения сульфатов (например, гипса). В анаэробной среде сульфаты сокращаются с помощью десульфурикаторов до сульфидов или, в зависимости от показателя рН, до H_2S . Анаэробный процесс тем самым дважды нарушается. С одной стороны, сокращение сульфатов требует водорода, который не поддается формированию метана. С другой стороны, сформированный

H_2S влияет напрямую на бактерии метана как яд. Токсично влияет недиссоциированный H_2S , который имеется в жидкости (реактор) в зависимости от показателя pH.

Чем больше снижается показатель pH, тем токсичнее влияет имеющийся общий сульфид, поскольку доля недиссоциированного сульфида возрастает, рис. 5.32.

Таблица 5.7

**Ингибирующие концентрации различных металлов
в жидкой фазе содержимого реактора**

Вещество	Ингибирующая или токсичная концентрация, мг/л	Благоприятная концентрация, мг/л
Fe	—	1-10 (50-150 для образования гранул)
Cr	28-200	—
Ni	50-200	0,005-0,5
Cu	5-100	—
Zn	3-100	—
Cd	70	—
Pb	8-30	—
Na	5000-14 000	—
K	2500-5000	—
Ca	2500- 7000	50-150
Mg	1000-1500	—

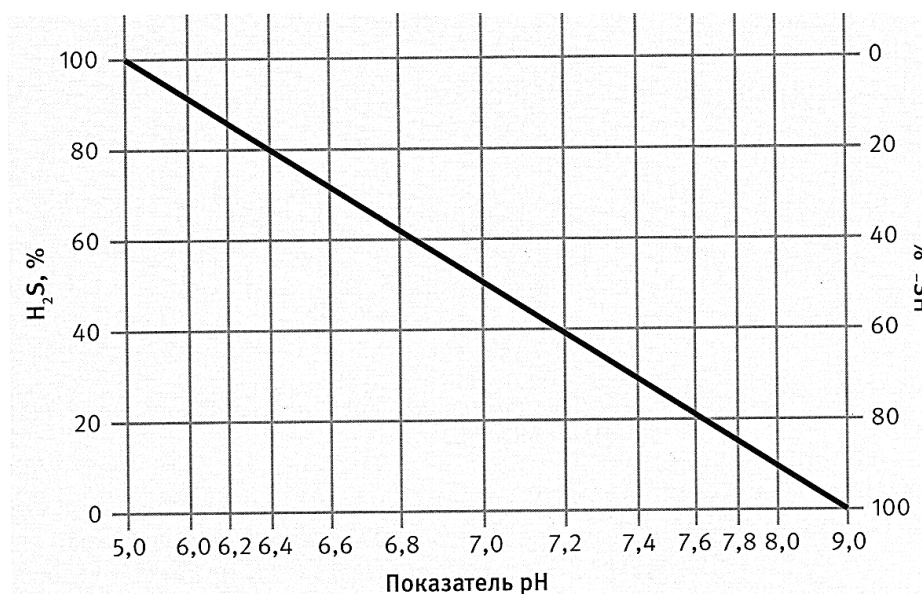
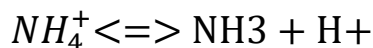


Рис. 5.32. Процентная доля недиссоциированного токсичного H_2S в зависимости от показателя pH

Самый надежный эксплуатационный параметр для контроля токсичности H_2S – это содержание H_2S в газе.

Аммоний играет важную роль как поставщик питательных веществ для роста бактерий. Очень высокие концентрации аммония, которые могут возникнуть путем высвобождения аммония из органических соединений азота, влияют на ингибирование формирования метана.

Также и в содержании аммония недиссоциированная доля (NH_3) обуславливает токсичное влияние. Химическое равновесие сильно зависит от показателя рН. В концентрациях NH_4-N до 3000 мг/л при рН = 7 еще не наступает ингибирование, в то время как при рН = 8 даже концентрации до 1000 мг/л оказывают ингибирующее воздействие.



Показатель рН

Расщепление органических кислот в метановой фазе приводит к увеличению показателя рН. Если из-за перегрузки системы или токсичных веществ превышает производительность образования метана, то происходит накопление продуктов расщепления гораздо более производительных кислотообразующих бактерий, что может вызвать «опрокидывание» процесса.

Накапливание органических кислот приводит к снижению показателя рН, к сниженному производству газа, к увеличению содержания CO_2 в биогазе, а также к увеличению восстановительно-окислительного потенциала.

Очень легко и быстро определяемый эксплуатационный параметр представляет спектр кислот в процессе действия реактора. С помощью газовой хроматографии с незначительными расходами возможно определить концентрацию трех важных компонентов – уксусной, пропионовой и масляной кислот.

Как абсолютная измеряемая величина, так и, прежде всего, ее изменение со временем дают хорошее представление о микробиологическом «климате». Это одинаково действует как для окисляющего реактора, так и для метанового. Особенно в метановом реакторе внезапное увеличение концентраций пропионовой кислоты является точным знаком начинающегося неравновесия между выбором кислот и метанизирующей производительностью.

Температура

Метановые реакторы обычно эксплуатируются мезофильно при температуре от 33 до 38 °С, поскольку для большинства метановых бактерий оптимальная температура находится в пределах 30-45 °С. Активность метановых бактерий при температуре от 5 до 15 °С настолько мала, что в среднероссийском климате анаэробная очистка относительно мало концентрированных сточных вод, таких как бытовые сточные воды, не выгодна.

1.18.2. Структура анаэробного активного ила

В анаэробном превращении высокомолекулярных субстратов участвуют многие группы организмов в различных фазах расщепления. Фазы гидролиза и подкисления связаны между собой, поскольку бактерии в процессе расщепления полностью зависят друг от друга. Подобным образом сосуществуют микроорганизмы ацетогенной и метаногенной фаз. Поэтому структура ила различается по фазе расщепления, а также по составу сточных вод и методу очистки.

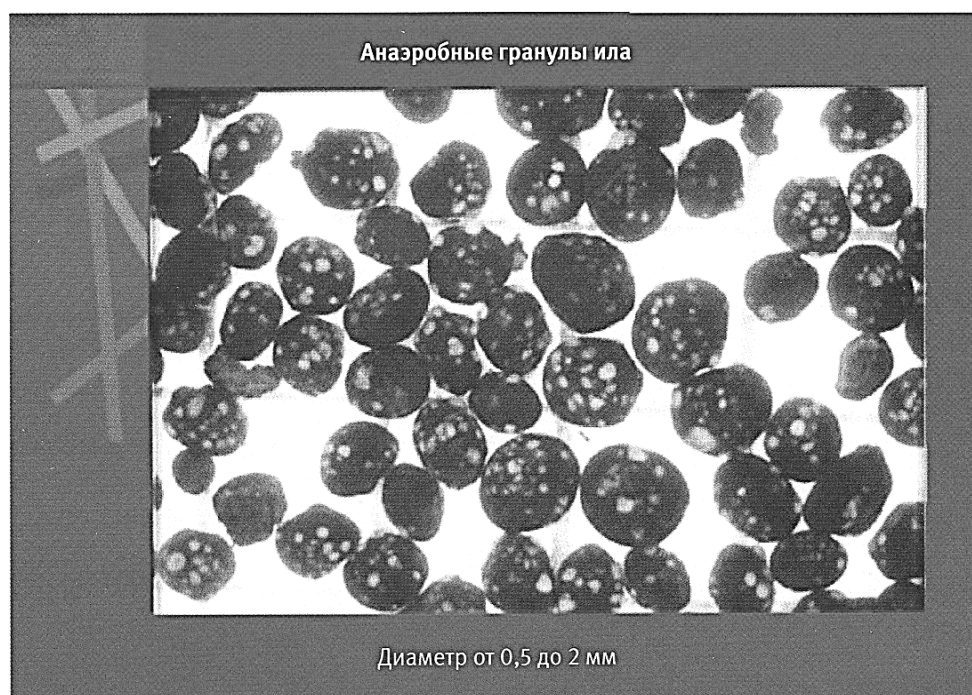


Рис. 5.33. Гранулы из реактора

Вместо хлопьеобразного активного ила, например, в реакторе UASB (анаэробного слоя осадка в восходящем потоке) достигается

формирование гранул. Гранулы – это зернистые скопления микроорганизмов диаметром от 0,5 до 2,3 мм с особым насыщением бактериями метана, рис. 5.33. Они легко отделяются от очищенных сточных вод.

В работе описывается трехслойное строение гранул:

- на поверхности ближней зоны преобладают подкисленные бактерии;
- во втором слое поселяются главным образом ацетогенные бактерии и потребляющие H_2 бактерии метана;
- ядро гранул образуют использующие уксусную кислоту бактерии метана. В ядре гранулы находится множество полостей и просветов, так что даже в середине можно найти еще одну активную биомассу. Растрескавшаяся внутренняя структура возникает из-за фумигации сформированного биогаза, волокнистой структуры и автолиза бактерий (минерализованные участки).

1.19. Анаэробные реакторы

Указания по расчету параметров

Области применения анаэробной очистки сточных вод ограничиваются в основном относительно сильно загрязненными сточными водами с концентрацией ХПК от 3000 и 40 000 мг/л, например, пищевой промышленности (сахарная, крахмальная, дрожжевая, фруктовая и овощная фабрики, спиртовые заводы), а также бумажной и целлюлозной.

Недавно удавалось успешно применять определенные анаэробные системы также при слабо загрязненных сточных водах с ХПК от 1500 до 3000 мг/л, например, на пивоваренных заводах, в молочном хозяйстве, а также при производстве фруктового сока, минеральной воды и прохладительных безалкогольных напитков.

Анаэробные методы обладают следующими преимуществами. Удельное производство избыточного ила для подкисляющих организмов составляет около 0,15 кг СВ/(кг ХПК), а для бактерий, формирующих метан, только около 0,05 кг СВ/(кг ХПК), так что производство избыточного ила ниже на коэффициент 3-10, чем при аэробных методах. В этом заключен потенциал экономии при обработке и удалении избыточного ила.

Поскольку анаэробные процессы протекают при отсутствии кислорода, отсутствует необходимая в аэробном методе аэрация. Таким образом, потребление энергии при анаэробном методе сравнительно меньше.

С помощью анаэробного превращения органических веществ образуется биогаз, который при содержании метана около 60-80% характеризуется теплотой сгорания примерно $7-9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ и вместе с этим в среднем почти соответствует теплоте сгорания природного газа.

Анаэробные реакторы часто эксплуатируются в диапазоне колебаний гидравлической нагрузки ХПК $3-12 \text{ кг ХПК}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$ и обуславливают при сильном загрязнении незначительные объемы резервуаров. Поскольку в большинстве случаев речь идет о высоких реакторах, то площадь под них требуется небольшая.

Некоторые анаэробные методы подходят больше всего для сезонных предприятий (например, сахарной промышленности), поскольку анаэробная биомасса через несколько месяцев паузы снова становится активна в течение нескольких дней.

Некоторые нерасщепляемые аэробно вещества могут быть расщеплены анаэробно (например, пектин).

Недостатки анаэробной технологии.

Поскольку КПД ХПК, как правило, составляет 70-80% и осуществляет слишком незначительную элиминацию фосфора и азота, то при анаэробном методе речь идет только о предварительной обработке. Поэтому последующая обработка обязательна.

Незначительное получение энергии анаэробными бактериями вызывает незначительный рост. Это, с одной стороны, приводит к получению небольшого количества избыточного ила, а с другой стороны, требует системы, которая позволяет хорошо удерживать биомассу. Следующим последствием в некоторых анаэробных системах считается длительная фаза приработки, которая может быть уменьшена на несколько дней путем добавления соответствующей активной биомассы.

Анаэробная система более чувствительна к колебаниям температуры, показателя рН, концентрации и нагрузки, чем аэробная система. Поскольку по причине чувствительности к показателю рН в большинстве случаев приток в реактор нейтрализуется, то использование

нейтрализующего средства может составить значительную часть всех производственных расходов.

По причине различных типов реакторов (рис. 5.34) и различных направлений промышленности не существует единых подходов к расчету параметров анаэробного реактора. Поэтому проектирование чаще всего проводят на базе других больших установок с похожими крайними условиями или на основе полупромышленных предварительных испытаний. В качестве показателей для расчета применяется гидравлическая нагрузка ХПК, а также время нахождения в реакторе.

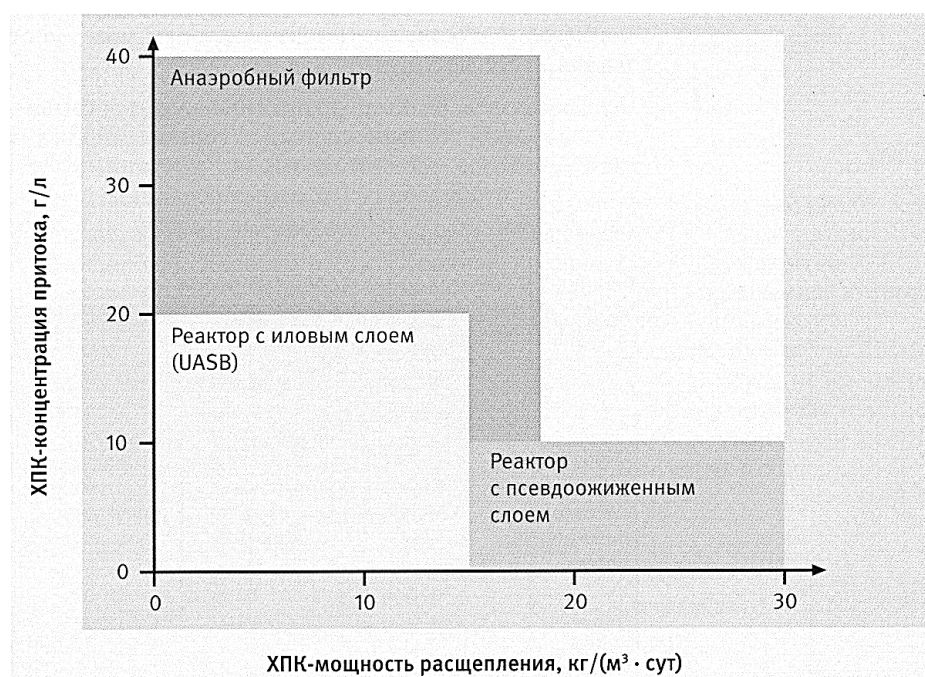


Рис. 5.34. Типы реакторов в зависимости от концентрации притока и мощности расщепления

Анаэробные реакторы

Критерием для классификации анаэробных технологий является вид концентрации биомассы. Возможные виды накопления биомассы показаны на рис. 5.35. В табл. 5.8 представлена классификация реакторов относительно концентрации, накопления, отделения и роста биомассы.

Основные типы анаэробных реакторов (кроме намывного) представлены на рис. 5.35.

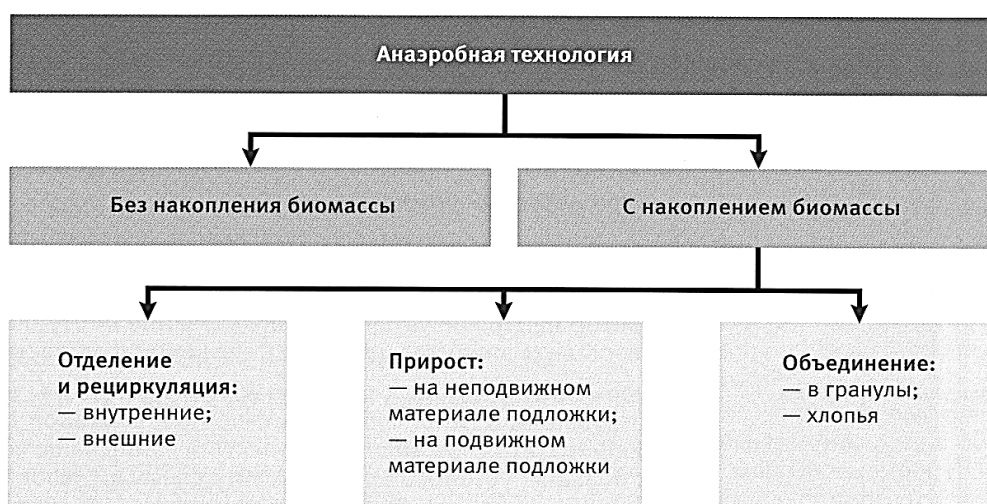


Рис. 5.35. Классификация анаэробных технологий

В анаэробных реакторах не существует общеупотребимых определений. Применительно к одним и тем же реакторам могут употребляться различные названия, которые будут приведены далее.

Таблица 5.8

Описание анаэробных методов

Тип реактора	Соотношение концентрации биомассы в реакторе	Накопление/отделение биомассы	Рост биомассы
Намывной	Незначительные различия	Нет	В виде суспензии
С анаэробным методом очистки активным илом	Стремление к незначительному перепаду	Внешнее отделение и рециркуляция	В виде суспензии
С иловым слоем	Выраженный перепад концентраций	Внутреннее отделение и рециркуляция, агрегация, осаждение агрегированного ила интегрировано	В виде суспензии, гранул (агрегированный ил)
С неподвижным катализатором	Сильно отличается	Рост на неподвижном материале подложки	Фиксированный на поверхности, в виде суспензии (в идеале – подчиненный)

Со взвешенным слоем и с псевдоожиженным слоем	Незначительные различия	Рост на подвижном материале подложки, отделение и рециркуляция внутренняя и внешняя	Фиксированный на поверхности, в виде суспензии (в идеале – подчиненный)

Нельзя сказать, реактор какого типа является самым эффективным, поскольку это в большей степени зависит от состава сточных вод, которые он обрабатывает. По итогам сравнительных исследований работы различных типов реакторов при отличающихся сточных водах получены неодинаковые результаты. Рассмотрим оптимальные условия применения того или иного типа реактора.

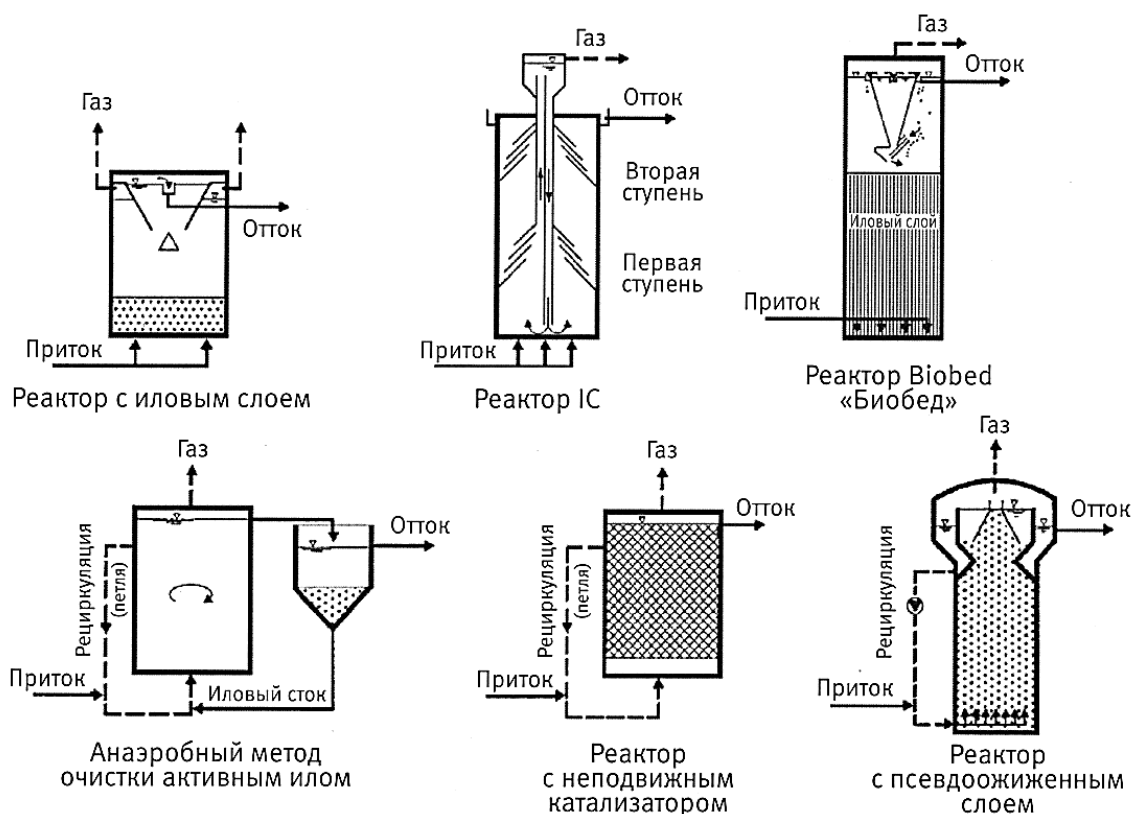


Рис. 5.36. Расширенная классификация анаэробных реакторов

Намывной реактор (реактор с мешалкой, баковый реактор с непрерывным перемешиванием)

Эти реакторы (рис. 5.37) относятся к классическим общепринятым реакторам, работающим без рециркуляции биомассы. Содержание

биомассы соотносится с отношением скорости роста к средней продолжительности контакта. Если продолжительность контакта короче, чем время жизни поколения, которое определяется как средний возраст ила, и выше обратной величины показателя роста, то анаэробный процесс прерывается ввиду недостатка биомассы.

Поэтому намывной реактор имеет смысл использовать только там, где невозможно разделить биомассу и субстрат, как, например, при сбраживании ила или при анаэробной обработке содержащих в большом количестве твердые вещества субстратов (жидкого навоза, отходов скотобойни или зеленых отходов).

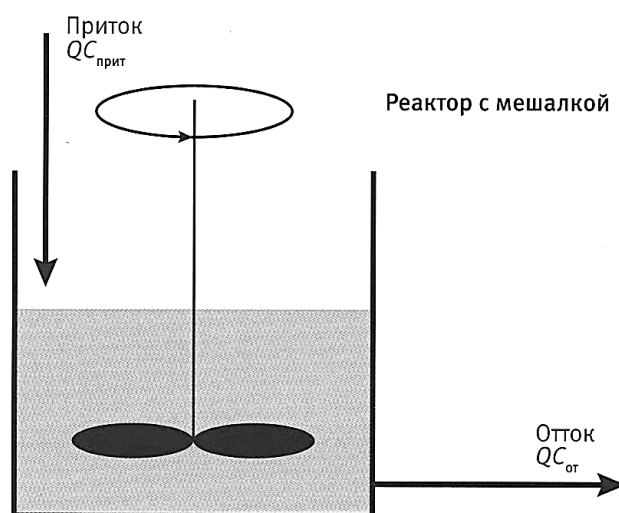


Рис. 5.37. Схема намывного реактора

Расчетный пример 5.7 (метод очистки активным илом без рециркуляции биомассы, намывной реактор)

Необходимо проверять полностью перемешанное аэрируемое содержимое намывного реактора с нитрификацией на производительность относительно полной нитрификации. Поступающие загрязненные промышленные сточные воды содержат нерасщепляемый ингибитор, который замедляет рост нитрификаторов согласно следующей ингибиционной кинетике:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{K_i}{K_i + C_i}$$

Дано:

- объем биореактора: 9 000 м³;
- количество бытовых сточных вод: 2 200 м³/сут;

- количество промышленных сточных вод: $800 \text{ м}^3/\text{сут}$;
- максимальная скорость роста нитрификаторов (μ_{max}): $1/\text{сут}$;
- ингибитор-постоянная K_i : 20 мг/л .

Найти:

С какой максимальной концентрацией ингибитора C_i промышленно загрязненные сточные воды могут поступать в существующую очистную установку, чтобы удержать нитрификаторы в системе?

Какой минимальный объем очистного бассейна требовался бы, чтобы промышленное предприятие могло, при неизменном количестве сточных вод, отводить в очистное сооружение концентрацию ингибитора $C_i = 280 \text{ мг/л}$?

Решение

Расчет концентрации ингибитора C_i :

$$\mu \leq \mu_{\text{max}}$$

$$t_{\text{CB}} = t_p = 9\,000 \text{ м}^3 / 3\,000 \text{ м}^3/\text{сут} = 3 \text{ сут}^{-1};$$

$$\mu = 1/t_{\text{CB}} = 1/3 \text{ сут};$$

$$1/3 \text{ сут} = 1 \text{ сут}^{-1} \cdot 20 \text{ мг/л} / (20 \text{ мг/л} + C_i);$$

$$C_i = 40 \text{ мг/л}.$$

Необходимый объем очистного бассейна:

$$\mu = 1 \text{ сут}^{-1} \cdot (20 \text{ мг/л} / (20 \text{ мг/л} + 280 \text{ мг/л})) = 0,067 \text{ сут}^{-1};$$

$$t_{\text{CB}} = 1/\mu = 1/0,067 \text{ сут}^{-1} = 15 \text{ сут};$$

$$V = Q \cdot t_{\text{CB}} = 3\,000 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot 15 \text{ сут} = 45\,000 \text{ м}^3.$$

Анаэробный метод очистки сточных вод активным илом (метод контактного ила, контактный процесс)

Поскольку биомасса находится не в фиксированной форме, то отделение биомассы и рециркуляция играют решающую роль. Как правило, отделение биомассы происходит путем седиментации, т. е. с помощью внутреннего или внешнего стандартного отстойника или пластинчатого сепаратора. Так как анаэробный ил выделяет газ также за пределами реактора и вследствие этого флотирует, то часто требуется одновременное удаление газа между метановым реактором и сепаратором.

Подобное удаление газа может происходить, например, путем вакуумной дегазации, отгонки, охлаждения или медленно работающей мешалки. Метод контактного ила показывает в сравнении с описываемым далее высокопроизводительным методом (UASB, твердый слой, псевдоожиженный слой) не столь высокую концентрацию биомассы в реакторе и поэтому используется со сравнительно более низкой гидравлической нагрузкой (в основном около $5 \text{ кг ХПК}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$).

Его существенным преимуществом является мало подверженная помехам эксплуатация, при которой, прежде всего, не возникают проблемы с засорением.

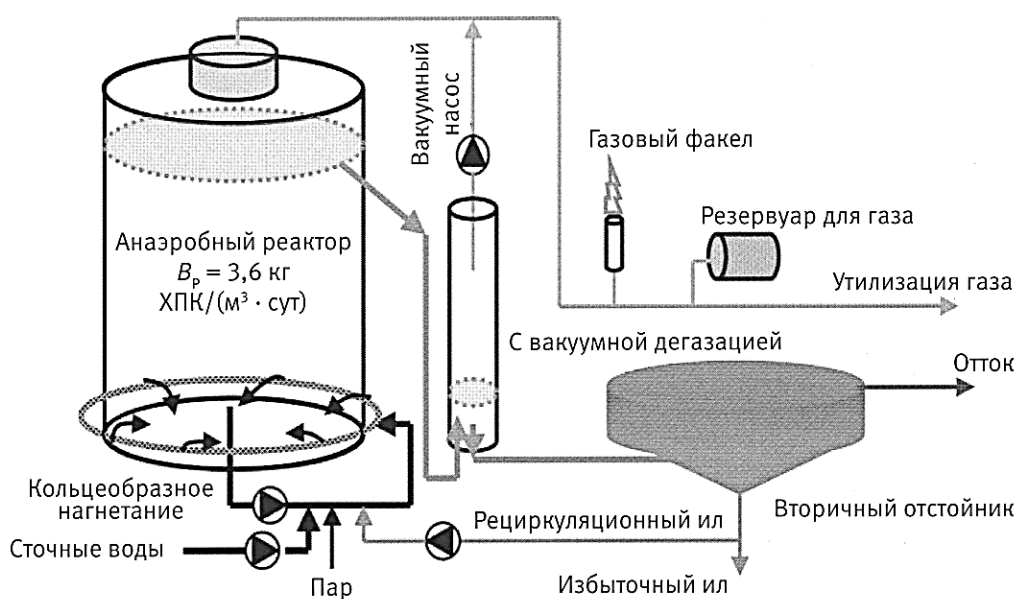


Рис. 5.38. Технологическая схема одноступенчатой установки и для очистки активным илом

Анаэробный метод очистки сточных вод активным илом с вакуумной дегазацией представлен на рис. 5.38.

Реактор с иловым слоем (восходящий анаэробный реактор со слоем ила)

Принцип действия реакторов с иловым слоем, рис. 5.39, основан на формировании гранулированного ила, который благодаря своей величине (диаметр до нескольких миллиметров) и компактной круглой форме обладает очень хорошей способностью к осаждению и поэтому не так легко вымывается из системы. Этот ил уплотняется в нижней

части реактора, при этом он должен занимать примерно не больше половины высоты реактора, омываемой потоком. Подача сточных вод осуществляется снизу в слой ила.

В верхней части реактора находится трехфазовый сепаратор, в котором наряду с дегазацией происходит максимальное отделение твердых веществ от сточных вод. Необходимая циркуляция достигается в первую очередь путем собственного газообразования при анаэробном расщеплении.

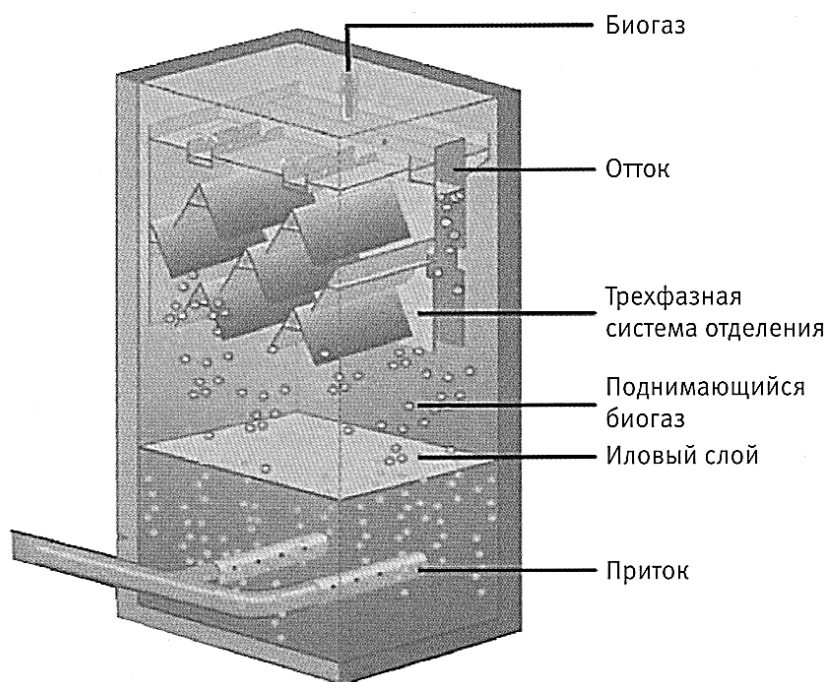


Рис. 5.39. Пример реактора UASB (www.alphaut.ch/D/biopac.html)

Этот метод особенно подходит для очистки бедных твердыми веществами, относительно мало загрязненных сточных вод. Твердые вещества, высокие концентрации кальция >500 мг/л (выделение карбоната) и высокие концентрации жира приводят к прекращению гранулирования или к вымыванию ила.

Реакторы с иловым слоем являются в настоящее время наиболее распространенными. Особое преимущество такого метода заключается в образовании гранул. Гранулированный ил дает возможность быстро восстановить биоценоз при вводе в эксплуатацию после паузы, длящейся несколько месяцев. На практике он может использоваться для затравки при вводе нового предприятия в эксплуатацию.

В качестве примера модернизации метода UASB можно привести метод РСГИ (расширенный слой гранулированного ила, англ.

Expanded granular sludge bed – EGSB), по которому работают реакторы IC (Internal Circulation – внутренняя циркуляция), а также реактор «Биобед», рис. 5.40.

Преимущества работы этих реакторов в сравнении с методом UASB заключаются в большем из-за увеличенной конструкции общем количестве ила относительно общего объема реактора и возможности эксплуатации на большей скорости восходящего потока. Благодаря увеличенным скоростям восходящего потока происходит лучшее смешение организмов, вследствие чего увеличивается их активность.

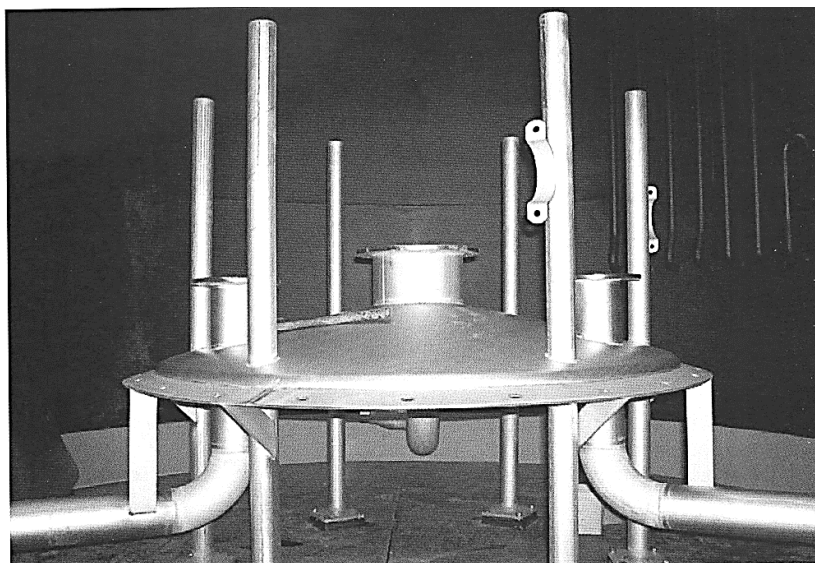


Рис. 5.40. Разделение притока в реакторе IC (фото Ruhrverband)

Это дает возможность целесообразно использовать эти реакторы также при мало концентрированных сточных водах или сточных водах с более низкой температурой. Высокая скорость восходящего потока достигается путем рециркуляции части обрабатываемых сточных вод. Реактор IC состоит в основном из двух расположенных друг над другом реакторов UASB, причем выработка газа в нижней части служит как побуждение для внутренней циркуляции.

В реакторе «Биобед» желаемая скорость восходящего потока достигается благодаря проходящей снаружи циркуляции. Еще одним преимуществом рециркуляции уже обработанных сточных вод является рециркуляция буферной емкости, за счет чего экономятся средства нейтрализации. Из-за высокого газообразования на 1 м² поверхности системам требуются особые сепараторы или, соответственно, системы отделения.

Реактор с твердым слоем, анаэробный фильтр (реактор с фиксированной пленкой)

Находящиеся в реакторе с твердым слоем поверхности для заселения должны повысить концентрацию биомассы в системе и улучшить рециркуляцию ила. Существуют реакторы с направленным вниз и с направленным вверх потоком. Нисходящий реактор с твердым слоем отличается от аэробного орошаемого биофильтра только тем, что он эксплуатируется анаэробно и загружено.

Реакторы с твердым слоем наполнены до 90% сыпучими материалами для развития и роста биоценоза. После того как было испытано множество натуральных материалов (гравий, вулканический шлак, активированный уголь, ракушки, керамзит, гранитные обломки и т. д.), в настоящее время применяют практически исключительно искусственные материалы подложки. Благодаря их высокой пористости при одновременно большой удельной поверхности и небольшом удельном весе снижается опасность засорения.

Реакторы с твердым слоем используются в восходящем потоке более эффективно, если сточные воды богаты твердыми веществами. Только в этом случае рекомендуется нисходящая эксплуатация, при которой опасность засоров невелика. Области применения – это специальные сильно загрязненные сточные воды с концентрацией ХПК от 10 000 до 70 000 мг/л.

Реакторы с псевдосжиженным слоем

Реакторы с псевдосжиженным слоем – это реакторы, в которых материал подложки (как правило, песок, но также пемза или синтетические гранулы) находится из-за высокого показателя рециркуляции в подвешенном состоянии. При этом, с одной стороны, рециркуляция должна быть достаточно высокой, чтобы удерживать материал подложки в подвешенном состоянии, а с другой стороны, слишком большая рециркуляция может привести к отделению биомассы от материала подложки.

В реакторе с псевдосжиженным слоем материал подложки находится в постоянном движении, при этом распространение слоя составляет 50% и больше. Для получения высокого пространственно-временного выхода продукта, не менее $20 \text{ кгХПК}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$, требуется обязательно загружать метановые реакторы как можно более постоянным

количеством свободных от твердых веществ и достаточно подкисленных сточных вод.

По этой причине все промышленные установки двухступенчатые, т. е. оснащены отдельными ступенями подкисления. В промышленных эксплуатируемых очистных установках обрабатываемые сточные воды со средней концентрацией ХПК от 1500 до 3600 мг/л относительно мало загрязнены.

Одно- и двухступенчатые методы

Поскольку бактерии метана, также взаимодействуя с ацетогенными бактериями, могут использовать в качестве субстрата только низшие органические кислоты (муравьиную и уксусную), а также CO_2 , H_2 и метанол, то гидролиз и подкисление примесей сточных вод являются важными предпосылками для высокого КПД анаэробной очистки.

Это действует независимо от того, разделены ли пространственно гидролиз и подкисление (двухступенчатый метод) от метановой ступени, или имеется только один реактор (одноступенчатый метод).

С биологической точки зрения имеет смысл применять вместо одноступенчатого метода двухступенчатый. В этом случае на первой ступени субстраты подвергаются гидролизу и подкислению, в то время как на второй ступени проходят ацетогенная и метаногенная фазы. За использование двухступенчатого метода говорят такие преимущества, как большая эксплуатационная надежность против колебаний нагрузки и более быстрый ввод в эксплуатацию, особенно если окисляющий реактор одновременно предусмотрен как смесительный и уравнивательный резервуар.

Этот метод целесообразен также для предприятий, которые не производят всю неделю сточные воды, в целях заполнения ступени метана постоянно и с меньшими почасовыми нагрузками.

К недостаткам можно отнести значительно более высокие инвестиционные и производственные затраты, даже если объем реактора сокращается благодаря двух ступенчатости.

Двухступенчатый метод не дает никакого преимущества при трудногидролизированных или окисляемых сточных водах (как, например, вода, имеющая в составе целлюлозу). Таким же образом при сильно буферированных сточных водах отдельная ступень окисления может быть бессмысленной, если кислотообразующим бактериям не

удается достигать благоприятной для них среды с низким показателем рН (т. е. двухступенчатое™ не дает преимущества перед одноступенчатой установкой).

При применении реакторов с иловым слоем имеет смысл окисление лишь от 30 до 50% (т. е. от 30 до 50% отфильтрованного ХПК находится в форме органических кислот), чтобы не препятствовать образованию гранулированного ила. Опыт показывает, что отделение окисленного ила связано со значительными трудностями.

Вопросы для самоконтроля

1. Влияние технологических факторов на эффективность процессов биологической очистки.
2. Естественные и искусственные методы биологической очистки.
3. Биофильтры, их конструкция, принцип работы.
4. Аэротенки, их конструкция, принцип работы.
5. Биологические методы очистки сточных вод от тяжелых металлов.
6. Понятие о глубокой очистке производственных сточных вод.
7. Обработка осадков производственных сточных вод. Состав и свойства осадков.
8. Основные процессы, применяемые для обработки осадков производственных сточных вод.
9. Уплотнение осадков. Гравитационное уплотнение осадков.
10. Флотационное уплотнение осадков.
11. Центробежное уплотнение осадков.
12. Анаэробное (метановое) сбраживание осадков.
13. Технологические схемы анаэробного сбраживания осадков.
14. Аэробная стабилизация осадков. Кондиционирование осадка
15. Обезвоживание осадков. Термическая сушка осадков.
16. Термические методы обезвреживания осадков.
17. Методы очистки воды от радиоактивных загрязнений

Глава 6. ПРИМЕРЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Отрасли промышленности в целом разделяют на отрасли с преобладанием органических или неорганических компонентов, так как этот критерий оказывает решающее влияние на стратегию обработки сточных вод.

Важные отрасли промышленности с преобладающими органическими компонентами, первоначальная активность которых базируется в основном на сельскохозяйственной продукции или на исходном сырье (пищевая и непищевая агропромышленность и лесное хозяйство), объединяются понятием «аграрная промышленность».

Химическая промышленность рассматривается отдельно. Благодаря многообразию своих продуктов она разнородно нагружена как неорганическими, так и органическими веществами. Постановления об обязанности предприятий возводить сооружения по очистке сточных вод путем химических, биохимических или физических методов.

Среди отраслей промышленности с преимущественно неорганическими компонентами также учитывается тяжелая промышленность на основе такого исходного сырья, как нефть, природный газ, уголь, а также отходы.

В данной главе будут рассмотрены некоторые промышленные предприятия, которые можно отнести к следующим группам.

Аграрная промышленность:

- интенсивное животноводство и аквакультура.

Пищевая промышленность

- сахарные заводы;
- крахмальные заводы;
- производство пищевого растительного масла и жира;
- картофелеперерабатывающая промышленность;
- овоще- и фруктоперерабатывающая промышленность;
- скотобойни, переработка мяса и рыбы;
- кондитерская промышленность;
- молокоперерабатывающая промышленность;
- производство фруктовых соков и прохладительных напитков;
- пивоваренные заводы;

- производство вина;
- спиртовое производство и дрожжевая промышленность;
- пектиновые заводы.

Прочая аграрная промышленность

- переработка побочных продуктов утилизации животных;
- утилизационные заводы по переработке трупов животных;
- предприятия по переработке кишок;
- производство мездрового клея и желатина;
- комбикормовые и рыбомучные заводы;
- целлюлозно-бумажное производство;
- изготовление целлюлозы;
- бумажные и картонные фабрики (включая установки по удалению печатных красок);
- текстильная промышленность;
- промывка шерсти;
- отделочное производство текстильной промышленности (включая окрашивание текстиля);
- кожевенное производство;
- деревообрабатывающие отрасли промышленности.

Химическая промышленность:

- фармацевтика;
- органика;
- мыла, моющие средства;
- полимеры;
- неорганические химикаты;
- лакокрасочная продукция;
- средства для очистки;
- клеящие вещества;
- химические волокна;
- средства защиты растений;
- удобрения;
- прочее.

Отрасли промышленности с преобладающими неорганическими компонентами, отрасли промышленности на основе угля, нефти, газа и отходов:

Тяжелая промышленность, минералоперерабатывающая промышленность

- горнодобывающая промышленность;
- металлургические заводы;
- электростанции;
- камни, почвы;
- керамическая промышленность;
- стекольная промышленность.

Металлообрабатывающая промышленность:

- травильные цеха;
- установки для нанесения гальванических покрытий;
- машиностроительная промышленность;
- автомобильная промышленность.

Нефтяная промышленность

- нефтеперегонные заводы;
- нефтехранилища;
- восстановление отработанного масла.

Прочие отрасли

- установки по переработке отходов;
- мусоросжигательные установки;
- очистка контейнеров.

Другие отрасли промышленности:

- очистка текстильных изделий;
- больницы.

Очистка сточных вод в пищевой промышленности

При рассмотрении специфических объемов и концентраций сточных вод принимается во внимание технический уровень и срок эксплуатации производственного предприятия, на котором были собраны данные. В значительной степени загрязнение сточных вод зависит также от применения вспомогательных и дополнительных веществ, средств для очистки и т. п.; числа рабочих смен; сезонности производства; требований для стока (прямой и непрямой сброс сточных вод); масштаба интеграции, ориентированной на охрану окружающей среды, и технического уровня установок для предварительной обра-

ботки сточных вод; профессионализма и мотивации сотрудников, влияющих на размеры потери продуктов (некондиционные продукты, потери при фасовке и пр. способствуют загрязнению сточной воды).

Таблица 6.1

Сравнение дополнительных и интегрированных мероприятий по охране окружающей среды

Дополнительная охрана окружающей среды	Интегрированная охрана окружающей среды
Актуально низкие производственные затраты Мероприятия по охране окружающей среды с последующим действием	Низкие производственные затраты в течение длительного времени Экологически приемлемое производство

Всеобщее требование по сокращению расходов побуждает промышленность постоянно развивать процесс оптимизации, который также имеет решающее влияние на объем, состав сточных вод и вместе с этим на метод обработки. При этом возникают, как правило, две тенденции. Во-первых, пытаются путем экономного использования и рециркуляции воды сократить использование свежей воды и таким образом сократить объем сточных вод, в результате чего происходит повышение концентрации загрязнений. Во-вторых, в дальнейшем стремятся в возрастающем масштабе путем последовательного использования всех побочных продуктов по всей цепочке процессов уменьшить удельный вес загрязнения (например, ХПК продукта).

Если необходимо получить точные сведения об объеме и концентрациях промышленной сточной воды, рекомендуется проведение лабораторных исследований или сбор данных на предприятии.

С учетом компонентов сырья в пищевой промышленности углеводы, белки и жиры являются важными составными частями. Нагрузки на сточные воды по ХПК и БПК₅ при потере сырья и продукта, которые возникают в производственных процессах, можно оценить по табл. 6.2.

Таблица 6.2

Сырье	Потребность в кислороде, округленная на грамм вещества, г/г		ХПК/БПК ₅
	ХПК	БПК ₅	
Углеводы: крахмал растворимый глюкоза/лактоза	1,2	0,7	1,7
	1,0	0,5	2,0
Жир, например соевое масло	2,5	2,0	1,25
Белок: казеин пептон	1,4	0,6	2,3
	1,4	0,15	9,3
Гликоль	1,3	0,5	2,6
Уксусная кислота	1,1	0,6	1,8

После обработки можно достичь следующих типичных свойств отработанной отработанно воды в пищевой промышленности, табл. 6.3.

Таблица 6.3

Типичные качества сточных вод предприятий пищевой промышленности после обработки

Параметр	Концентрация, мг/л
БПК ₅	<25
ХПК	<125
Общее содержание взвешенных твердых веществ	<50
рН	6-9
Жирорастворимые вещества	<10
N _{общ}	0,4-5,0
P _{общ}	—

Обзор сфер пищевой промышленности, а также методов обработки сточной воды, которые применяются в различных отраслях, представлен на рис. 6.1 и в табл. 6.4.

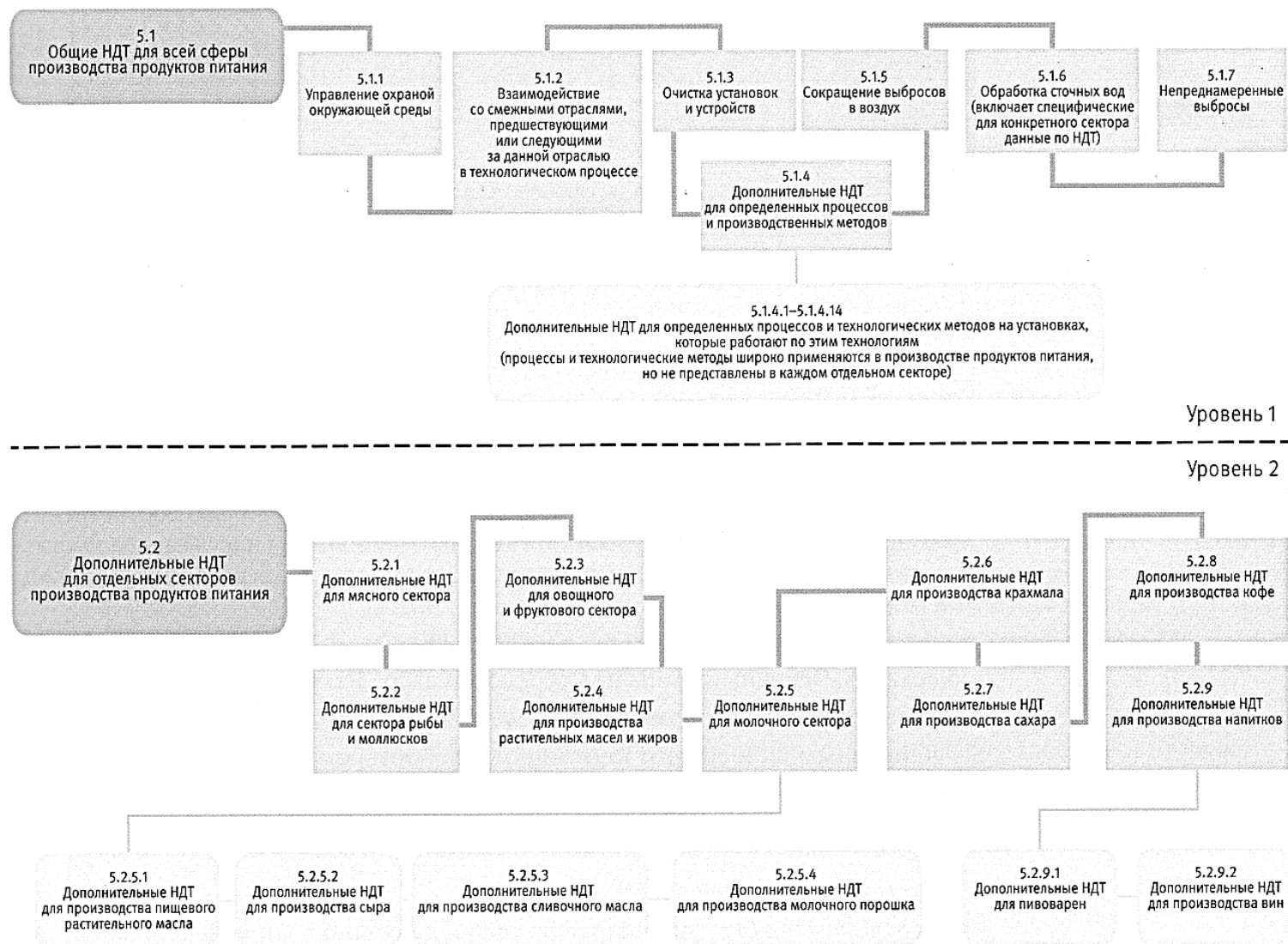


Рис. 6.1. Обзор установок для производства напитков и молочной продукции с выводами о НДТ

Таблица 6.4

**Сравнение методов обработки сточных вод
для различных отраслей**

Технология очистки сточ- ных вод	Мясо	Картофель	Фрукты и овощи	Растительные масла	Молочные продукты	Крахмал	Кондитерские изделия	Сахар	Пиво	Соложение	Напитки	Спирт и водка	Вино и шампанское
Первичная обработка													
Решетки/сита	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X
Седиментация		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Флотатор с пересыщенным раствором воздуха	X	X		X	X	X	X				X		
Отделение жира	X	X		X	X	X	X				X		
Центрифугирование				X		X							
Выравнивание потока и груза	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Осаждение				X	X	X	X			X	X		
Нейтрализация			X	X	X	X	X		X		X	X	X
Вторичная очистка													
Аэробная обработка	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Анаэробная обработка	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Активный ил	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Активный ил, многоступенчатый	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	
Цикловой РПД	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X
Орошаемый биофильтр	X	X	X			X		X	X	X	X		X
Аэробный очистной пруд		X	X		X	X		X	X	X	X	X	

X – применяется в этом секторе.

1.20. Сахарные заводы

При средней доле содержания сахара в сахарной свекле 18% это соответствует примерно 200 кг/(чел/год) сахарной свеклы. Наибольшая часть сахара поставляется в сахароперерабатывающую промышленность в несвязанной или жидкой форме.

Переработка свеклы (сезонные предприятия) проходит обычно с сентября по декабрь. Основные этапы производства сахара из сахарной свеклы:

Транспортировка, промывка, измельчение.

Ленточным конвейером или гидротранспортером свекла транспортируется в промывочную установку. Здесь удаляется оставшаяся налипшая земля, а также отделяется ботва (рис. 6.2). Очищенная свекла измельчается в свеклорезке вращающимися ножами в тонкую стружку.

Экстракция горячей водой.

Свекловичная стружка направляется на ленточном конвейере в колонный диффузионный аппарат высотой примерно 20 м. Там стружка движется снизу вверх, в то время как сверху на нее во встречном потоке течет горячая вода температурой 70 °С. Под влиянием горячей воды открываются свободные межклеточные перегородки свеклы, и содержащиеся молекулы сахара переходят в воду.

Этим методом, называемым также противоточной экстракцией, добывается больше 99% сахара из свеклы. На нижнем конце колонного диффузионного аппарата откачивается диффузионный сок. Его цвет – от серого до черного, доля содержания сахара 13-15%.

Очищение с добавлением извести и CO_2 приводит к отделению карбонатного шлама. Несахара в диффузионном соке связываются и осаждаются с помощью добавления известкового молока и угольной кислоты. Остается чистая, желтоватая жидкость – очищенный сок (содержание сахара от 12,5 до 16,5%). Осажденная карбонатная известь прессуется и применяется в сельском хозяйстве как известковое удобрение.



Рис. 6.2. Отмывание свеклы

На выпарной станции из очищенного сока в нескольких последовательно подключаемых механизмах для испарения удаляется вода, пока он не становится густотекучим сиропом с содержанием сахара 65-70% (сгущенный сок).

Сгущенный сок выпаривается дальше под уменьшенным давлением. Тогда вода испаряется уже при температуре от 65 до 80 °С, и сахар не карамелизируется. Часто затравочные кристаллы добавляются в форме мельчайших частиц сахара. Возникающий утфель спускается в утфелемешалку для охлаждения. Мешалки постоянно перемешивают кашицу, кристаллы сахара в это время продолжают расти.

В высокооборотных центрифугах кристаллы сахара отделяются от вязкотекучего сиропа сепараторами. При этом кристаллы сахарозы остаются висеть в сите, в то время как сахарный сироп стекает. В завершение кристаллы сахарозы отделяются водяным паром от оставшегося сиропа; так получают белый сахар.

В процессе производства сахара из сахарной свеклы вода потребляется в следующем количестве, рис. 6.3, л:

— транспортерная вода	500-800
— промывочная вода	150-200

– барометрическая вода	400-600
– свежая вода для сокодобывания	30-40
– охлаждающая вода и вода гидравлического затвора	20-100
– всего	1101740

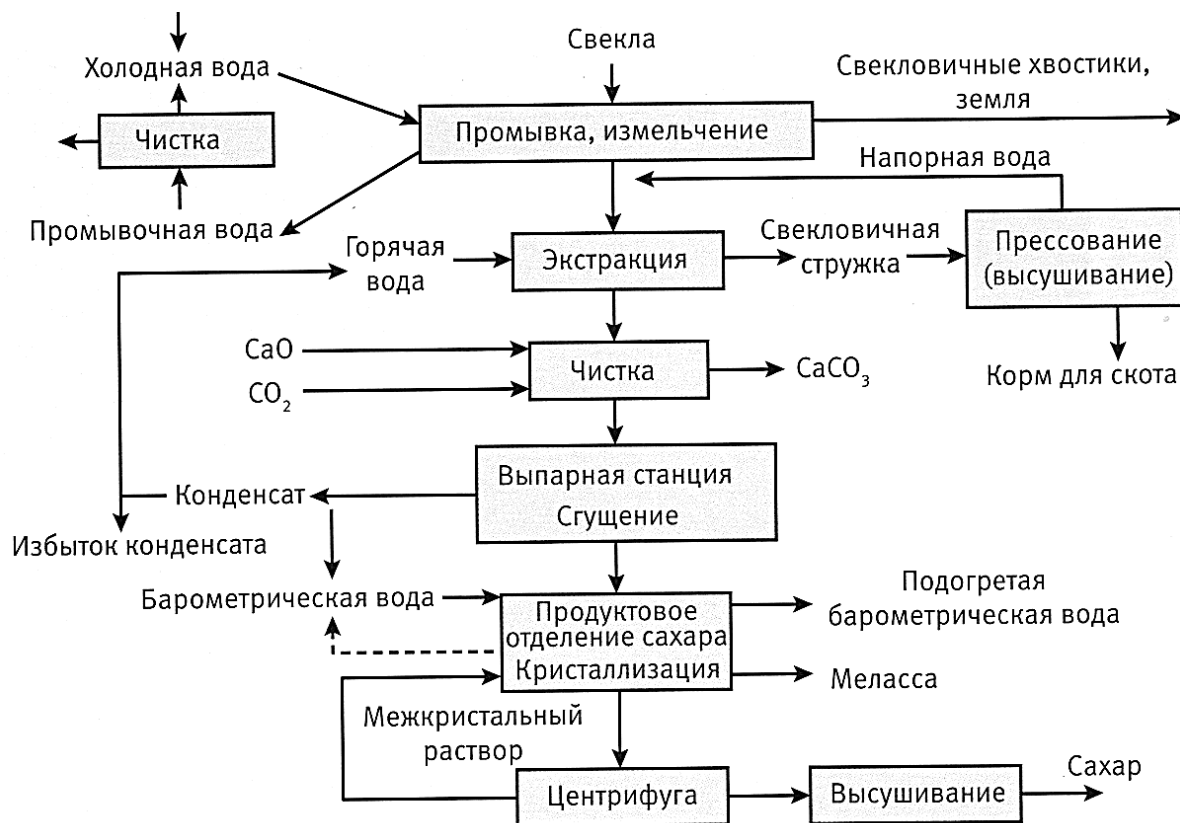


Рис. 6.3. Схема водоснабжения сахарного завода

Расход свежей воды для технологических операций мог бы быть сокращен путем рециркуляции воды до 0,25-0,40 м³/т свеклы.

Норма отведения и состав сточных вод

Норма отведения сточных вод могла бы быть понижена аналогично сокращению расхода свежей воды в последние годы с помощью последовательной экономии воды, а также повсеместного использования циркуляции воды приблизительно с 15,0 до 0,8 м³/т свеклы (включая соковую воду).

Также полученная из свеклы вода (свекла состоит почти на 75% из воды, 0,75 м³/т свеклы), которая конденсируется при процессах выпаривания, в большей части снова применяется.

Компоненты, получаемые в установке для отмывания свеклы, помимо земли (твердые вещества), характеризуются, прежде всего, высоким содержанием извлекаемых из сахара органических загрязнений. Содержание азота и фосфора является сравнительно незначительным.

В транспортерную воду (для предотвращения инфицирования) и при очистке сока необходимо можно известковое молоко, что даст повышенное содержание кальция. В табл. 6.5 приведены диапазоны концентрации важных параметров, которая непрерывно повышается вследствие частично замкнутых циклов сезонного производства.

Минимальные требования к сбросу сточных вод при производстве сахара представлены в табл. 6.6.

Таблица 6.5

Концентрация загрязнений сточных вод в сахарной промышленности

ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	N _{общ} -N, мг/л	P _{общ} -P, г/л
6000-30000	4000-18000	50-180	
	3300	120	10

Таблица 6.6

Сахарное производство. Требования к составу сточных вод в месте сброса отработанной воды

БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л	NH ₄ -N, мг/л	N _{общ,неорг} , мг/л	P _{общ} , мг/л
25	200	10	30	2

Обработка сточных вод

Удаление такой грубой массы, как камни, песок, стебли свеклы, производится путем механического отделения твердых веществ, например, через фильтры, седиментацию. Суспензия из земли с водой направляется в отстойник и после осаждения твердых компонентов чистая («декантированная») вода затем снова используется для мытья и гидротранспортирования свеклы.

Осажденная земля, содержание сухого вещества которой составляет от 20 до 25%, накачивается в пруды для дальнейшей седиментации. Там появляется так называемая транспортирующая землю вода, которая после седиментации используется в основном для анаэробной обработки сточных вод.

При биологической очистке сточных вод сахарного завода применяются следующие методы:

- обработка почвы;
- долговременная система складирования;
- компактные технические методы, как правило состоящие из анаэробной предварительной обработки и аэробной последующей обработки.

Сельскохозяйственная обработка почвы направлена, в первую очередь на использование удобрений, содержащихся в сточной воде. При больших долях ионообменной воды должна учитываться солевая устойчивость растений. За ориентировочное значение может быть принято общее количество выпавших осадков 90-120 мм/год, причем максимальная разовая доза не должна превышать 30 мм, табл. 6.7.

При системе складирования сточная вода направляется в уплотненные земляные пруды. Расщепление компонентов происходит до лета следующего года, причем сточная вода сначала проходит анаэробную, а затем аэробную фазу (при необходимости – с использованием аэрационных агрегатов). Если высота накопления не превышает 1,2 м, то выполняется очистка до значений ХПК меньше 300 мг/л.

Таблица 6.7

Рекомендация по расчету дождевания

Дождевание	Расстояние от поверхности до грунтовых вод, м	Дождевание
	0,7	0,5-0,7
Количество разовой дозы, мм	30-40	20-30
Временной промежуток между разовыми дозами, дн.	14	14
Общая нагрузка ХПК, кг/(м ² ·год)	1,5	1,0

При анаэробном расщеплении возникают низшие жирные кислоты (уксусная, пропионовая, масляная) и H₂S, что может привести к проблемам с запахом. Расщепление H₂S происходит с помощью пурпурных бактерий, вследствие чего пруды окрашиваются в оранжево-пурпурно-красный цвет. Аэробное расщепление может привести к массовому развитию водорослей в земляных прудах.

В сахарной промышленности в последние годы внедряется, прежде всего, анаэробный метод предварительной обработки сточных вод. При этом решающими по сравнению с вышеупомянутыми методами и аэробными биологическими методами являются следующие преимущества: малая занимаемая площадь, небольшое образование шлама, незначительное энергопотребление, получение энергии из биологического газа, отсутствие запаха.

Желаемый показатель рН, равный 6,8-7,5, устанавливается самостоятельно при хорошо функционирующих установках, рабочая температура чаще всего составляет 37 °С. При гидравлических нагрузках 5-10 кг ХПК/(м³·сут), как правило, КПД ХПК достигает почти 90%.

Отбор азота и фосфора производится лишь в очень незначительном количестве путем связывания в избыток ила, поэтому при запланированном прямом сбросе сточных вод в водоем необходима аэробная ступень вторичной очистки (эмпирическая величина: анаэробная потребность в питательных веществах ХПК: N :P = 800:5 :1; выработка избытка ила = 0,1 кг/кг ХПК).

Чтобы избежать производственных трудностей с богатыми кальцием сточными водами, при методе контактного ила зарекомендовал себя способ отделения частиц карбоната кальция от бактериального шлама в отстойных центрифугах.

Концентрация кальция в сточных водах часто является фактором, ограничивающим экономию воды на сахарных заводах, так как при слишком высоких концентрациях кальция не могут быть предотвращены осаднения, требующие дорогостоящего устранения.

Если запланирован прямой сброс в водоем, то необходима аэробная вторичная очистка, предпочтительно методом активного ила. Предварительно очищенные анаэробным методом сточные воды подаются вместе с избыточным илом из циркуляции барометрической воды и конденсации аэробной биологической обработки, как правило, с нитрификацией и денитрификацией.

На рис. 6.4 представлена схема обработки сточных вод на сахарном заводе. Установки для очистки сточных вод запускаются с началом сезона производства сахара из свеклы и работают приблизительно 100 дней.

Сахароперерабатывающая промышленность: производство кондитерских изделий

Кондитерскими изделиями принято называть пищевые продукты, содержащие сахар как определяющий вкус и свойства компонент. Наряду с сахаром в качестве основного сырья используются крахмал, жиры, молочные продукты, а также вкусовые добавки, такие как какао, концентраты плодово-ягодных соков и экстракт солодкового корня.

В отношении промышленных сточных вод кондитерской промышленности речь в основном идет о воде для мойки и об охлаждающей воде. Технологические сточные воды, как в сахарной промышленности, не образуются. Поэтому компонентами сточных вод являются преимущественно производственные остатки (сахар, жиры, белки, крахмал и др.).

Анаэробная фаза

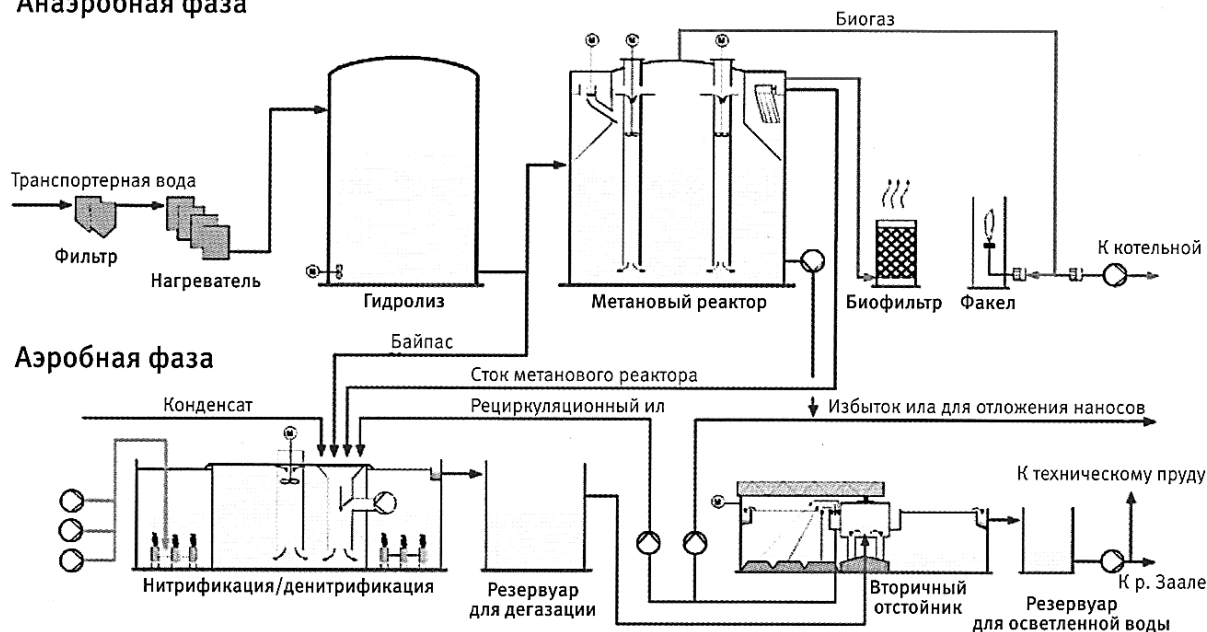


Рис. 6.4. Схема биологической очистки сточных вод на сахарном заводе

Потребность в кислороде, которая возникает в сточных водах вследствие потери сырья или продукта, может быть определена с помощью данных табл. 6.2. В табл. 6.8 приведены примеры загрязнения сточных вод при кондитерском производстве.

Таблица 6.8

**Примеры значений сточных вод на предприятиях по
производству кондитерских изделий**

Наименование	Q, т готового изделия	Жирорастворимые вещества, мг/л	БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л
Кондитерские изделия без (или только в небольшом количестве) содержания жира	3-6	0-700	2000-3500	3000-5000
Кондитерские изделия с содержанием жира	3-6	>700	3500-5500	3500-8000

подавляющая часть производителей кондитерских изделий сбрасывает образующиеся во время производства промышленные сточные воды (часто в виде смеси с поступающими бытовыми сточными водами) в виде непрямого сброса сточных вод в общественную канализацию.

Некоторые крупные предприятия в зависимости от цели сброса построили установки для предварительной обработки сточных вод или установки для очистки сточных вод. Для отдельной аэробной биологической очистки часто требуется добавление питательных веществ из-за их неблагоприятного соотношения.

Сточные воды с высоким органическим загрязнением в кондитерском производстве хорошо подходят для анаэробного обмена веществ. Опыты по расщеплению в анаэробно смешенном реакторе показали степень расщепления ХПК до 80%. Реакторы должны были проектироваться и использоваться только с гидравлическими нагрузками ХПК от 5 до максимум 10 кг/(м³·сут).

Также рекомендуется резервуар для предварительного хранения или уравнительный резервуар с функцией повышения кислотности, которой следует рассчитывать больше, чем на 1,5-2 Q_{сут}, чтобы избежать нарушений производственного процесса в анаэробной установке.

Отсутствующее или недостающее отделение жира или крахмала, а также недостаточная эффективность работы крахмало- и жиротделителей могут привести к отложениям в производственных или общественных каналах и вызвать значительные производственные проблемы. Кроме того, часто теплая и содержащая большое количество

сахара промышленная отработанная вода имеет предрасположенность к быстрой окисляемости (значение рН до 3,5).

Пример расчета 6.1 **(определение размеров технического пруда** **для сточных вод сахарного завода)**

На сахарном заводе перерабатывается 1 030 000 т свеклы в течение 100 дней подряд. При этом сточной воды, подлежащей обработке в техническом пруду, поступает около 0,3 м³/т с концентрацией 9400 мг БПК₅/л.

Гидравлическая нагрузка пруда должна составлять 20-30 г БПК₅/(м³·сут) (принято: 25 г БПК₅/(м³·сут)).

Решения

Норма отвода сточных вод на 100 дн.

Режим:

$$Q = 1\,030\,000 \text{ т свеклы} \cdot 0,3 \text{ м}^3/\text{т} = 309\,000 \text{ м}^3.$$

Груз БПК₅:

$$309\,000 \text{ м}^3 \cdot 9\,400 \text{ г/м}^3 = 2\,904,6 \text{ т БПК}_5, \text{ или } 2904,6 \text{ т БПК}_5/\text{год}.$$

Гидравлическая нагрузка в течение одного года:

$$25 \text{ г БПК}_5/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}) \cdot 365 \text{ дн.} = 9,13 \text{ кг БПК}_5/(\text{м}^3 \text{ резервуар} \cdot \text{год}).$$

Объемы технического пруда:

$$V = 2\,904\,600/9,13 = 318,140 \text{ м}^3,$$

при $h = 1,0 \text{ м}$; $A = 31,8 \text{ га}$.

1.21. Крахмальные заводы

Наряду с пищевой промышленностью, крахмал и его модификации, и производные применяются в химической и технической промышленности (фармацевтика, полимеры). Для производства 1 т крахмала необходимы в среднем следующие исходные количества: 6,6 т картофеля, 1,85 т кукурузы или 2,35 т пшеницы.

Крахмал из кукурузы или пшеницы, по причине устойчивости сырья при хранении, может производиться круглогодично. Из картофеля же выработка крахмала начинается с августа и длится в рамках сезонного производства до 200 дней.

Производственные процессы по выработке крахмала, рис. 6.5.
Здесь производство картофельного крахмала представлено кратко.

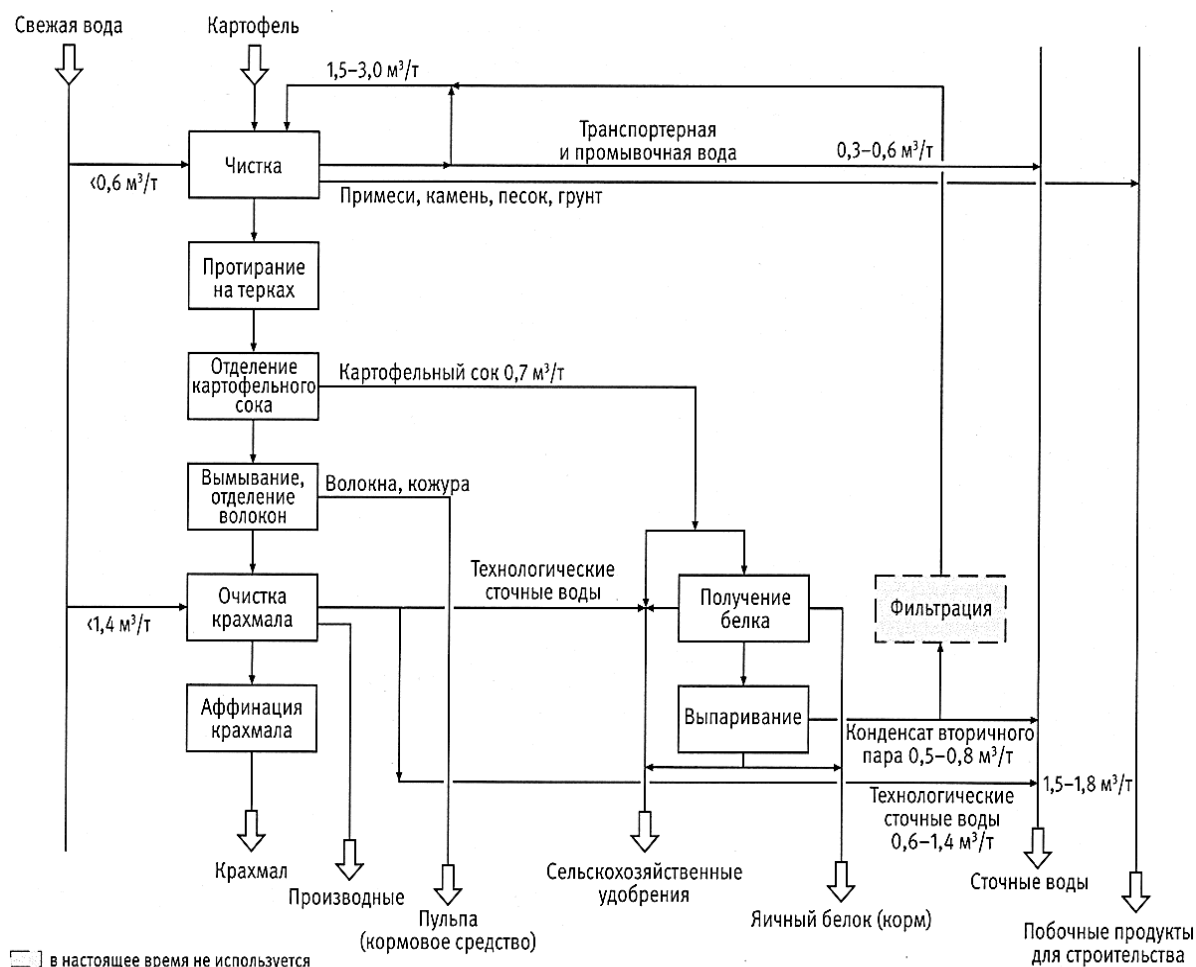


Рис. 6.5. Основная технологическая схема получения картофельного крахмала

После очистки от песка и земли картофель очень мелко измельчается с помощью терок. На этом этапе обычно добавляется бисульфит натрия для предотвращения биохимических процессов окисления, которые проходят с изменением цвета. Возникающий при измельчении картофеля картофельный сок (клеточная вода картофеля) частично отделяется, например, с помощью центрифуг или гидроциклонов и затем, как правило, подвергается коагуляции белка, для того чтобы содержащийся в картофельном соке белок отделить приблизительно на 50%.

Картофельный сок как материал при соблюдении определенных требований используется как удобрение, а после выпаривания – как кормовое средство. Либо он анаэробно обрабатывается в целях использования энергетического потенциала.

Крахмальные зерна вымываются технологической водой или с картофельным соком с помощью гидроциклонов в виде водянистой суспензии – картофельной кашки (плодовая мякоть и кожура) – в противотоке. Отмытая кашка обезвоживается и затем используется как кормовое средство в качестве так называемой пульпы.

Суспензия крахмала освобождается в процессе аффинации крахмала путем различных противоточных промывок с добавлением свежей воды и посредством тонкого просеивания от еще существующих посторонних компонентов, таких как растворенные белки и тонкие волокна.

Часть технологической воды изымается из циркуляции и, как правило, подается для использования в качестве материала для получения энергии или выводится как промышленная сточная вода.

Далее следует предварительное обезвоживание во вращающемся вакуум-фильтре и высушивание до конечного продукта – природного картофельного крахмала или дальнейшая переработка в другие крахмалопродукты.

Из-за высокого содержания воды в картофеле для производства картофельного крахмала требуется меньше свежей воды, чем при производстве крахмала из кукурузы и пшеницы, табл. 6.9.

Таблица 6.9

**Водопотребление в производственном процессе
изготовления крахмала в зависимости от использованных
видов сырья**

Сырье	Потребность воды, м ³ воды/т сырья	
	минимальная	максимальная
Кукуруза	1,7	3
Пшеница	1,7	2,5
Картофель	0,7	1,5

Норма отведения и состав сточных вод

В зависимости от исходного продукта и производственного процесса при получении крахмала возникают очень различные по объему и загрязнениям потоки сточной воды, которые кратко описаны далее.

Картофельный крахмал

При изготовлении картофельного крахмала промышленные сточные воды образуются при удалении из циркуляции в виде:

- промывочной и транспортной воды;
- промышленных сточных вод от аффинации крахмала с неотделяемым остаточным картофельным соком;
- конденсата сокового пара (при необходимости).

Отделяемый от картофеля картофельный сок обычно поставляется для получения белка. При этом коагулируют и затем отделяются около 50% содержащихся в картофельном соке белковых соединений. Получение белка из картофельного сока всегда целесообразно, так как, с одной стороны, полученный белок можно продать, а с другой стороны, биологическая обработка, особенно удаление азота (10 г белка содержат 1,7 г N₂), связана с большим потреблением органики.

Кукурузный крахмал

Технологическая вода необходима на следующих участках производственного процесса: замачивание, вымывание зародышей, удаление воды из крахмального молока, сгущение клейковины, осушение клейковины и обезвоживание кожуры. Образующаяся на данных этапах вода в непрерывно проводимом влажном процессе неоднократно используется по принципу противотока. В качестве подлежащего обработке потока сточной воды скапливается в лучшем случае только возникающий при выпаривании экстракта конденсат сокового пара.

Пшеничный крахмал

При производстве пшеничного крахмала сточные воды образуются в фазе отделения и при сгущении вторичного крахмала. Все другие отдельные потоки в процессе циркуляции воды отводятся обратно, применяются как материал в сельском хозяйстве или в целях энергетического использования для получения биологического газа.

Сточные воды при изготовлении крахмала сильно загрязнены относительно легко расщепляемыми органическими веществами. Нерасстворимые органические компоненты состоят в основном из углеводов и белков.

Обычно в этих сточных водах содержание жира составляет меньше 10% и отсутствуют токсичные вещества.

Соотношение питательных веществ ХПК: N: P является достаточным для биологического расщепления N и P или избыточно, поэтому нет необходимости добавлять питательные соли. В табл. 6.10 указаны примерные показатели сточных вод кукурузно-, пшенично- и картофелекрахмального производства.

Норма отвода и концентрации сточных вод сильно зависят от внутрипроизводственной рециркуляции воды, поэтому значения могут колебаться в зависимости от предприятия.

Обработка сточных вод

При очистке сточных вод крахмального завода применяются следующие методы:

- обработка почвы;
- система прудов;
- компактный технический метод (анаэробный, аэробный, выпаривание).

Сточные воды крахмальных заводов можно использовать для орошения. Прежде всего, недостаток орошаемых площадей, небольшое разрешенное количество заготовки и повышенные транспортные расходы привели к прекращению применения сточных вод в указанных целях.

Таблица 6.10

Данные по сточным водам в крахмальной промышленности

Наименование	ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	М _{общ} , мг/л	Р _{общ} , мг/л
Кукуруза (конденсат сокового пара)	1500-2500	1000-1700	4-8	-
Пшеница (при норме отвода сточных вод 2,5 м ³ /т муки)	25000-30000	-	1000	200
Картофель:				
– промывочная и транспортерная вода (при норме отвода сточных вод 0,3 м ³ /т картофеля)	2000	-	120	60
– производственные сточные воды, образующиеся при очистке, с остатками картофельного сока	3000-25000	-	-	-
– картофельный сок (после коагуляции белка)	50000-60000	-	3600-4400	800-1000
– конденсат сокового пара	300-2000	100-1500	–	–

Метод пруда в системе хранения (пакетная обработка) предлагается лишь для картофельного крахмала, так как лишь там имеется сезонное производство. Непрерывно эксплуатируемые пруды встречаются очень редко, поскольку они из-за высоких концентраций требуют дополнительной искусственной аэрации.

По причине потребности в значительных площадях, необходимости аэрации и повышающихся требований к качеству очистки этот метод сегодня можно рекомендовать только в качестве способа вторичной очистки.

При техническом методе наряду с общепринятым способом очистки активным илом прежде всего проводится анаэробная очистка сточных вод в качестве предварительной обработки отработанной воды. Для этого преимущественно используются реакторы с неподвижным слоем и реакторы UASB, которые при нагрузках 7-30 кг ХПК/(м³·сут) достигают 70-90% КПД.

В целях стабильности процесса можно порекомендовать для предотвращения выноса твердых веществ предусмотреть подключение устройств для предварительного отделения твердых веществ, а также отдельное предварительное подкисление ила с его дальнейшим осаждением. Для анаэробного процесса фосфора и азота достаточно; микроэлементы, такие как кобальт и никель, следует добавить при необходимости в сточную воду.

Для предотвращения осаждения магний-аммоний-фосфата (МАФ) в сточных водах при изготовлении пшеничного или картофельного крахмала) показатель pH не должен превышать 7,0.

Еще одна возможность обработки картофельного сока при производстве картофельного крахмала состоит в выпаривании сточной воды примерно до 70% сухого остатка и в последующем использовании твердого вещества (например, в сельском хозяйстве).

Чтобы сэкономить энергию для выпаривания, можно сначала применить для сгущения метод мембранного фильтрования, после этого использовать выпарную установку на каскадном предприятии при пониженном давлении.

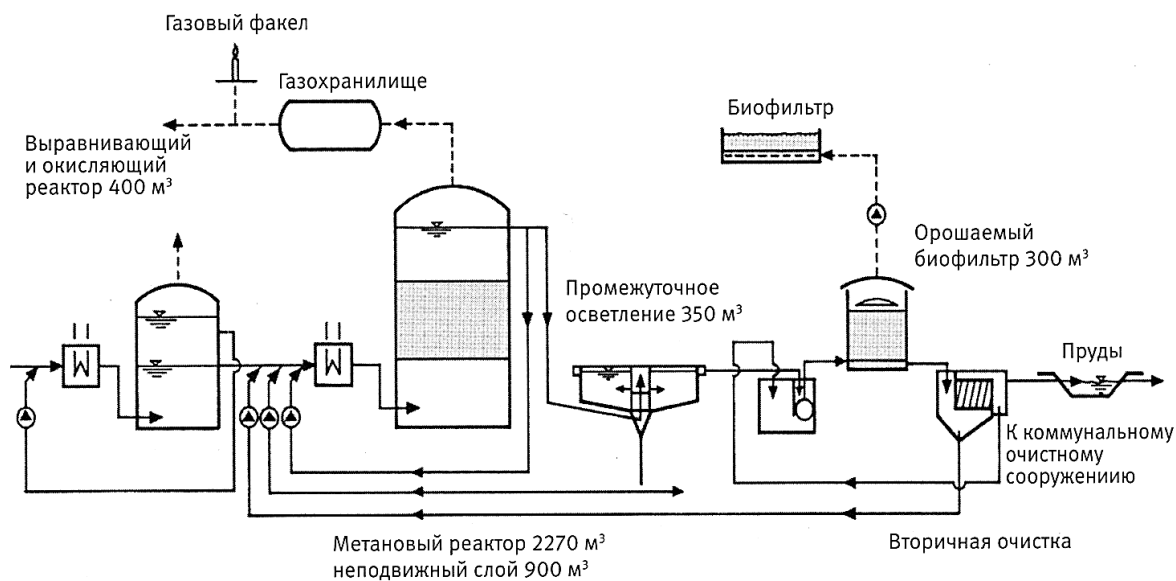


Рис. 6.6. Технологическая схема промышленного очистного сооружения пшенично крахмального завода

Если предприятие осуществляет прямой сброс сточных вод, то всегда требуется аэробная предварительная обработка.

Положительные результаты экспериментов с реакторами с неподвижным слоем для превращения в метан из сточной воды пшеничного крахмала привели к строительству промышленного очистного сооружения пшенично-крахмального завода. Технологическая схема промышленного очистного сооружения представлена на рис. 6.6.

Двухступенчатая установка состоит преимущественно из вертикально обтекаемого окисляющего реактора и метанового реактора с частично неподвижным слоем, объемы которого заполнены на 40% упорядоченно сложенным полимером с удельной поверхностью $150 \text{ м}^2/\text{м}^3$. За метановым реактором следует отстойный бассейн с рециркуляцией биомассы.

Последующая аэробная обработка происходит во входящем в состав промышленного очистного сооружения пластиковом биофильтре. Сток затем направляется на коммунальное очистное сооружение. Коэффициент полезного действия ХПК анаэробной фазы составляет приблизительно 90%.

1.22. Производство пищевого растительного масла и жира

Расход пищевого жира на одного человека составляет приблизительно 29 кг/год и в среднем состоит из 8,4 кг маргарина, 7,1 кг сливочного масла, 6,4 кг топленого жира, сала, пищевого жира, 3,6 кг столового жира и 3,5 кг пищевого растительного масла.

В промышленности по получению пищевых жиров/пищевых растительных масел различают предприятия по переработке (очистке) жира-сырца и нерафинированного масла, а также предприятия по дальнейшей переработке пищевых жиров/пищевых растительных масел, например, маргарина (маргарин состоит приблизительно из 80% жира, 20% воды, а также из добавок).

Производственная технология получения пищевых жиров и растительных масел сильно зависит от исходного материала. Различают четыре метода в зависимости от используемого сырья:

- из жира масличных семян при переработке семян (соевое, подсолнечное, рапсовое, кокосовое и другие масла);
- жира убойных животных при вытапливании сала и жира (сало и жир);
- жира плодовой мякоти (пальмовое масло, оливковое масло; по причине плохой стойкости при хранении исходного продукта изготавливаются в основном на месте произрастания);
- жира морских животных.

Переработка семян масличных культур производится в несколько этапов (рис. 6.7):

- подготовка семян (включая прессование);
- извлечение масла путем экстракции (включая обработку шрота и получение лецитина).

К подготовке семян относятся следующие технологические операции: высушивание (при необходимости), очистка, лущение (при необходимости), измельчение, кондиционирование (подогревание и увлажнение), предварительное прессование и (или) окончательное прессование. Последующая экстракция или прямая экстракция без предварительного прессования производится в противотоке с гексаном (экстракционным бензином).

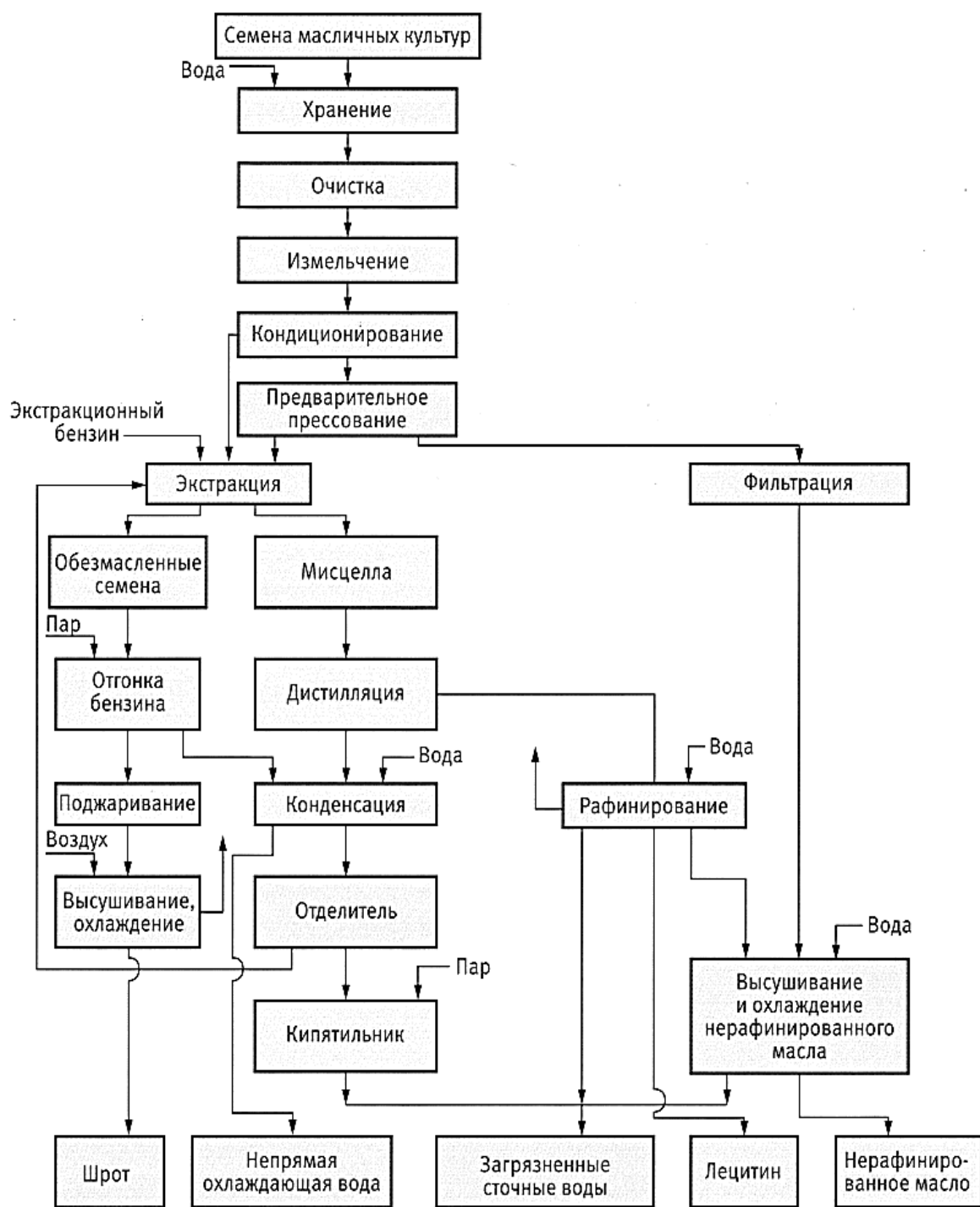


Рис. 6.7. Извлечение масла из жиров масличных семян

Смесь растворителя (гексана) и масла (мисцелла) разделяется с помощью дистилляции. Пары конденсируются. Затем гексан в статических сепараторах отделяется от воды и снова вводится в процесс. Остаток гексана в технологической воде отгоняется при помощи нагревания (отваривания).

В сыром масле содержатся органические фосфорные соединения (например, фосфолипиды, лецитин). При помощи подмешивания воды гидратируемый компонент набухает и благодаря этому осаждается в центрифугах (рафинация). Согласно техническому оснащению, барометрическую воду после высушивания лецитина и масла направляют на рециркуляцию.

Жир убойных животных получают путем термического разрушения заранее измельченной жировой ткани и последующего отделения в сепараторах. Различают сухой способ жиротопления, при котором не скапливается сточная вода, и влажный способ жиротопления, при котором она может образовываться с удельным выходом $0,35 \text{ м}^3/\text{т}$ исходного продукта (без очищенной сточной воды). Эта отработанная вода состоит в основном из клеевой воды и закрытой воды сепараторов.

Норма отведения и состав сточных вод

Удельная норма отведения сточных вод при подготовке масличных семян составляет $0,1-0,2 \text{ м}^3/\text{т}$ семян. При помощи рекуперации гексана отработанная вода содержит лишь следы гексана. Типичные компоненты приведены в табл. 6.11.

В зависимости от вида подготовки сырья и метода, использованного для очистки сточных вод, образующихся в производственной установке для вытапливания жира, можно зафиксировать очень разные концентрации загрязнений. Состав сточных вод после прохождения через жиротделители со шламоуловителями можно описать из значений (табл. 6.12), причем доля эмульгированных жиров также может быть существенно выше, чем указано.

Таблица 6.11

Типичные данные по отработанной воде при подготовке масличных семян

Место сброса	Удельная норма отвода сточных вод, $\text{м}^3/\text{т}$ используемых семян	ХПК, мг/л	$N_{\text{общ.сут}}$, мг/л	P, мг/л
Кипятильник	0,1-0,2	<2000	<60	<10

При переработке нерафинированного масла (рафинации) сырые масла освобождаются от нежелательных примесей.

В методике рафинации различают химическую и физическую рафинацию. Химическая рафинация дает возможность обработки особых свойств сырья и небольших партий продукта. Для этого используются такие производственные вспомогательные вещества, как щелочи и кислоты. Из химической рафинации в сточной воде образуются соответствующие эмиссии. Свободная жирная кислота возвращается обратно через омыление и последующее расщепление мыла.

Таблица 6.12

**Концентрации сточных вод при получении
нерафинированного масла**

Осаждаемые вещества, мл/л (0,5 ч)	ХПК, мг/л	Температура (после охлаждения), °С	Показатель рН	Труднолетучие жирорастворимые вещества, мг/л
<1	5000-10000	30-35	6-7	<100

Последовательность процесса при химической рафинации состоит в основном из повторной рафинации, снижения кислотности, осветления и дезодорации (пропаривания). Образующиеся отходы перерабатываются. Отработанная вода появляется при повторной рафинации/влажной нейтрализации, сушке и охлаждении масла, пропарке (барометрическая вода из конденсации вторичного пара), а также при расщеплении мыла (кислая вода).

Физическая рафинация основана на том, что снижение кислотности может производиться путем не только нейтрализации жирных кислот, но и дистилляции. К преимуществам физической рафинации относятся незначительная потребность в химических реактивах для процесса, незначительные потери и небольшое количество отработанной воды.

Свойства частичных потоков при химической и физической рафинации принципиально одинаковые. Как правило, при физической рафинации не возникает кислая вода от расщепления мыла. В кислой воде из-за используемого сырья и производственных материалов, технологических операций в качестве компонентов следует ожидать выхода лецитина (фосфолипиды), фосфата кальция, сульфата натрия, жирных кислот (частично в виде мыла кальция или натрия), моно-, ди- и триглицерида, глицерина, белка, альдегидов, кетонов, лактонов, стероидов, табл. 6.13.

Таблица 6.13.

**Типичные концентрации сточных вод при рафинации
сырого масла**

Место образования	Удельная норма от- вода сточных вод, м ³ /т используемого масла	ХПК, мг/л	N _{общ} (орг. и неорг.), мг/л	P, мг/л
Кислая вода из расщепле- ния водных смесей продуктов (таких как мыла, продукты перегонки)	<1,5	<20 000	<200	<500
Отработанная вода из кон- денсационных и вакуумных установок, после дистилляционных нейтра- лизаций/обработок паром	<1	<20 000	<200	<10

Сточные воды при производстве маргарина образуются исключи-
тельно в циклах очистки установок для безразборной мойки и дезин-
фекции оборудования (CIP) (Cleaning in Place), при этом образуется
около 1-3 м³/т маргарина. Характерные параметры и показатели воды
для мойки и промывной воды после протекания через маслоотделитель
представлены в табл. 6.14.

Таблица 6.14

. Концентрации сточных вод при производстве маргарина

ХПК, мг/л	ХПК/БПК ₅	Труднолетучие жирорас- творимые вещества, мг/л	Температура, °С	Показатель рН
1000-2000	1,5-2,0	50-350	<35	5-9

Минимальные требования к сбросу сточной воды после произ-
водства масличного сырья, рафинации столового жира и пищевого рас-
тительного масла сформулированы в табл. 6.15. Получение животных
масел и жиров не подпадает под сферу, рассматривающего, однако, их
рафинацию.

Таблица 6.15

**Требования к составу сточных вод в месте сброса
отработанной воды (в скобках – требования части F)**

Специфические требования к производственным мощностям для исходного продукта	БПК ₅ , г/т	ХПК, г/т	N _{общ.неорг} , мг/л	P _{общ} , г/т	Удельный объем сточных вод, м ³ /т
Приготовление семян	5(13)	20 (55)	30	0,4 (1,5)	0,2 (0,5)
Рафинация	38	200 (225)	30	4,5 (7,5)	1,5 (1,5)

Обработка сточных вод

В концепциях по обработке сточных вод производственно-интегрированной защите окружающей среды отводится первостепенное значение, в особенности рециркуляции отдельных потоков (таких как барометрическая вода при дистилляционном удалении кислот и пропаривании), предотвращению и сокращению потерь веществ при внутри процессном использовании или получении побочных продуктов, применению низкофосфористого сырья, а также использованию водосберегающих методов, например, противоточной промывке.

Методы обработки сточных вод состоят, в первую очередь из механико-физической предварительной обработки в жируловителе или отстойнике для выделения всплывающих примесей или флотационным способом для уменьшения содержания нерастворимых и жирорастворимых веществ. В установках жируловителя или отстойника, КПД которых посредством действия горячей воды может быть сокращен, всплывающие примеси будут составлять лишь минимальную часть. При флотационном способе также возможно удаление жирорастворимых веществ, представленных в эмульгированном виде.

Особенно эффективными являются декомпрессионные флотации с потоком рециркуляции приблизительно 10-40%, которые рассчитываются при рабочем давлении 4-7 бар для нагрузки на поверхность 4-5 м³/(м²·ч).

К этому часто добавляются смесительный и уравнивательный резервуары с целью выровнять пики температуры и показателя рН и, при необходимости, сделать возможным постоянную нагрузку на последующей биологической фазе.

При биологической очистке прежде всего зарекомендовали себя аэробные методы очистки сточных вод активным илом с нагрузкой на активный ил около 0,1 кг БПК₅/(кг СВ·сут). Совместная очистка в коммунальных очистных сооружениях не представляет, таким образом, проблемы. Чтобы избежать всплывания ила и образования пенистой и плавающей корки, содержание жиров при подаче должно быть не более 200 мг/л (измерено как петроэфирный экстракт). Соотношение питательных веществ ХПК: N: P в необработанных сточных водах (см. табл. 6.13) следует особенно учитывать с точки зрения удаления фосфора.

Модификация: переэтерификация

Полученные из рафинации сырые растительные и животные масла могут изменяться в зависимости от использования. Для получения биогенного топлива применяют переэтерификацию в качестве химического процесса. Путем изменения структуры молекул жира физические свойства масла могут изменяться, в результате чего соблюдаются специфические требования к топливу для двигателя.

Под переэтерификацией или алкоголизом понимают обмен связанного в сложном эфире (например, в растительном масле) спирта (например, трехвалентного спирта глицерина) на другой (например, одновалентный спирт метанол). В качестве исходных веществ необходимы, например, рапсовое масло (триглицерид) и метанол.

Таблица 6.16

Сопоставление вспомогательных веществ, энергетических затрат и выбросов различных методов производства 1 т сложного эфира метила рапса

Наименование	Авто- клавный метод	Feld&Hahn, Aschach	Feld&Hahn, Olm. Leer	Метод Лурги	Метод Vogel&Noot
Режим	Непрерывный режим эксплуатации, 50 бар, 200 °С	Циклический режим без давления, 70 °С	Непрерывный режим без давления, 70 °С	Непрерывный режим без давления, 60-75 °С	Циклический режим без давления, комнатная температура
Требования на выходе (эдукт)	Рафинация 1040 кг	Полностью рафинируется 1021 кг	Рафинация 1040 кг	Рафинация 1010 кг, удаление кислоты	Рафинирование водой
Конечная энергия/термический поток	968/30 кВт · ч	483/64 кВт · ч	178/17 кВт · ч	211/16 кВт · ч	90/58 кВт · ч
Выпуск сырого глицерина	130 кг 81%-го	1062 кг 88%-го	132 кг 80%-го	116 кг 80%-го	101 кг 88%-го
Потребность во вспомогательных веществах	Метанол: 135 кг Катализатор: 1,5 кг	Метанол: 132 кг NaOH (96%-й): 4 кг Лимонная кислота: 1 кг Соляная кислота: 13 кг Ca(OH) ₂ : 6 кг	Метанол: 109 кг NaOH (96%-й): 7 кг Отбеливающая земля: 5 кг HCl: 20 кг Ca(OH) ₂ : 3 кг Na ₂ CO ₃ : 2,5 кг Фосфорная кислота (85%-я): 2 кг	Метанол: 109 кг Натрия метилат: 6 кг HCl: 13,5 кг Ca(OH) ₂ : 0,8 кг Na ₂ CO ₃ : 1,3 кг Фильтровальное вспомогательное вещество: 2 кг	Метанол: 112 кг KOH (88%-й): 14 кг Вода: 40 кг Уксусная кислота: 0,3 кг KOH (50%-й): 4 кг Фосфорная кислота (85%-я): 20 кг
Отходы	Сточные воды: 18,5 кг	Сточные воды: 35 кг Фильтровальный осадок: 36 кг	Отработанная отбеливающая земля: 7 кг Жирные кислоты: 31 кг Остатки: 18,5 кг	Жировая фаза: 3 кг Фильтровальный осадок: 10 кг Сточные воды: 15 кг	Сточные воды: 45,3 кг Гидрофосфат калия: 21 кг Жировая фаза: 67 кг

Конечными продуктами являются сложный эфир метила рапса (метиловые эфиры жирных кислот) и глицерин. Реакция ускоряется катализатором, для чего используются щелочные соединения, такие как раствор едкого натра или раствор едкого калия.

Методы для производства сложного эфира метила рапса приведены в табл. 6.16.

Потери метанола при рекуперации ведут к высоким нагрузкам по ХПК в сточных водах.

1.23. Картофелеперерабатывающая промышленность

Картофель делится на кормовой, технический (для производства крахмала, спирта) и пищевой. В картофелеобработывающем производстве следует различать три отрасли: производство свежих продуктов (например, отваренный без кожуры картофель, предварительно сваренный картофель, картофельные салаты, стерилизованный картофель или картофельные продукты), производство сушеных продуктов (например, сушеного картофеля, картофельного пюре) и производство жареных продуктов (например, картофеля фри, чипсов).

Перед производством конечного продукта картофель предварительно очищается сухим способом и сортируется, при необходимости подвергается промежуточному хранению, мокрым или сухим транспортируется на предприятие, промывается или очищается (механически и (или) паром), рис. 6.8.

При производстве жареных продуктов после этапа очищения кожуры производится резка, сортировка/промывка, бланширование, обезвоживание, жаренье и при необходимости охлаждение.

Норма отведения и состав сточных вод

Сточные воды образуются при мойке, очищении от кожуры, резке/сортировке/промывке, бланшировании и обезвоживании (варке паром).

Удельные количества компонентов отработанной воды технологических операций представлены в табл. 6.17. Важнейшие компоненты сточных вод образуются из картофельного сока и содержащегося в нем картофельного крахмала, причем 1 г крахмала/л соответствует одному БПК₅, равному 1230 мг/л.

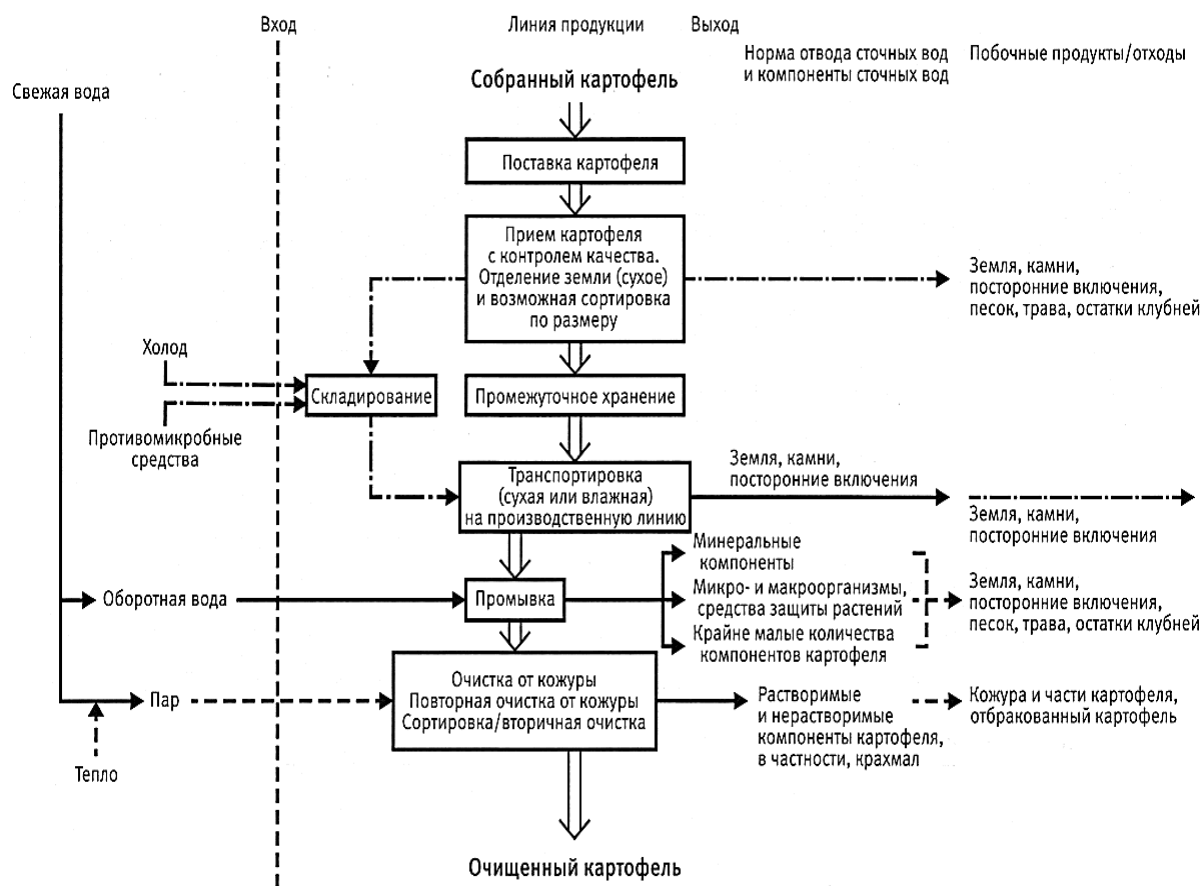


Рис. 6.8. Подготовка картофеля для изготовления продукции.
Схема технологического процесса (очищенные сточные воды не показаны)

Загрязнение отработанной воды, таким образом, в значительной степени зависит от сорта картофеля (размеров клубней), условий при росте и хранении, а также способа обработки (надрезанные или поврежденные клубни картофеля).

Минимальные требования к сбросу отработанной воды от картофельного производства представлены в табл. 6.18.

Очистка сточных вод

Большинство предприятий, на которых картофельная продукция производится для потребления людьми, подключены к канализационной системе (непрямой сброс сточных вод).

Таблица 6.17

**Удельные объем и концентрации сточных вод в
картофелеперерабатывающей промышленности (без
очищенных и бытовых сточных вод)**

Этап обработки	Удельная норма от- вода сточ- ных вод, м ³ /т	Осаждае- мые вещества, г/л	ХПК, г/л	БПК ₅ , г/л	N, мг/л	P, мг/л
Промыва- ние/мойка	0,3-0,5	—	—	0-1,5	—	—
Очистка от кожуры: механический способ паровая очистка	0,8-1,5 0,2-0,3	— —	— —	— 2,9-13,0	0,9 —	— —
Резка/сорт- ровка/промывка	<0,1	—	—	—	—	—
Бланширование	0,05-0,15	—	—	12-18	1,05	—
Варка на пару (обезвоживание)	0,15-0,25	-	-	6-8	-	-
Приготовление теста для клёцек	0,8-1,3	3-5	7-12	1,5-2,8	300- 500	40-70
Сухая продукция	2-3	-	22-27	12,9- 18,0	N _{орг} ,70 0-800	190- 230
Жареная продукция (картофель фри)	-	-	14-41	5,2-21,6	400- 1300	450- 1250
Картофельные чипсы	3,9	-	18-54	20	200- 2400	10-250

Установки для предварительной обработки сточных вод для предприятий с прямым (в водоем) и непрямым (в канализацию) сбросом сточных вод часто состоят из следующих узлов: песколовок, решеток, отстойных бассейнов для очистки циркуляционных транспортно-моечных вод.

**Требования к составу сточных вод в месте сброса
отработанной воды**

БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л	NH ₄ -N, мг/л	N _{общ.неорг} , мг/л	P _{общ} , мг/л
25	150	10	18	2

Производственно-интегрированные установки для просеивания и сепараторы используются для выделения из промышленных сточных вод органических твердых веществ, из которых вырабатывается вторичное сырье (например, корм для скота). Жироотделители следует применять при очистке жиросодержащей сточной воды, получающейся, например, при жарении во фритюре.

Смесительные и уравнительные резервуары при переработке картофеля необходимы, прежде всего, из-за сильно колеблющихся дневных и недельных нагрузок. Как правило, они располагаются перед входом сточных вод в биологическую часть очистных сооружений, принадлежащих предприятию или коммунальных.

Биологические методы применяются для предварительной и окончательной обработки сточных вод. Несмотря на широкое применение в промышленности аэробных и анаэробных методов, прежде всего, наиболее эффективны установки для очистки сточных вод активным илом, которые выполнены одноступенчато или в виде каскада и рассчитаны для нагрузки на активный ил приблизительно 0,1 кг БПК₅/(кг СВ · сут). Активный ил характеризуется преобладанием волокнистых микроорганизмов и, следовательно, склонен к вспуханию.

В последние годы в картофелеперерабатывающей промышленности также интенсивно возводились анаэробные установки, где чаще всего используются реакторы UASB (гидравлические нагрузки около 7-10 кг ХПК/(м³·сут)). Для надежности эксплуатации этих реакторов необходимо предварительное осаждение в приемном канале, а также обеспечение максимально постоянного и нейтрального показателя pH. Из-за высоких концентраций отдельных компонентов крахмала предварительно должен подключаться реактор для гидролиза и предварительного подкисления с временем удерживания >5 ч. Минимизация загрязняющей нагрузки – пример при изготовлении картофеля фри.

Таблица 6.17

**Удельные объем и концентрации сточных вод в
картофелеперерабатывающей промышленности (без
очищенных и бытовых сточных вод).**

Этап обработки	Удельная норма от- вода сточных вод, м ³ /т	Осаждае- мые веще- ства, г/л	ХПК, г/л	БПК ₅ , г/л	N, мг/л	P, мг/л
Промывание/мойка	0,3-0,5	—	—	0-1,5	—	—
Очистка от кожуры: Механический способ	0,8-1,5	—	—	—	0,9	—
Паровая очистка	0,2-0,3	—	—	2,9-13,0	—	—
Резка/сорт- ровка/промывка	<0,1	—	—	—	—	—
Бланширование	0,05-0,15	—	—	12-18	1,05	—
Варка на пару (обезвоживание)	0,15-0,25	—	—	6-8	—	—
Приготовление теста для клёцек	0,8-1,3	3-5	7-12	1,5-2,8	300-500	40-70
Сухая продукция	2-3	—	22-27	12,9-18	700-800	190- 230
Жареная продукция (картофель фри)	—	—	14-41	5,2-21,6	400- 1300	450- 1250
Картофельные чипсы	3,9	—	18-54	20	200- 2400	10-250

Таблица 6.18

**Требования к составу сточных вод
в месте сброса отработанной воды.**

БПК ₅ ,мг/л	ХПК, мг/л	NH ₄ -N, мг/л	N _{общ.неорг.} мг/л	P _{общ.} мг/л
25	150	10	18	2

Минимизация загрязняющей нагрузки в сточных водах благодаря внутрипроизводственным мероприятиям показана на примере возможного стока технологической воды при изготовлении картофеля фри, рис 6.9.

1.24. Промышленность, перерабатывающая овощи и фрукты

На многих предприятиях перерабатываются различные фрукты и овощи. К овощам относятся корнеплодные, луковые и клубнеплодные овощи, черешковые и побеговые овощи, листовые и цветковые овощи, плодовые овощи и семенные овощи. Сюда же относятся тыквы и ревень.

В качестве овощного пюре служит сбраживаемый, несброженный или молочнокислосброженный, полученный из протёртых, годных в пищу частей целых или очищенных от кожуры овощей без отделения сока продукт. К фруктам относят съедобные плоды или семена многолетних, чаще всего деревянистых, растений, а также семечковые плоды, косточковые плоды, ягоды и орехи. Одна группа охватывает фрукты из тропических и субтропических стран, которые обозначаются как тропические плодовые культуры.

В промышленной переработке овощей и фруктов можно выделить два производственных этапа: предварительная обработка и консервирование.

Предварительная обработка для различных методов консервирования у большинства продуктов одинаковая. К возможным технологическим операциям относятся поставка, промывание, переборка, очистка или измельчение/удаление косточек, сортировка, бланширование.

Производственное консервирование охватывает следующие возможные процессы: тепловую обработку (стерилизация выше 100 °C с показателем $pH > 4,5$ или пастеризация от 71 до 100 °C с показателем $pH < 4,5$ или замораживание; добавление уксуса, соли или сахара; высушивание или сбраживание.

Продукты из сушеных овощей, например, из бобов, моркови, лука и петрушки, используются для производства супов. Производство сушеных фруктов имеет второстепенное значение. Квашение капусты

основывается на процессе сбраживания: фруктоза в белокочанной капусте бродит с помощью бактерий молочной кислоты.

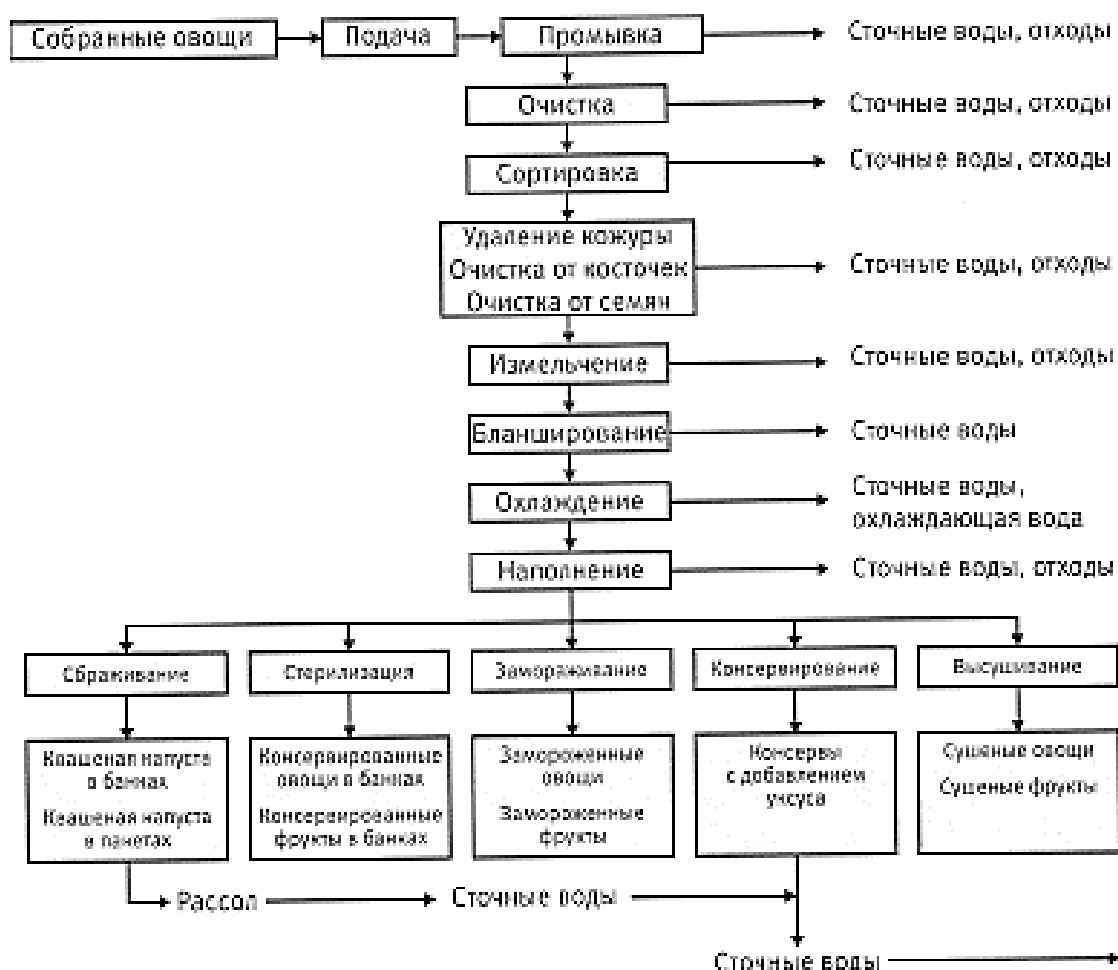


Рис. 6.10. Схематическое изображение производственной линии для изготовления овощных и фруктовых консервов

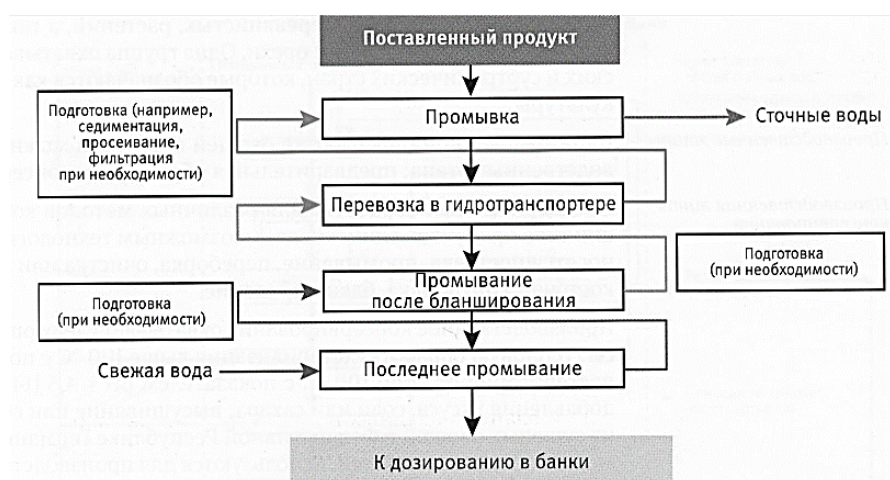


Рис. 6.11. Схематическое изображение процесса промывания в противотоке

Меры по предотвращению образования и уменьшению объема отработанной воды в представленных на рис. 6.10 потоках сточных вод даны для примера через уменьшение использования свежей воды путем изменения режима расхода воды.

Промышленная переработка овощей и фруктов в общем подчинена сезонным колебаниям в соответствии с севооборотом. Тем не менее из-за широкого производственного ассортимента многие предприятия могут работать в течение всего года. На рис. 6.12 представлен пример плана по переработке для предприятий по производству консервов с добавлением уксуса.

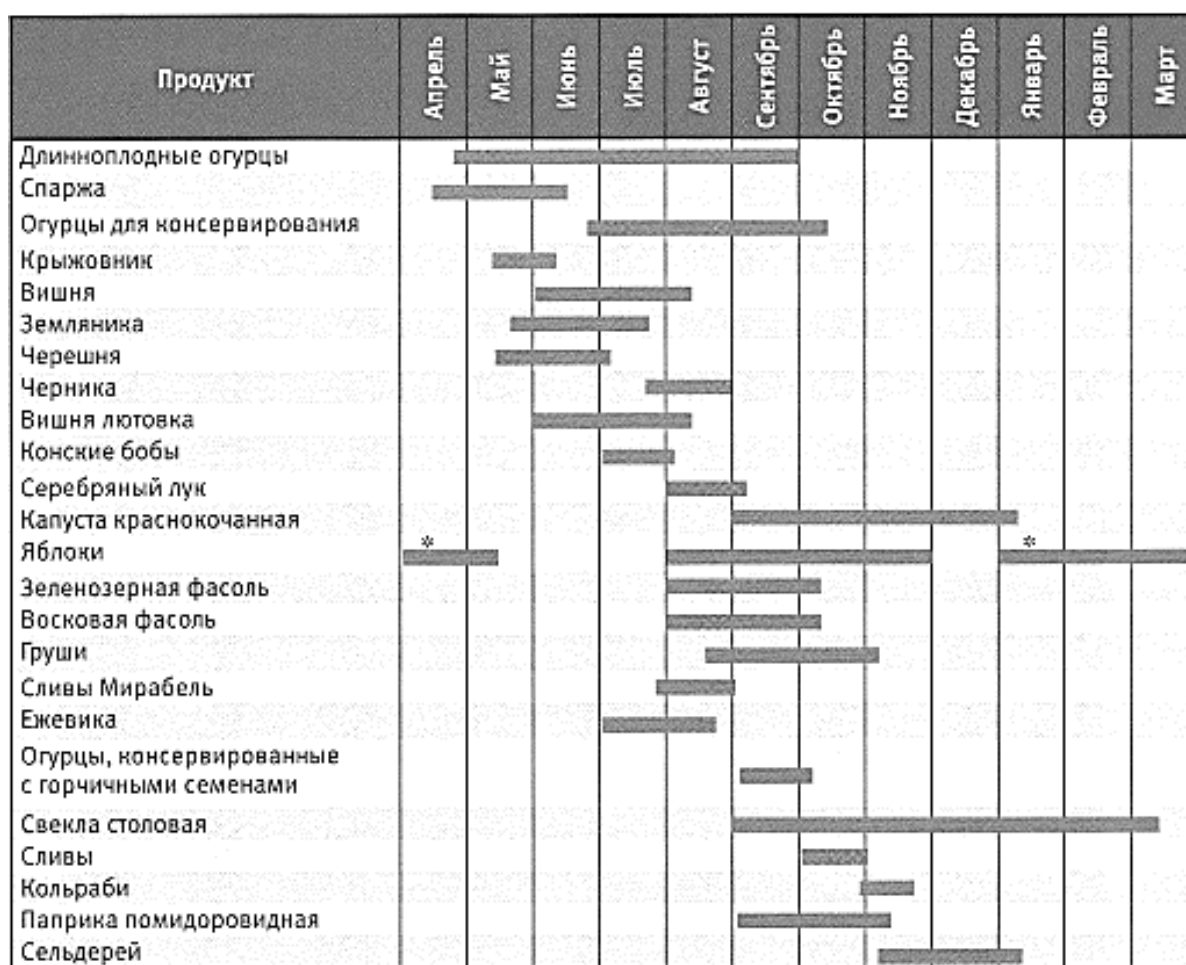


Рис. 6.12. План переработки для предприятий по производству консервов с добавлением уксуса

Норма отведения и состав сточных вод

При промышленной переработке овощей и фруктов образуются высоко загрязнённые органикой отдельные потоки сточных вод, состоящие из высокомолекулярных белков, жиров и углеводов. По причине

сезонного характера работ как количество сточных вод, так и степень их загрязнения подвержены сильным колебаниям. Отдельные потоки сточных вод могут разделяться по точкам поступления на промывочную воду, воду от очистки, воду от бланширования, охлаждающую воду, потери при наполнении/розливе, свежую воду, раствор брожения, воду для мойки или воду для промывки.

Максимальное загрязнение сточных вод происходит при очистке, бланшировании и изготовлении квашеной капусты. Вода от очистки является сильно загрязненной органикой (содержание ХПК в зависимости от продукта 10-20 г/л).

При щелочной очистке наблюдаются высокое значение показателя pH и высокая солевая нагрузка. Загрязнение при бланшировании поступает при выщелачивании бланшированных продуктов и утечке соковой воды при последующем охлаждении. С возрастающим измельчением сырья значительно возрастает загрязнение сточных вод.

Если предпринимать водосберегающие внутрипроизводственные меры профилактики, то можно исходить из указанных в табл. 6.19 ориентировочных значений.

Таблица 6.19

**Ориентировочные значения водопотребления,
характерного для конкретного продукта отдельных групп
продуктов при учете водосберегающих мер**

Вид продукции	Удельное водопотребление, м ³ /т
Стерилизованные консервы- фрукты	2,5-4,0
Стерилизованные консервы- овощи	3,5-6,0
Замороженные продукты	5,0-8,5
Квашеные, соленые или маринованные плоды, или овощи	3,0
Фруктовые соки	6,5
Джем/варенье	6,0
Детское питание	6,0-9,0

Минимальные требования к сбросу отработанной воды из фруктово-овощного производства сформулированы в табл. 6.20.

Таблица 6.20

Требования к составу сточных вод в месте сброса отработанной воды

БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л	NH ₄ -N, мг/л	N _{общ.неорг.} мг/л	P _{общ.} мг/л
25	110	10	18	2

Очистка сточных вод

Большинство предприятий, производящих фруктово-овощную продукцию, подключены к канализационной системе (непрямой сброс сточных вод). Значительные сезонные и производственные колебания состава и концентрации требуют от очистных сооружений предприятий высокой гибкости.

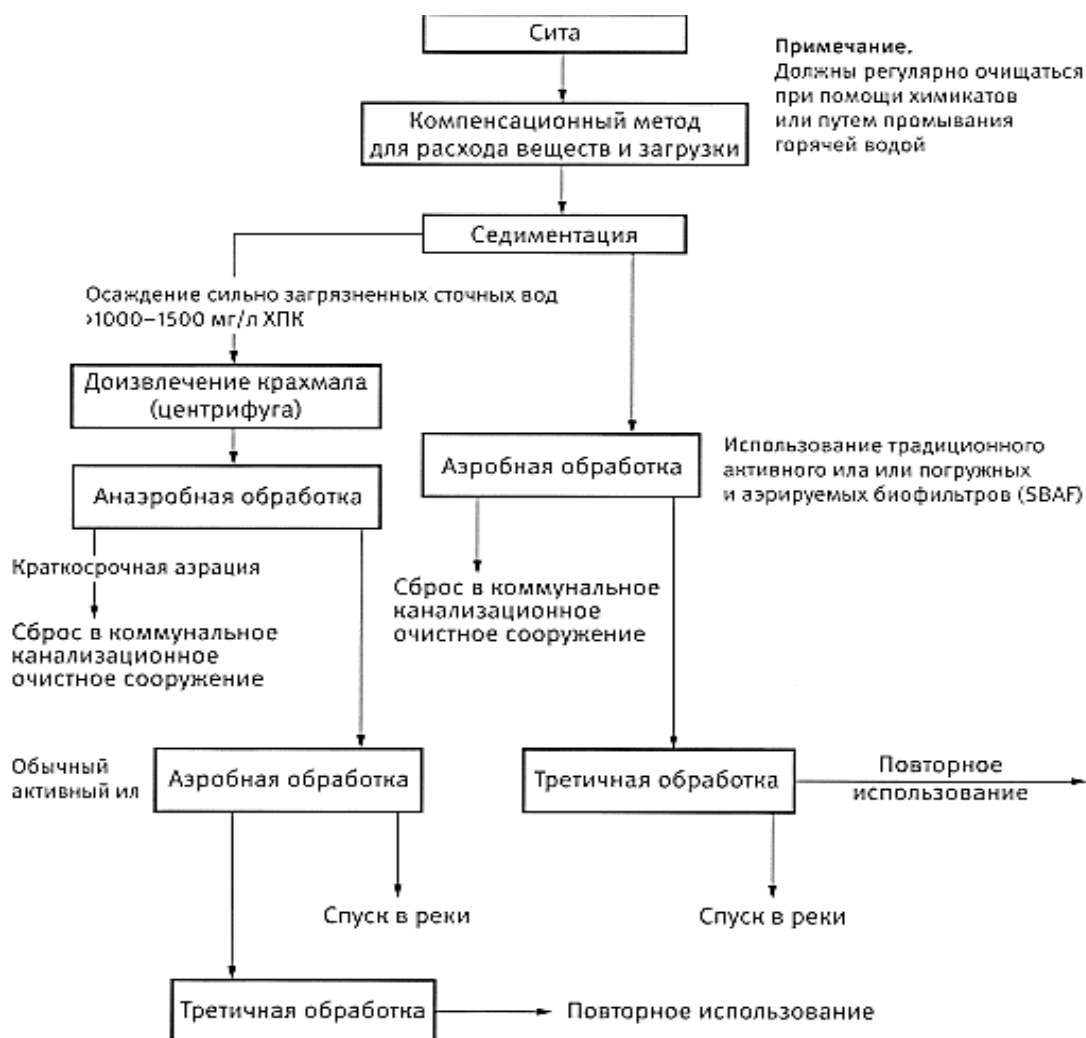


Рис. 6.13. Методы обработки сточных вод

Независимо от следующей ступени очистки сточные воды должны сначала подвергнуться механической очистке. Для отделения твердых веществ предлагаются установки для просеивания. Промывные воды должны к тому же проходить через песколовки. Дополнительно перед биологической очисткой, как правило, требуется нейтрализация. На рис. 6.13 представлены возможные варианты обработки сточных вод.

Сточные воды от промышленной переработки овощей и фруктов очищаются анаэробным и (или) аэробным методам без ограничения.

Все известные методы применимы и частично также используются на практике. Хорошо зарекомендовал себя прежде всего комбинированный анаэробно-аэробный метод.

Производство фруктового сока

Технология производства фруктового сока позволяет упрощенно разделить этапы производства на промывание, измельчение, осветление, фильтрацию, нагревание, охлаждение после нагревания и на фасовку, рис. 6.14.

Промышленные сточные воды состоят из следующих потоков (при определенных условиях некоторые из них могут отсутствовать): сточные воды после очистки бутылок и резервуаров, и фасовки, транспортерная и промывочная вода, конденсат вторичного пара, сточные воды из производственных установок, сточные воды от очистки поверхности в производственных цехах и нагруженных продуктами дворовых, и производственных площадей предприятия, а также от очистки транспортных устройств.

При производстве фруктового сока потери продуктов (прежде всего, при потере концентрата плодового сока), а также частичная потеря сахара составляют существенную долю загрязнения сточных вод. Помимо сточных вод в соковой промышленности образуются взвешенные частицы, фильтрат, осадок при осветлении, выжимки и кизельгур. Из-за высокого потенциала загрязнения эти вещества должны приниматься во внимание при внутрипроизводственных мероприятиях и, по возможности, утилизироваться отдельно или удаляться.

Видно, что сточные воды соковой промышленности по отношению к БПК₅ обладают низкими концентрациями азота и фосфора.

Таблица 6.21

**Удельные объем и концентрации сточных вод при
производстве минеральной воды,
освежающих напитков и соков**

Наименование	Удельный расход, м ³ /1000 л напитка	БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л	N _{общ} – N _{мг/л}	P _{общ} – P, мг/л
Минеральная вода и прохлад- ные напитки	0,9-1,3 (минеральная вода), 1,1-3,3(прохлади- тельные напитки)	100-800	200-1600	2-35	0-18
Фруктовые соки (только розлив)	—	250-1000	1500-3000	1,2-10	1,5-12,0
Фруктовые соки (только переработка)	—	1700-4000	2500-4500	5-30	3-15
Фруктовые соки (переработка + розлив)	—	400-2000	400-3000	9-25	2-14

Показатель рН может быть от 3,5 до 11,5, причем при контакте продуктов показатель рН в большинстве случаев кислый.

В промышленности по производству безалкогольных напитков большинство предприятий подключены к канализационной системе (непрямой сброс сточных вод). В 2002 г. в Германии было около 465 производителей фруктовых соков, из которых 7 производили сброс непосредственно в водоемы.

Чтобы иметь возможность соблюдать требования к непрямому сбросу сточных вод, часто необходимо выравнять пик показателя рН и снижать температуру (предельное значение <35 °С). Поэтому установки для предварительной обработки сточных вод нередко охватывают фазы нейтрализации.

Из-за высокой стоимости химикатов в большинстве случаев рекомендуется биологическая нейтрализация, например, в аэрируемом смесительном и уравнительном резервуаре. В качестве вымывающего реактора он также может достигать эффективности очистки БПК₅ приблизительно от 5% (выравнивание суточного потребления) до >50%

(выравнивание недельного потребления). Должно уделяться внимание и щелочной воде из бутылкомоечных машин, которую при необходимости следует поместить в отдельный резервуар и дозированно подавать на очистку.

На предприятии по переработке и розливу соковой продукции используется, к примеру, следующая установка для предварительной обработки сточных вод перед сбросом в канализацию.

Вся сточная вода, кроме бытовых сточных вод и охлаждающей воды, собирается и направляется в установку для предварительной обработки сточных вод.

Предварительная обработка сточных вод состоит из осаждения твердых веществ, выравнивания масс суточного потребления, нейтрализации в резервуаре и буферной емкости, из седиментации (предварительное осветление) и биологической очистки в аэрируемой погружной установке с неподвижным катализатором в форме контейнера с вторичным осветлением для осаждения избытка ила.

Отделение твердых веществ производится через барабанное сито с шириной щели 1,5 мм.

Для нейтрализации и буферизации сточных вод имеются две емкости. Понижение показателя рН происходит, как правило, при помощи CO_2 в емкости для нейтрализации. Во время производственного сезона необходимы небольшие дозы NaOH для повышения показателя рН в буферной емкости.

Из-за однотипного состава питательных веществ сточных вод туда добавляются питательные вещества в виде мочевины и гидрофосфата аммония.

Первичный фильтрационный осадок и избыток ила временно хранятся в резервуаре для хранения ила, отстоянная сливная вода закачивается обратно в установку. Сгущенный ил принимается в коммунальное очистное сооружение, там стабилизируется и вместе с образующимся там избытком ила спускается на сельскохозяйственные поля.

1.25. Пивоваренные заводы

Пиво является алкогольным и содержащим углекислоту напитком, который производят из солода (пророщенного и высушенного ячменя), хмеля, дрожжей и воды.

Различные сорта пива (разливное пиво, нормальное пиво, низового брожения, верхового брожения) создаются преимущественно путем установки различных плотностей начального сусла и применения разнообразных сортов дрожжей и солода.

Основными технологическими операциями производства пива после солодоращения являются приготовление сусла, сбраживание, хранение, фильтрация и розлив, рис. 6.15. Компоненты крахмала в солоде (в Германии в качестве сырья используется чаще всего ячмень) должны перед сбраживанием в алкоголь превратиться в сбраживаемый сахар.

Норма отведения и состав сточных вод

Побочные продукты и отдельные потоки сточных вод образуются при производстве пива в варочном цехе, холодильном отделении, бродильном цехе и цехе дображивания, фильтрационном цехе и цехе дображивания пива в емкостях под давлением, при удалении спирта и при розливе (бутылки, бочки, прочая упаковка). Сточные воды пивоваренного завода подвержены сильным количественным и концентрационным колебаниям в отдельных потоках.

Если уже приняты внутрипроизводственные меры, то можно исходить из следующих значений в общем потоке сточной воды пивоварни, табл. 6.22.

Температуры в сточных водах пивоваренного завода являются относительно высокими (25-35 °С) и обнаруживают при увеличивающихся объемах сточных вод тенденцию к возрастанию (40 °С). Следует учитывать сильно изменяющиеся показатели рН (от 3 до 12), которые на предприятиях с розливом в многооборотные бутылки (мойка бутылок) обычно находятся в щелочном диапазоне.

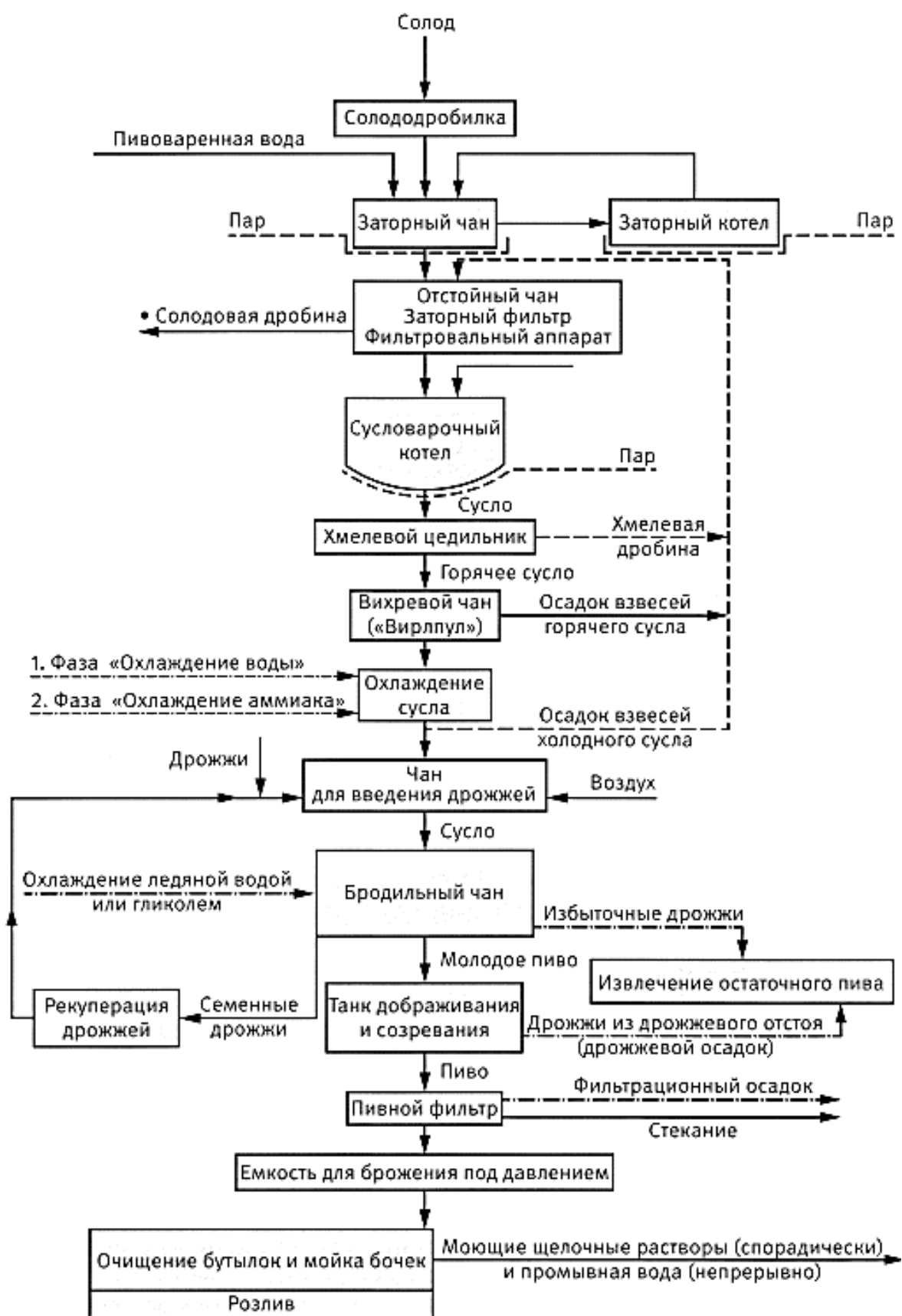


Рис. 6.15. Основная технологическая схема производства пива

Из стоков, подаваемых на очистку, и от регенерации ионообменных установок (для водоподготовки) образуются порой кислые сточные воды. Содержание азота представлено по большей части органическим азотом (белок, дрожжи) и частично нитратом (азотная кислота). Следует учитывать влияние чистящих и дезинфицирующих средств, а также выход кизельгура, продуктов истирания бутылок и осколков.

Таблица 6.22

**Удельные расходы и концентрации сточных вод на
пивоваренном производстве**

Удельная норма отвода сточных вод, м ³ /гл товарного пива	БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л	N _{общ} — N _{мг/л}	N _{общ} — N _{мг/л}	Осаждаемые вещества мл/л
0,25-0,60 0,38	1100- 1500	1800-3000 1013-7775	30-100 22-1069	10-30 0,8-113	10-60 1-118

Путем внутрипроизводственных мероприятий можно добиться существенного понижения загрязняющих нагрузок, температур и количества твердых веществ, а также ограничения показаний рН. Важным мероприятием является выделение и отдельная утилизация осадка взвесей сусла, кизельгура и дрожжей, а также промежуточное хранение и дозированная подача щелочи.

Следующие мероприятия дают возможность уменьшить загрязняющие нагрузки или объем сточных вод:

- использование диоксида углерода вместо воды для очистки (регенерации) биофильтра после окончания фильтрации;
- предотвращение попадания продукции (например, во время процесса охлаждения сусла) в замкнутый цикл охлаждения, для того чтобы это не привело к массовому размножению микроорганизмов и связанным с этим отложениям;
- сбор и утилизация остаточного пива;
- отдельный сброс в трубопроводы продукта и воды;
- повторное использование растворов для очистки бутылкомоечных машин или их рециркуляция;

- использование стоков бутылкомоечных машин для промывания пивных ящиков;
- соблюдение необходимого давления воды (бутылкомоечные машины приводятся в движение частично с помощью высокого давления вод;

Минимальные требования к сбросу отработанной воды из пивоваренных заводов представлены в табл. 6.23.

Таблица 6.23

Требования к составу сточных вод в месте сброса отработанной воды

БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л	NH ₄ -N, мг/л	N _{общ.неорг.} мг/л	P _{общ} , мг/л
25	110	10	18	2

Очистка сточных вод

Сточные воды необходимо направлять по канализационной системе на коммунальные очистные сооружения.

В процессе предварительной обработки сточных вод сначала на решетках и просеивающих установках должны быть удалены осаждаемые вещества, такие как осколки, этикетки, крончатые колпачки и т. п. Чтобы нейтрализовать преимущественно щелочные сточные воды, часто добавляется угольная кислота брожения или дымовой газ. Щелочи можно также нейтрализовать биологически с помощью образующегося при распаде БПК CO₂.

По причине сильных колебаний всегда рекомендуется использовать уравнильный резервуар, который или эксплуатируется как аэрируемый смесительный и уравнильный резервуар с биологической частичной очисткой (эффективность очистки этих вымывающих реакторов составляет около 35% при выравнивании суточного потребления и >50% при выравнивании недельного потребления), или служит для анаэробной установки как неаэрируемый входной бассейн или подкисляющий реактор.

Для предварительной обработки сточных вод пивоваренного завода часто используются реакторы UASB и высокопроизводительные методики UASB, причем, как правило, отказываются от нагревания сточной воды. Рабочая температура метановых реакторов находится в пределах от 24 до 36 °C.

При полной очистке сточных вод пивоваренного завода до качества, необходимого для предприятия, сбрасывающего свои сточные воды непосредственно в водоем, из-за существующих требований удалять азот и фосфор зарекомендовала себя аэробная очистка активным илом, которая или действует как единственный этап обработки, или подключена к анаэробной установке или аэробному пластмассовому биофильтру.

Кроме того, для небольших пивоварен могут рационально использоваться цикловые РПД, в которых все технологические операции следуют друг за другом в одном резервуаре.

На рис. 6.16 представлена технологическая схема производственной установки для очистки сточных вод крупного пивоваренного завода, работающая по принципу анаэробно-аэробной обработки сточных вод. Многоступенчатая биологическая установка для очистки сточных вод была введена в эксплуатацию в 1994 г.

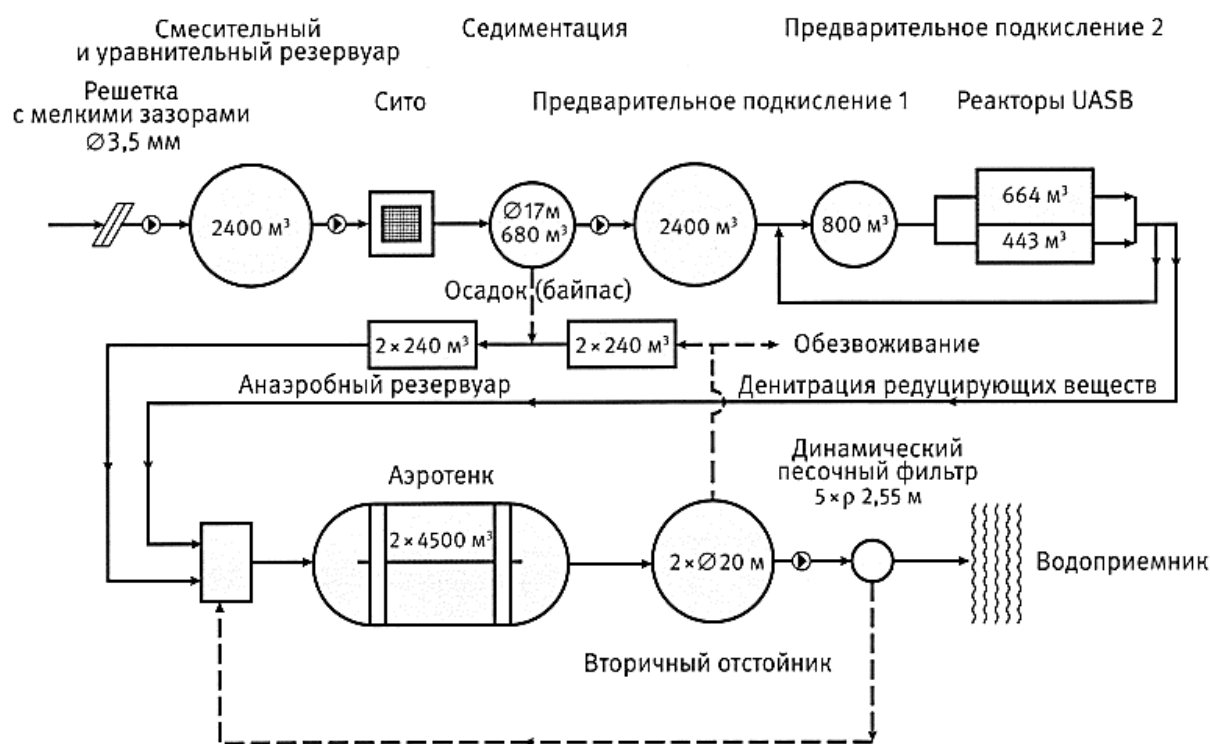


Рис. 6.16. Технологическая схема очистки сточных вод пивоваренного завода

Очистные сооружения предприятия, в которых очищаются исключительно сточные воды пивоваренного завода при дневном расходе воды в настоящее время около 2000-3000 м³/сут, состоят из смешительного и уравнивающего резервуаров, резервуаров седиментации

и анаэробной предварительной обработки, которая протекает в резервуаре для подкисления и метановом реакторе, сконструированном в виде реактора с иловым слоем. Более 80% ХПК разлагаются на этой фазе и превращаются в основном в богатый энергией биогаз.

Последующая аэробная обработка состоит из этапов регенерации с параллельным биологическим удалением азота и фосфора и заключительной непрерывной песочной фильтрацией. Две трети необходимой для всей установки энергии производится за счет применения биогаза. Величины стока установки составляют: ХПК < 30 мг/л; $N_{\min}$ < 10 мг/л; Р < 0,5 мг/л; АОГ 40-70 мкг/л.

Пример расчета 6.2 **(реактор для обработки сточных вод** **пивоваренного завода)**

Даны следующие расчетные параметры для предварительной обработки сточных вод пивоваренного завода в реакторе UASB:

приток:

$$Q_{\text{сут}} = 3000 \text{ м}^3/\text{сут};$$

максимальная часовая подача:

$$Q_{\text{ч max}} = 225 \text{ м}^3/\text{ч};$$

концентрация ХПК при подаче:

$$C_{\text{ХПК прит}} = 2400 \text{ мг/л};$$

концентрация БПК при подаче:

$$C_{\text{БПК прит}} = 1400 \text{ мг/л};$$

средняя температура сточных вод (в самый холодный месяц):

$$T=23^{\circ}\text{C};$$

коэффициент производительности:

$$Y=0,18 \text{ кг СВ/кг : ХПК}_{\text{расщепл.}}$$

$$\text{и } Y=0,21 \text{ кг СВ/кг: ХПК}_{\text{расщепл.}}$$

реактор: количество реакторов

$$n=2;$$

концентрация сухого вещества:

$$CB_p = 4\% = 40\text{г/л};$$

гидравлическое время обработки в реакторе:

$$t_p = 8,0 \text{ ч};$$

высота реактора:

$$H = 4,5\text{м}.$$

Следует установить объёмы реактора и дальнейшие характеристики для расчетов параметров установки.

Решение

Необходимые объёмы после среднего, гидравлического времени воздействия:

$$V = Q_{\text{сут}} / 24 \cdot t_p = 3000 \text{ м}^3 / \text{сут} / 24 \text{ ч} / \text{сут} \cdot 8 \text{ ч} = 1000 \text{ м}^3.$$

Площадь реактора:

$$A = 1000 \text{ м}^3 / (2 \cdot 4,5 \text{ м}) = 111,11 \text{ м}^2$$

принято: прямоугольные реакторы (см.рис.6.16) с размерами

$$7,45 \times 15,0 \text{ м} (A = 111,75 \text{ м}^2).$$

Расчет скорости направленного вверх потока при максимальной подаче:

$$V_{Q \text{ ч max}} = 225 \text{ м}^3 / \text{ч} / (2 \cdot 111,75 \text{ м}^2) = 1,01 \text{ м/ч}.$$

Проверка гидравлической нагрузки:

$$B_{\text{р ХПК}} = B_{\text{сут ХПК прит}} / V = 2400 \text{ мг/л} / 1000 \cdot 3000 \text{ м}^3 / \text{сут} / (2 \cdot 111,75 \text{ м}^2 \cdot 4,5 \text{ м}) = 7,16 \text{ кг ХПК} / (\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Гидравлическая нагрузка находится в обычном диапазоне.

Определение количества загрязнения илом:

$$m_{\text{СВ ХПК}} = B_{\text{р ХПК}} / CB_p = 7,15 \text{ кг ХПК} / (\text{м}^3 \cdot \text{сут}) / 40 \text{ кг СВ/м}^3 = 0,18 \text{ кг ХПК} / (\text{кг СВ} \cdot \text{сут}).$$

Достижимые концентрации ХПК при сбросе при КПД ХПК 85%:

$$C_{\text{ХПК расщепл}} = 0,15 \cdot 2400 \text{ мг/л} = 360 \text{ мг/л}.$$

Расчет выработки ила:

$$US=Y \cdot \text{ХПК}_{\text{расщепл}} = 0,18 \text{ кг СВ/кг ХПК}_{\text{расщепл}} \cdot 2400 \text{ мг/л} \cdot 0,85 \cdot 3000 \text{ м}^3 / \text{сут} / 1000 = 1102 \text{ кг СВ/сут.}$$

$$V_{US} = US / T_{\text{ост.ос}} = 1102 \text{ кг СВ/сут} / 40 \text{ кг СВ/м}^3 = 27,5 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

Расчет производства метана:

Теоретическое значение для производства CH_4 : $0,35 \text{ м}^3 \text{ CH}_4 / \text{г ХПК}_{\text{расщепл}}$.

$$\begin{aligned} \text{CH}_4: \text{выход} &= 7200 \text{ кг ХПК/сут} \cdot 0,85 \cdot 0,35 \\ \text{м}^3 \text{CH}_4 / \text{г ХПК}_{\text{расщепл}} &= 2142 \text{ м}^3 \text{CH}_4 / \text{сут.} \end{aligned}$$

При содержании метана в биогазе 75% это соответствует

$$2142 \text{ м}^3 \text{CH}_4 / \text{сут} / 0,75 = 2854 \text{ м}^3 \text{биогаза/сут.}$$

1.26. Спиртовое производство

Спиртоводочные заводы – это предприятия, на которых посредством брожения и дистилляции из сахара- или крахмалосодержащих продуктов производят спирт брожения для потребления людьми. К питьевому алкоголю относят также алкоголь, который используется в производстве уксуса, в фармацевтической и косметической сферах.

На производящих спиртные напитки предприятиях спирт разбавляется до питьевой крепости и обогащается добавляемыми вкусовыми примесями. Спирт производят из зерна, картофеля, фруктов или вина, – на спиртовых, ликёро-водочных заводах либо на маленьких плодово-ягодных винокурнях. Спирта-водочные заводы подчиняются ряду законных предписаний, основным из которых должен быть Закон о монополии государства на винокурение и продажу спиртных напитков.

При производственном процессе следует обратить внимание на то, что крахмалосодержащее сырье ферментативно засахаривается, сбраживается до этанола и дистиллируется, в то время как сахаросодержащее сырье лишь сбраживается и дистиллируется, а вино только дистиллируется.

Обычно сначала происходит механическая подготовка фруктов и процесс образования пульпы при помощи воды и, при необходимости, засахаривания. После окончания брожения в первой дистилляции

спирт-сырец (около 80 об. % спирта) отделяется от остатка перегонки (барда). На дальнейшей фазе переработки путем второй прерывистой дистилляции вырабатывается так называемый чистый спирт (около 86 об. % спирта) или путем непрерывной ректификации – чистый спирт или нейтральный спирт (около 96 об. % спирта), рис. 6.17. Остаток второй фазы переработки называется люттерной водой.

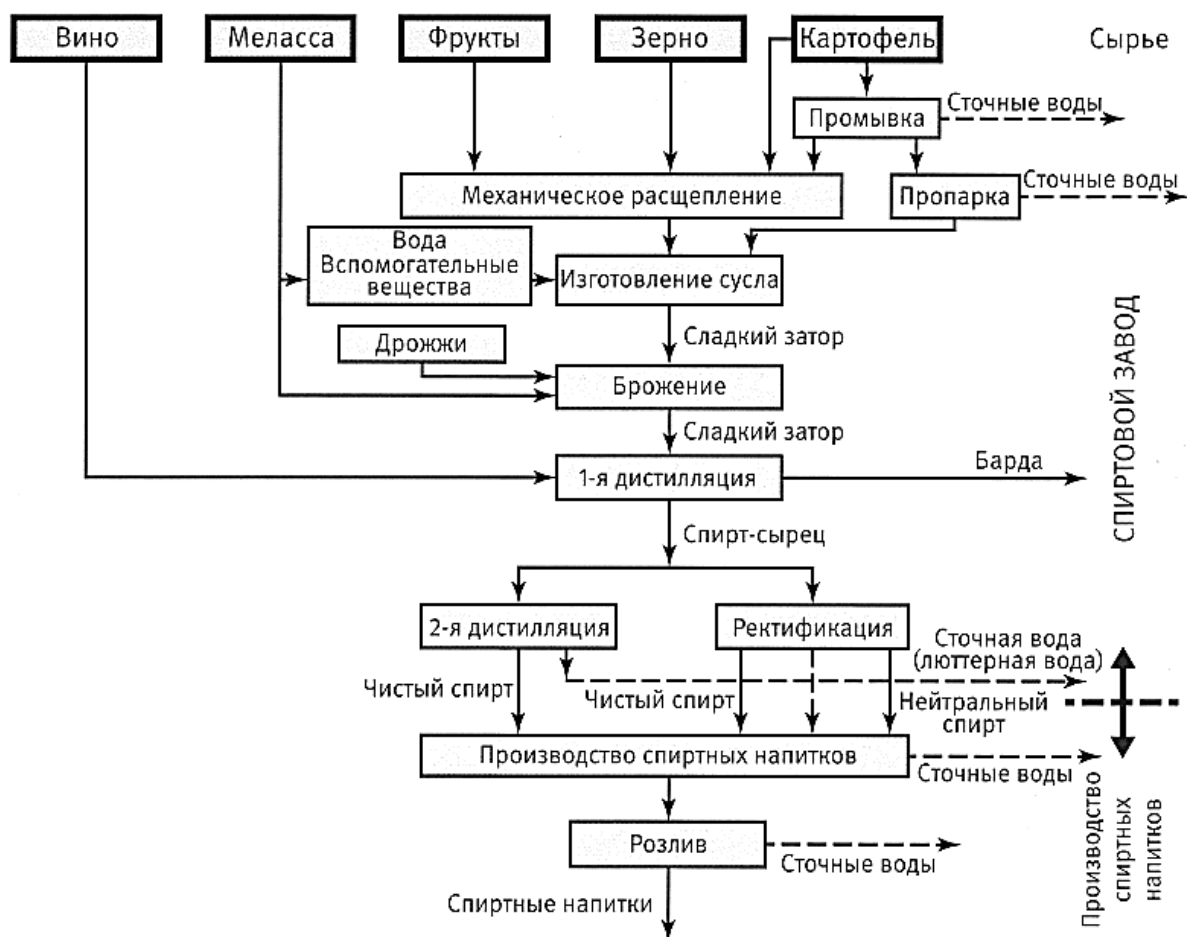


Рис. 6.17. Технологическая схема спиртового производства и производства спиртных напитков

Норма отведения и состав сточных вод, требования

На спиртоводочных заводах могут в зависимости от сырья и производственного метода образовываться промывная вода, конденсат пара или соковая вода, люттерная вода, очищенная отработанная вода, а также барда.

Промывная вода образуется только при очистке картофеля и корней, причем промывка часто производится уже поставщиком. При про-

паривании картофеля образуется смесь конденсата и соковой воды, которая, как правило, добавляется к суслу. При сегодняшней безнапорной клейстеризации крахмала (метод DSA) больше не образуется конденсат пара. Люттерная вода получается из прогона 1-й дистилляции, она абсолютно не содержит твердых веществ и лишь немного загрязнена.

Так как при розливе спиртных напитков почти всегда используются новые бутылки, то очищенная отработанная вода образуется лишь при очистке аппаратов, резервуаров и емкостей, поэтому загрязнение незначительно.

Минимальные требования к сбросу отработанной воды из спиртовых заводов сформулированы в табл. 6.24.

Таблица 6.24

**Удельные расходы и концентрации сточных вод и барды
при спиртовом производстве**

Наименование	Объём сточных вод, м ³ /гл	ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	ПАК, г/л	P _{общ} – P, мг/л
Промывочная вода (Картофель)	0,2-0,5 м ³ /т	–	0,3-1,7	–	–
Барда: Вино	0,06-0,08	10-39	6-25	0,24-0,45	0,044-0,092
Картофель	0,5-1,0	72	44	2,5	–
Пшеница (зерно)	0,79-0,97	71	32	2,8	0,19
Люттерная вода	0,014-0,14	<0,050	–	–	–

Обработка сточных вод

Жмых (барда) содержит значительное количество органических кислот, белков, минеральных веществ, микроэлементов, несбраживаемых углеводов. В случае фруктовой барды характерно, прежде всего, высокое содержание твердого вещества (зерна, стебли, камни, шелуха (плодная оболочка)) и поэтому очень высокие ХПК и БПК₅ и низкие показатели рН.

При обработке побочных продуктов и сточных вод основное внимание направлено на барду, так как оставшиеся сточные воды, как правило, могут спускаться в канализацию без выполнения особых мер.

Жмых следует отделить из потока сточных вод и утилизировать. Чаще всего ее используют в сельском хозяйстве, скармливая скоту (при необходимости после уплотнения в отстойниках).

Это наиболее распространенный способ утилизации овощной, картофельной и фруктовой барды. Если сельскохозяйственное скармливание невозможно, можно принять во внимание использование сельскохозяйственных площадей (при необходимости после анаэробной обработки барды в собственной биогазовой установке или введения в качестве сосубстрата в коммунальные емкости для отходов).

Только если оба эти способа утилизации невозможны, следует проводить смешивание с остаточным потоком промышленных сточных вод. Прямой сброс в таком случае возможен только при достаточно мощной коммунальной установке для очистки сточных вод, причем в качестве предварительной обработки должна проводиться нейтрализация. При этом следует учитывать склонность к вспуханию ила в коммунальных аэротенках и к образованию сероводорода (коррозионные повреждения, запах).

Хорошие результаты сокращения выбросов и поэтому экономия на выплатах позволяют добиться анаэробной предварительной обработки, причем все конструкции реакторов были реализованы в промышленном масштабе.

При наличии барды от спиртовых заводов, работающих на мелассе, после биологической обработки присутствуют очень высокие остаточные значения ХПК. В этом случае эффективно выпаривание барды приблизительно до 75% содержания СВ с заключительным отделением сульфата калия (удобрение) и утилизация сгущенной барды в качестве кормовой добавки. Конденсаты вторичного пара из выпаривающей установки при этом часто подвергаются вторичной анаэробной обработке.

1.27. Молокоперерабатывающая промышленность

При переработке молока поставленное сырое молоко независимо от производственной программы сначала очищается сепараторами, отдельно на сливки и обезжиренное молоко, и затем пастеризуется. Сливки используются преимущественно для сбивания. Обезжиренное молоко перерабатывается при частичном добавлении сливок и культур

в питьевое молоко и свежемолочные продукты, а также сыр. Обезжиренное молоко и сыворотка являются исходным сырьем для производства порошка, лактозы и казеина, рис. 6.18.

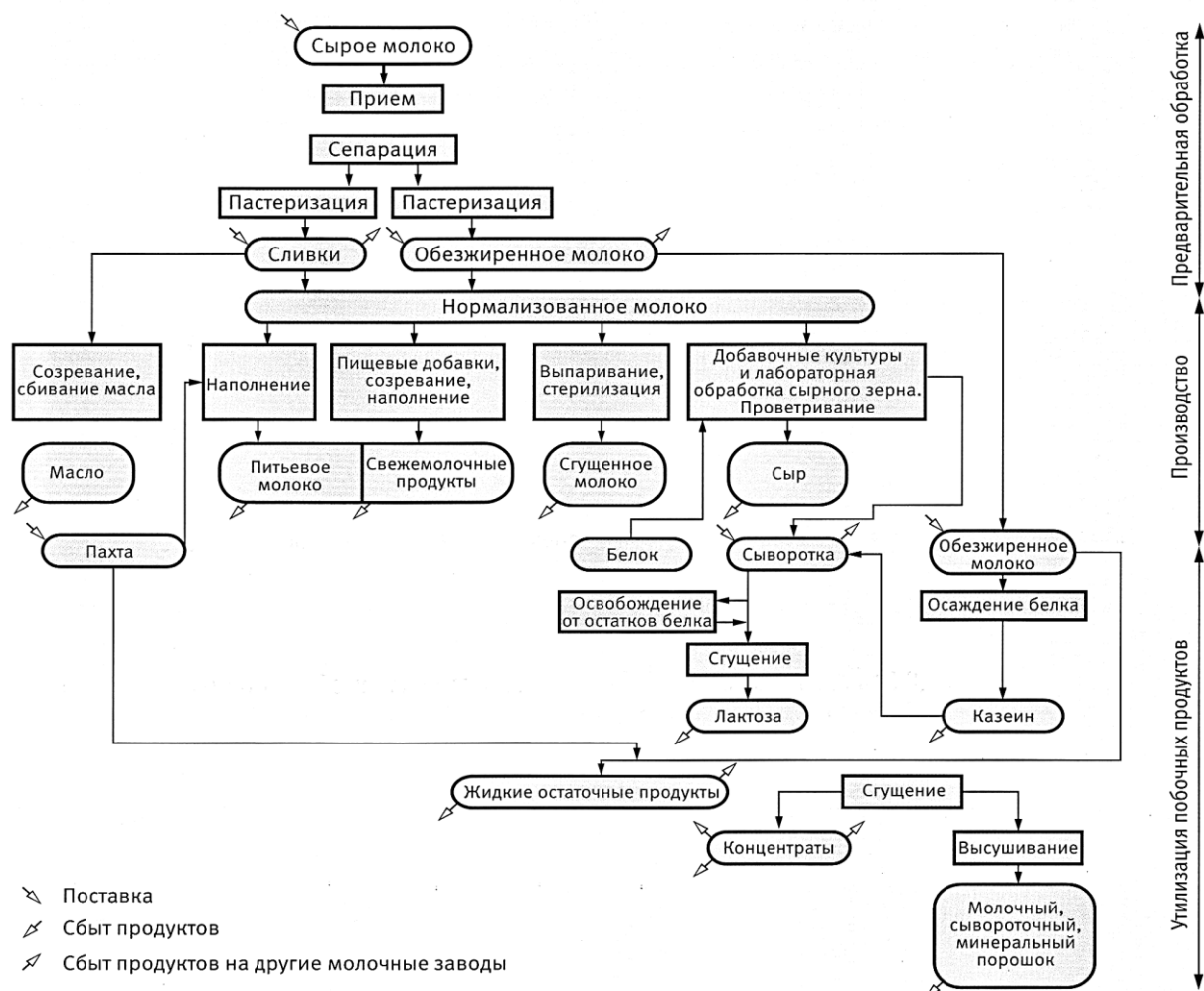


Рис. 6.18. Упрощенная технологическая схема переработки молока

Норма отведения и состав сточных вод, требования

На предприятиях, перерабатывающих молоко, образуются охлаждающая, конденсационная, бытовая и производственная сточная вода. Производственные сточные воды состоят из стоков от предварительной обработки, производственных потерь, экономически более непригодных остаточных продуктов, растворов для очистки, промывной воды и из воды для мойки и водоподготовки.

Сточные воды молочного завода образуются почти исключительно из очистки транспортных и производственных установок (вы-

сокие нагрузки возникают от так называемых трубопроводных выбросов при смене производства) и содержат при органических компонентах более 90% загрязнения из остатков молока и других продуктов.

Поэтому загрязнение сточных вод является для молочной промышленности почти всегда равнозначным потере еще пригодных для использования и продажи продуктов. Отсюда всегда следует высокий стимул предотвращать появление сточных вод путем внутрипроизводственных мероприятий.

В табл. 6.25 приведены расходные данные и эмиссионные показатели для некоторых методов производства при переработке молока. Разница между расходом воды и количеством отработанной воды может быть основана, например, на потерях воды при испарении.

Таблица 6.25

Величины расходов и эмиссионные показатели для методов производства при переработке молока

Наименование	Энергопотребление, К/кВт·ч/л или кВт·ч/кг	Водопотребление, л/л или л/кг	Сточная вода, л/л или л/кг
Производство рыночного молока из 1 л поставляемого молока	0,07-0,20	0,6-1,8	0,8-1,7
Производство сухого молока из 1 литра поставляемого молока	0,3-0,4	0,8-1,7	0,8-1,5
Производство 1 кг мороженого	0,6-2,4	4,0-5,0	2,7-4,0

Следующие мероприятия влияют на норму отвода сточных вод и загрязнение отработанной воды на молочных заводах:

- установка замкнутых циклов охлаждения;
- минимизация потерь продукта;
- остатки продукта следует при необходимости после отделения направить для получения вторичного сырья;
- заготовка и использование сыворотки;
- использование очистных скребков при очистке трубопровода;

- сбор и повторное использование в качестве воды для предварительной промывки незначительно загрязненной очистной воды, охлаждающей воды и конденсатов; эта мера важна с водохозяйственной точки зрения, так как около 90% всей сточной воды является промывной водой;
- отказ от использования содержащих фосфаты чистящих средств.

Проблемой, наряду с высоким содержанием жира, является наличие кальция и фосфора, которые могут привести к осаждению фосфата кальция. Для необработанных сточных вод молочного завода можно установить следующие данные, причем максимальные величины при необходимости могут лежать еще выше, табл. 6.26.

Таблица 6.26

**Удельные расходы и концентрации загрязняющих веществ
в сточных водах молочного завода**

Объём сточных вод, м ³ /1000 кг молока	БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л	NH ₄ -N, мг/л	N _{общ} – N мг/л	P _{общ} – P, мг/л	Осаждае- мые ве- щества, мл/л	Зна- чение рН	Жирорас- творимые вещества, мг/л
1-2	0,5-2,0	0,5-4,5	10-100	30-250	10-100	1-2	6-11	20-250

Минимальные требования к сбросу отработанной воды из молочного производства сформулированы в табл. 6.26.

Обработка сточных вод

Сточные воды молочного завода имеют лишь небольшое количество осаждаемых веществ, причем общепринятые механические методы, такие как отстойный бассейн, остаются неэффективными. Основное количество жира удерживается в жиरोотделителях, которые, правда, при высоких температурах отработанной воды также малоэффективны.

Из-за возможных колебаний показателя рН сточные воды молочного завода следует нейтрализовать перед сбросом в общественную канализацию до установленного в местной инструкции диапазона рН, как правило, 6,5-10,0. Кислые всплески рН получаются особенно из процессов очистки азотной кислотой, щелочные – из очистки раствором едкого натра.

Проблемными для молокозаводов являются значительные колебания количества и концентрации отработанной воды, поэтому в качестве первого этапа обработки после процеживания через решетку и прохождения через песколовку рекомендуется смесительный и уравнивательный резервуар (бассейн С+ У).

В смесительном и уравнительном резервуаре происходит смешивание различных концентраций (включая показатель рН), выравнивание потока сточных вод (компенсация), а также частичное биологическое расщепление, связанное с биологической нейтрализацией. В качестве минимального объема оправдывает себя около 25% максимального количества воды в день, однако можно также измерить дневное или недельное выравнивание.

В неаэрируемом смесительном и уравнительном резервуаре отсутствует значительное биологическое расщепление, однако происходит брожение, которое приводит к проблемам с запахом. Аэрируемые смесительные и уравнительные резервуары используются чаще всего в качестве вымывающих реакторов и достигают КПД БПК₅ 20-60% в гомогенизированной пробе.

В качестве дальнейшей ступени предварительной обработки можно рекомендовать после или вместо использования смесительного и уравнительного резервуара флотацию, при помощи которой удаляются жиры и белки и вместе с ними наибольшая часть органического загрязнения.

Хотя более 90% перерабатывающих молоко предприятий в Германии подключены к канализационной системе, при необходимости прямое сбрасывание сточных вод в водоемы может представлять экономический интерес. Предприятия, сбрасывающие свои сточные воды непосредственно в водоем, в большинстве случаев располагают аэротенком, причем при сильных колебаниях следует предварительно подключать смесительный и уравнивательный резервуар.

Сточные воды молочного завода стимулируют образование вспухающего ила в аэротенке, поэтому рекомендуется проектировать установку так, чтобы микроорганизмы активного ила были временно высоконагружены.

Этого можно достигнуть посредством аэротенка с реактором периодического действия с предварительно подключенным контактным резервуаром (селектором) или циклового РПД (где технологические

операции: контактный резервуар, денитрификация, аэрация, седиментация – протекают по времени друг за другом в одном бассейне).

1.28. Скотобойни

Скотобойни и мясоперерабатывающие предприятия, исходя из разных производственных процессов, можно разделить на следующие четыре группы, причем сюда не входит множество локальных мясных лавок:

- крупные мясоперерабатывающие заводы;
- птицеперерабатывающие предприятия;
- мясоразделяющие предприятия;
- мясоперерабатывающая промышленность.

На рис. 6.19 показаны отношения между скотобойней и предприятиям других видов деятельности в обобщенной форме.

При убойе скота образуются наряду с чистым мясом побочные продукты, боенские и другие отходы. Мясо, а также побочные продукты (например, печень) являются съедобными для людей и поэтому продаются свободно. Среди несъедобных отходов различают свободно продаваемые вещества (например, жир), которые перерабатываются в комбикормовой или фармацевтической промышленности, и непродаемые вещества (например, непригодное мясо), которые дезинфицируются на утилизационном заводе по переработке трупов животных и подвергаются дальнейшей обработке.

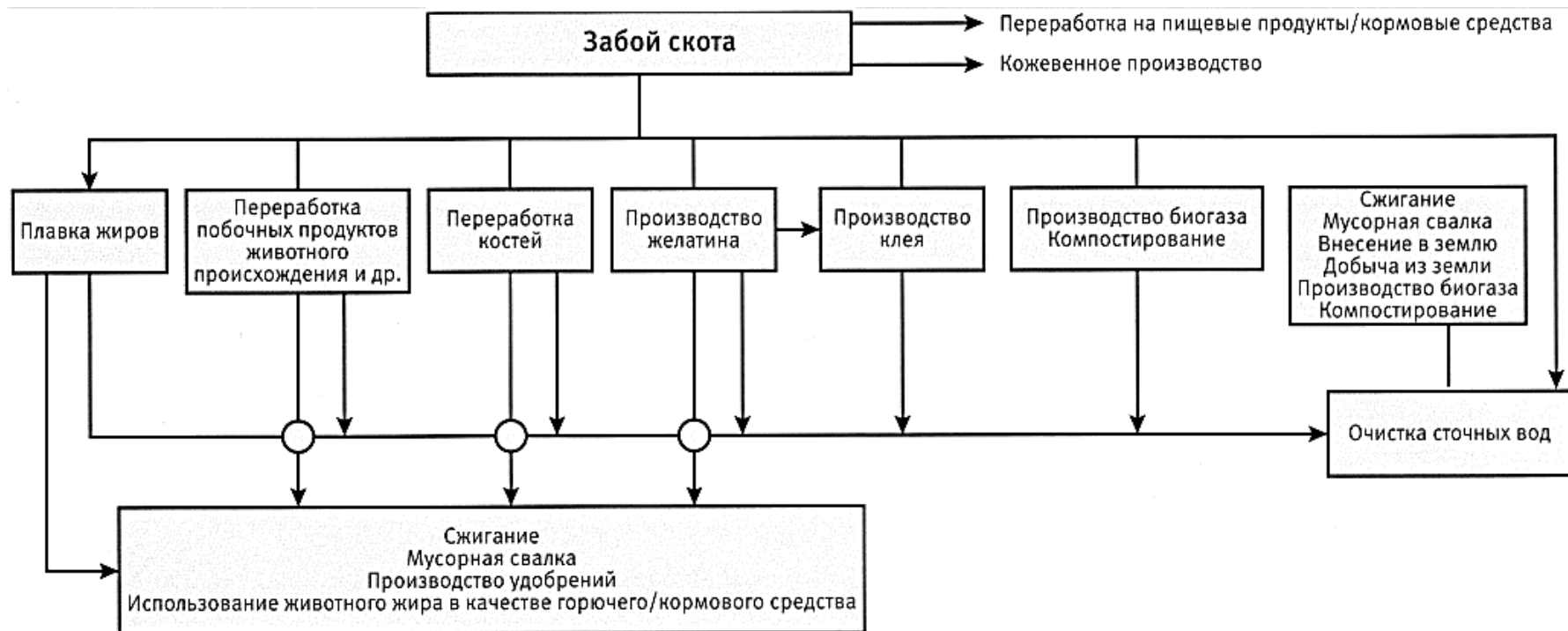


Рис. 6.19. Упрощенная схема связей между скотобойней и сопряженными сферами деятельности

К дальнейшим отходам относят первичные вещества содержимого желудка и кишечника, а также вторичное сырье из обработки сточных вод (просеиваемый материал, плавающий ил).

Норма отведения и состав сточных вод

Потоки сточных вод и отходов на мясообрабатывающих заводах различаются в соответствии с производственным процессом:

- зеленая линия: вагономоечная станция и конюшни;
- красная линия: убой и расчленение;
- желтая линия: опорожнение желудка, кишечника и брюшной полости, а также цех обработки субпродуктов (цех обработки субпродуктов часто находится не на территории бойни).

Скапливающиеся в транспортных средствах и конюшнях остатки состоят из подстилки, навоза, фекалий и мочи, причем при коротком стойловом содержании скапливаются остатки в количестве на свинью около 2,0 кг и на корову около 10 кг. Это сырье должно очищаться по возможности без дополнительной воды и непосредственно отправляться на сельскохозяйственные территории. При мытье автомобилей при экономном использовании воды можно рассчитывать на 100 л/транспортное средство, причем отработанная вода после отделения грубой массы добавляется в основной поток сточных вод.

Удельное количество и компоненты сточных вод бойни (красная линия) приведены в табл. 6.27. Указанные значения, однако, могут быть достигнуты только в случае, если гарантируется приблизительно 90%-е удержание крови, поскольку кровь сильно загрязняет сточную воду. Схема скотобойного производства – рис. 6.20.

Таблица 6.27

Удельное количество сточных вод и концентрации отработанной воды бойни (красная линия)

Животные и птицы	Количество сточных вод, л/ед.	ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	N _{общ} – N мг/л	P _{общ} – P, мг/л	Жир, мг/л	АОГ, мкг/л	Осаждаемые вещества, мл/л
Свиньи	100-300	2-8	1-4	150-500	15-50	500-2500	20-100	10-60
Крупный рогатый скот	500-1000	–	1,5-3	–	–	–	–	–
Курицы	Около 25	2,2-4	1-2,5	150-350	5-30	300-1200	–	–

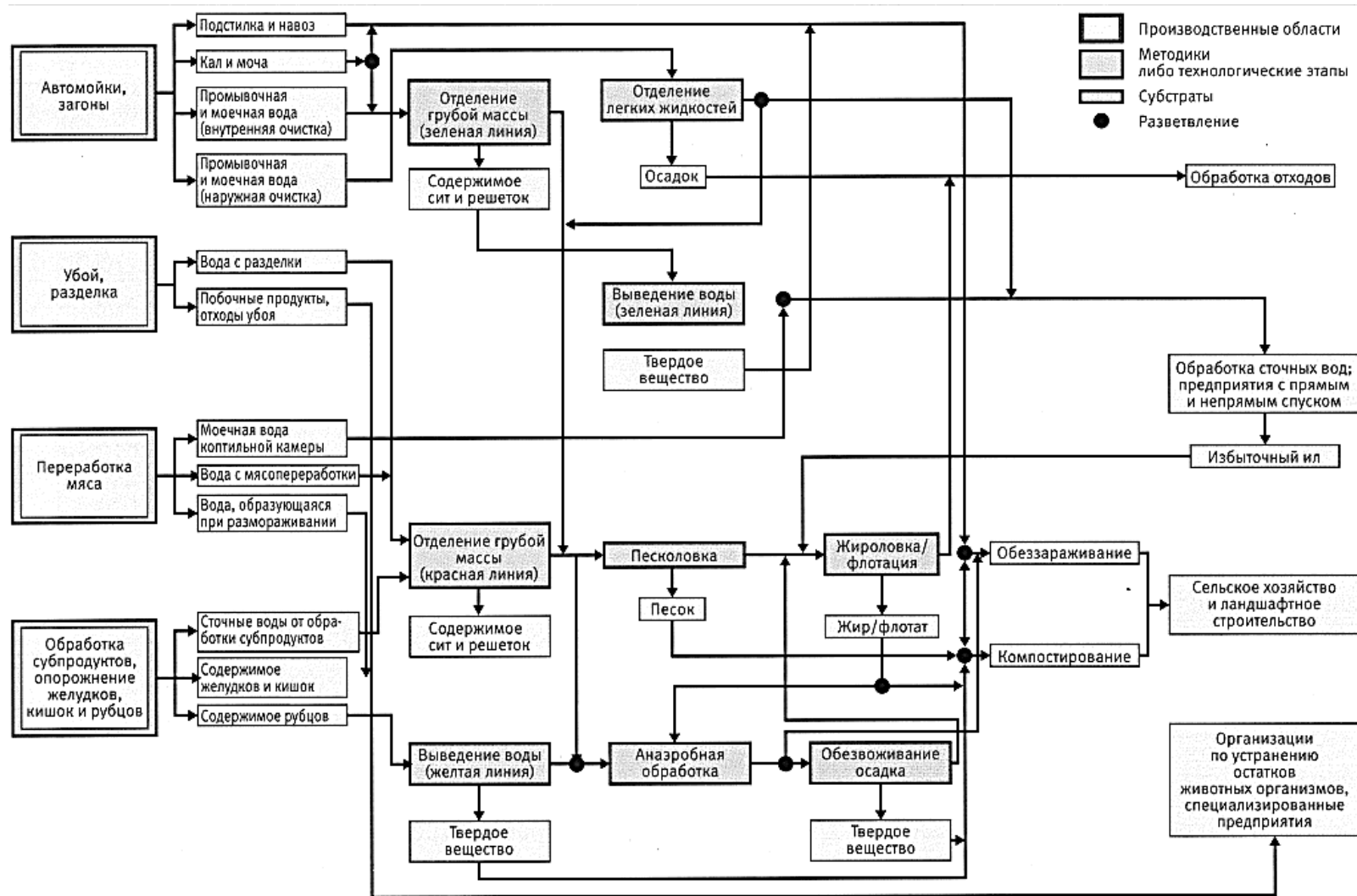


Рис. 6.20. Схема производственных сфер, оборот жидких и твердых отходов и возможности их обработки и утилизации

Жидкая кровь имеет ХПК около 400 г/л и БПК₅ около 200 г/л. Сгущенная кровь имеет ХПК около 900 г/л и содержание азота в целом около 30 г/л. Общая масса крови составляет у свиней около 5 л и у коров около 30 л на животное. Поэтому следует стремиться избегать ненамеренного выпуска жидкой крови или высвобождения высохшей крови.

На рис. 6.20 изображены производственные сферы, оборот жидких и твердых отходов и возможности их обработки и утилизации.

Чтобы сократить выход и загрязнение сточных вод, необходимы внутрипроизводственные мероприятия как по экономическим причинам, так и с технической точки зрения. Основная суть заключается здесь, во-первых, в быстром обескровливании животных, чтобы остаточная кровь по возможности могла быть полностью остановлена, и, во-вторых, в предотвращении вымывания содержания желудков и кишок в канализацию.

Затем следует части кишок (включая шлам), а также остатки кожи и мяса направить на рекуперацию вторичного сырья. Отходы из конюшен и содержимое навозохранилищ следует максимально изолировать от сточных вод. Механическое измельчение твердых отходов и их смыв в канализацию являются недопустимыми. Твердые отходы следует собрать и компостировать или направить на утилизационный завод по переработке трупов животных.

Для уменьшения загрязнения сточных вод следует, если это возможно, перед использованием воды или горячей воды стремиться к «сухой очистке» хлевов и производственных помещений. Встроенные в напольных стоках сетки следует регулярно чистить.

Стоки варочного котла (например, для ошпаривания свиней) следует направить в буферный бассейн, чтобы избежать органических ударных нагрузок во внутрипроизводственных или коммунальных установках для очистки сточных вод. С помощью центрифугирования воды для варки доля жира в сточной воде может быть сокращена. Возможности уменьшения водопотребления представляет рециркуляция охлаждающей воды и использование экономящего воду оборудования.

Удельная норма отведения сточных вод и удельные нагрузки загрязнения в зависимости от производственного процесса приведены в табл. 6.28.

Таблица 6.28

**Удельная норма отведения сточных вод
и нагрузки загрязнения**

Условная единица	Норма отведения сточных вод, л	Нагрузка БПК ₅ , г	Нагрузка ХПК, г
Забой единицы крупного рогатого скота ¹ (в особенности коров) при наличии и без цеха обработки субпродуктов	500-1000 400-800	1000-3500 900-1300	1400-5000 1250-2000
Забой единицы мелкого рогатого скота (в особенности свиней)	100-300	200-350	300-600
Переработка единицы крупного рогатого скота	1000-1500	1000-1400	1400-2000
Переработка единицы мелкого рогатого скота	300-400	300-400	400-600
Расчленение 100 кг мяса на предприятиях по расчленению	150-170	75-100	100-150
Переработка 100 кг убойного веса на мясоперерабатывающих заводах ⁴	1000-1300	500-700	700-900
Забой домашней птицы по отношению к 1 кг убойного веса	10-30	7-20	10-40
Слизь из 100 кишечника	2000-5000	9000-25000	13000-28000

¹ Единица крупного рогатого скота= 500 кг живого веса.

² Единица мелкого рогатого скота= 100 кг живого веса.

³ Оценочные значения.

⁴ При исключительной переработке в вареную колбасу эти значения могут быть в 2,5-3 раза выше

Минимальные требования к сбросу отработанной воды от предприятий мясной промышленности сформулированы в табл. 6.29.

Таблица 6.29

**Эмиссионные показатели НДТ по минимизации эмиссий
сточных вод из боен и предприятий по переработке
побочных продуктов животного происхождения**

БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л	NH ₄ , мг/л	N _{общ.неорг.} , мг/л	P _{общ.} , мг/л	Отфильтрованные вещества, мг/л	Жирорастворимые вещества, мг/л
25	110	10	18	2	—	—
10-40	25-125	—	15-40	2-5	5-60	2,6-15

Обработка сточных вод

На бойнях для предварительной обработки сточных вод прежде всего используются механические методы. Только в относительно редких случаях до сих пор дополнительно подключаются физико-химические или биологические этапы обработки для предварительной очистки сточных вод.

Существенная эффективность очистки механическими и физическими методами заключается в задержании и отделении очищаемых стоков от твердых веществ при помощи стационарных сит, вращающихся барабанных сит, сепараторов, решеток с мелкими зазорами, мелкосетчатых сит и жиросепараторов с предварительно подключенным илоуловителем.

В водах бойни содержится часть органических веществ в виде животных масел и жиров в эмульгированной форме. Поэтому может быть рациональным решение дополнить механико-физическую предварительную очистку химико-физической фазой, состоящей из осаждения/флокуляции и флотации.

Эффективность очистки флотационной установки при использовании средств осаждения и флокуляции показана в табл. 6.30.

Несмотря на то, что сточные воды со скотобоен из-за состава подходят для биологического метода, большинство работающих на территории Федеративной Республики Германии мясокомбинатов не имеют собственных биологических фаз предварительной обработки, но отводят сточные воды на механико-физическую предварительную обработку, как заводы, подключенные к канализационной системе, в коммунальных очистных сооружениях.

Таблица 6.30

Эффективность очистки флотационной установки при использовании средств осаждения и флокуляции, северные страны

Компонент	Восстановление, %
БПК ₅	70
$N_{\text{общ}}$	55
$P_{\text{общ}}$	75
Жир	85

На рис. 6.21 изображена флотационная установка для скотобойни.

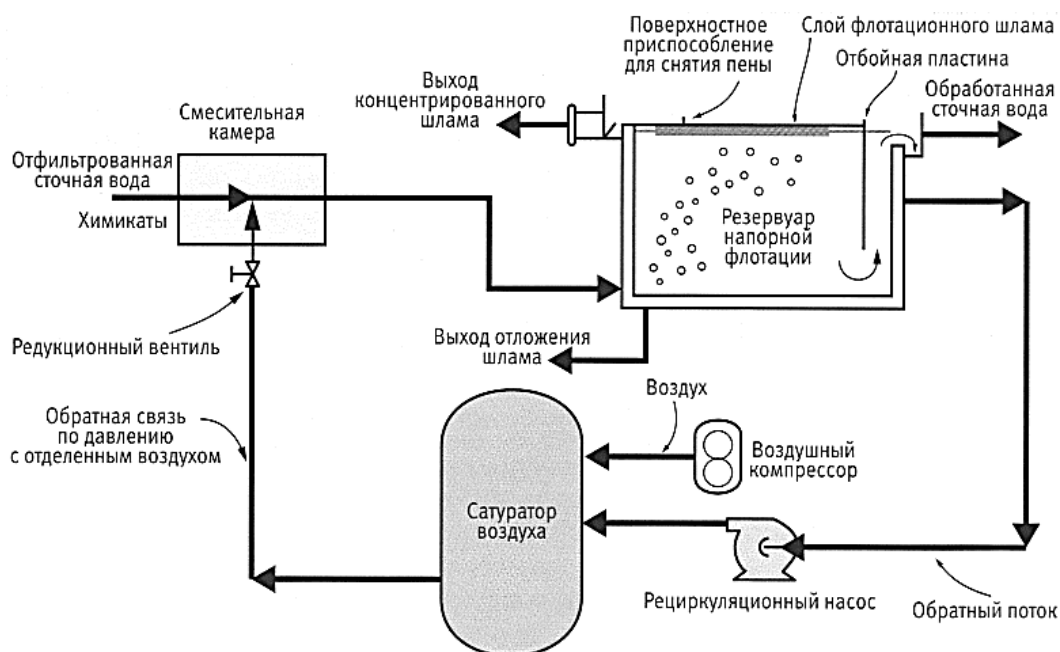


Рис. 6.21. Схема установки напорной флотации

Следующие биологические методы до сих пор успешно применялись в промышленных масштабах:

- крупные биологические методы (окислительные пруды, раньше часто);
- очистка сточных вод активным илом в различных вариантах (одноступенчатый, каскад, двухступенчатый);
- анаэробные/аэробные биологические методы.

При очистке активным илом нагрузка на ил по БПК₅ не должна превышать 0,15 кг БПК₅/ (кг СВ·сут). Прямая анаэробная обработка в

реакторах контактного типа или совместная обработка в коммунальных метантенках используется прежде всего для жиров, флотатов, содержимого желудка и кишечника и жидкой фазы от обезвоживания какалы.

Представленная в качестве примера скотобойня относится к одному из крупнейших предприятий среди скотобоев (убойная мощность 25 000 свиней в неделю). Забиваются только свиньи. Сточные воды красной и желтой линий совместно фильтруются и отводятся вместе со сточными водами зеленой линии в смесительный и уравнильный резервуар без аэрации.

Сточные воды в объеме 2130 м³/рабочий день попадают после двухчасового пребывания и сырой флокуляции в две расположенные рядом флотационные установки. При флотации с солями железа осаждается сера. Флотат откачивается, и начинается обработка шлама. Осажденный шлам попадает в песколовку и после отделения песчинок направляется обратно в неаэрируемую буферную емкость.

Отработанная вода из флотационной установки подается в аэрируемый смесительный и уравнильный резервуар и оттуда направляется в канал. При очистке шлама остатки из цеха обработки субпродуктов (содержимое желудка и кишечника 30 м³/сут), флотат (60 м³/сут), а также кровь вместе попадают в промежуточное водохранилище (СВ около 7%) и затем в метантенк вместимостью 1650 м³ для анаэробной обработки.

Остальные параметры представлены в табл. 6.31.

В метантенке не требуется регулирования pH.

После метантенка сточные воды попадают в декантатор (СВ около 32-36%) и после последующего промежуточного хранения в виде сырого шлама – в сельское хозяйство. Полученный газ используется для нагревания воды мясокомбината и метантенка.

Проблемы, которые возникают при анаэробной обработке:

- образование песка, который осаждается в трубопроводах;
- недостаточное фильтрование сточных вод скотобойни; из-за этого в очистку сточных вод попадают щетина и др.;
- излишне высокое водопотребление для очистки желудков и кишок; из-за этого содержание сухого вещества в содержимом желудка и кишечника составляет 2%.

Таблица 6.31

Параметры для метантенков к представленному примеру

Параметр	Единица измерения	Данные
Добавочные вещества		Флотат, содержимое желудка и кишечника
Объём	м ³	1650
Время сбраживания	сут	Около 25
Гидравлическая нагрузка	Кг орг. СВ/(м ³ ·сут)	1,9
Температура	°С	37
КПД сухого вещества	%	45
КПД орг.сухого вещества	%	25
Производство метана	%	76
Диоксид углерода	%	23
Объём газа	м ³ /сут	900-1000
Количество газа	л/кг орг.СВ	600

1.29. Текстильная промышленность

Текстильная промышленность перерабатывает необработанное текстильное волокно в пряжу, волокно, изделия в форме линии, ткани, трикотажные изделия, нетканые материалы, текстильные ковровые покрытия и другие текстильные изделия плоской формы.

Продукты текстильной промышленности по использованию необработанного волокна обрабатываются в основном в трех направлениях:

- швейное производство около 30%;
- производство текстильных изделий для домашнего обихода около 37%;
- производство или последующая переработка технических текстильных изделий около 33%.

В Германии в настоящее время существует около 90 предприятий переработки волокон и пряжи, около 325 предприятий, производящих текстильные изделия плоской формы, и приблизительно 400 предприятий, перерабатывающих текстильное сырье.

Переработка текстильных изделий, рассматриваемая здесь подробно, требует множества технологических операций, которые могут изменяться в зависимости от исходного материала (хлопок, шерсть,

льняная ткань, вискоза, ацетатный шелк, различные синтетические волокна и смешанные ткани), от оформления (пряжа, ткань или штучный товар), а также от соответствующих тенденций моды.

Важнейшие этапы процесса переработки текстильных изделий, рис. 6.22, за исключением опалки, имеют большое значение в водоо- зяйственной отрасли.

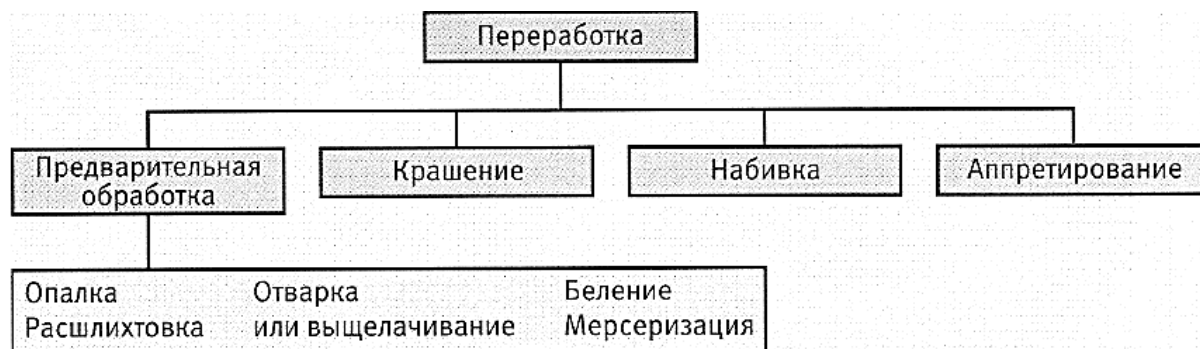


Рис. 6.22. Основные технологические операции переработки текстильных изделий

Опалка – термическое удаление с ткани мелких, торчащих из нее волокон.

Расшлихтовка – удаление требующихся для изготовления и обработки пряжи вспомогательных обрабатывающих веществ, так называемых шлихт, таких как крахмал, крахмалопродукты, высшие спирты, поливиниловый спирт, полиакрилаты, карбоксиметилцеллюлоза. Удаление производится, как правило, горячей водой с добавлением ферментов и ПАВ.

Отварка или *выщелачивание* – удаление примесей в волокне и загрязнений, таких как жиры, воск, костра и пектиновые вещества. Обработка горячей водой с добавлением раствора едкого натра или карбоната натрия.

Беление – обработка гипохлоритом натрия, хлоритом натрия или перекисью водорода для повышения степени белизны материала.

Мерсеризация – кратковременная обработка материала под натяжением раствором едкого натра (NaOH) для повышения разрывной крепости и способности к окрашиванию.

Крашение/набивка – нанесение растворенного или диспергированного красителя на материал, рис. 6.23. При крашении используются

водные красители или дисперсия, при набивке – печатные пасты с относительно высокой вязкостью. Раствор красителей называется «красильной ванной».



Рис. 6.23. Вытяжное крашение неотетразолийхлоридной ворсовальной машиной

Отделка или нанесение аппретуры – желаемые потребительские свойства материала, такие как отсутствие замятых складок, антистатический или водоотталкивающий характер и др., достигаются при помощи различной механической и (или) химической обработки.

Широкий ассортимент сырья для текстильных изделий, также, как и обширный перечень требований относительно внешнего вида и потребительских свойств текстильных изделий, приводит к тому, что при переработке текстильных изделий используется большое количество химикатов, вспомогательных средств и красителей. Большинство имеющихся на рынке вспомогательных средств в текстильном производстве внесено в каталог вспомогательных средств в текстильном производстве.

Норма отведения и состав сточных вод, требования

Текстильная промышленность является отраслью, тесно связанной с водой и сточными водами, так как почти все применяющиеся на

практике процессы обработки проводятся при помощи водных растворов или суспензий, которые в конце процесса становятся сточными водами.

На основе обзора технологических операций отделочного производства текстильной промышленности (см. рис. 6.22) на примере переработки хлопка представлены имеющие отношение к водохозяйству потоки веществ и следующие из этого связанные с конкретными технологическими процессами отдельные потоки сточных вод рис. 6.24.

Каждый изображенный технологический процесс делится на непосредственную обработку и на последующие этапы промывки и ополаскивания для удаления избытка красок и вспомогательных средств в текстильном производстве.

В зависимости от производственной методики на непосредственных этапах обработки встречаются отдельные потоки и остатки раствора частично с очень высокой концентрацией в относительно небольшом количестве. Здесь следует назвать прежде всего:

- сильно органически загрязненные удаленными шлихтами и примененными ферментами и ПАВ остатки раствора расшлихтовки;
- сильнощелочные и органически загрязненные удаленными примесями в волокне и посторонними веществами и примененным раствором едкого натра остатки раствора отварки;
- сильно органически загрязненные удаленными примесями в волокне и при белении хлором часто очень загрязненные АОГ остатки раствора беления;
- сильно окрашенные, окисленные или щелочные, часто сильно органически загрязненные неизвлеченными красителями и вспомогательными средствами в крашении, такими как кислоты, соли и другие вспомогательные средства в текстильном производстве, остатки раствора крашения и сточные воды после окончательной промывки. При использовании определенных видов красителей они могут также содержать высокий уровень АОГ, тяжелые металлы или сульфиды;

- сильно органически загрязненная неизвлеченными, чаще всего синтетическими вспомогательными средствами в текстильном производстве красильная жидкость аппретирования.

При последующих процессах промывки и полоскания образуется незначительное количество от средне- до высококонцентрированного раствора для промывки и, в зависимости от количества этапов полоскания, относительно большое количество незначительно загрязненной промывочной воды.

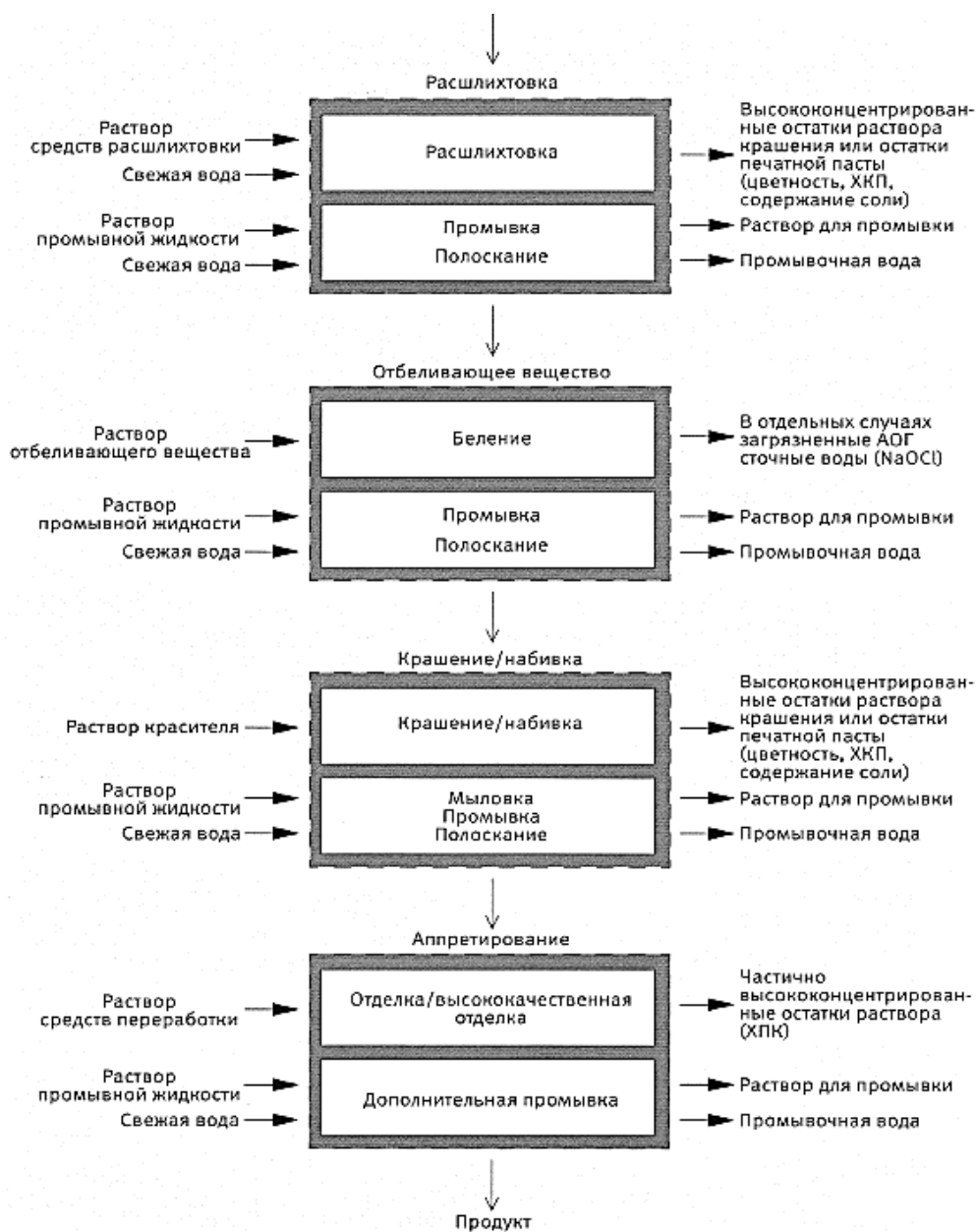


Рис. 6.24. Основные технологические операции переработки хлопка и соответствующие потоки веществ

Как объем, так и состав сточных вод отделочной фабрики в большой степени зависят от использованного субстрата, режима работы, ведения производства и других параметров влияния, вследствие чего невозможно вывести средние характеристики.

Основные отдельные потоки являются концентратами из процессов отделки, которые характеризуются очень высоким уровнем загрязнения, в частности:

- растворы для расшлихтовки (ХПК: 3000-80 000 мг/л в зависимости от ведения производства/техники промывки);
- сточные воды из непрерывной предварительной обработки вязаных и трикотажных изделий из синтетического волокна (содержание углеводорода в диапазоне, г/л);
- остатки цветковых плюсовочных растворов (ХПК и содержание красителя: 5 000-100 000 мг/л);
- остатки печатной пасты (ХПК: 100 000-350 000 мг/л);
- остатки плюсовочных растворов обработки (ХПК: 5000-200 000 мг/л);
- остатки раствора от нанесения покрытия и промазывания;
- остатки раствора от нанесения покрытия на заднюю поверхность ковра.

Значительно менее загрязненные отдельные потоки получают в большинстве случаев из процессов обмывки. При этом первая вода для промывки может еще содержать значительное количество ХПК, в то время как последняя вода для промывки зачастую имеет очень низкую концентрацию ХПК (<200 мг/л).

В табл. 6.32 сопоставлены данные исследования всех необработанных сточных вод от 50 отделочных фабрик.

Таблица 6.32

**Диапазон колебаний характеристик общих необработанных
сточных вод 50 отделочных фабрик (2015-2023 гг.)**

Параметр	Единица измерения	Диапазон значений
Показатель pH	–	5-13
Проводимость	мкСм/см	300-9500 ¹
Температура	°С	15-60
ХПК	мг О ₂ /л	400-5000
ПОУ	мг С/л	150-1600
БПК ₅	мг О ₂ /л	80-1500
ХПК/ БПК ₅	–	2,3-7
АОГ	мг С/л	0,05-8 ²
Углеводороды	мг/л	<0,1-110 ³
Органически связанный азот	мг N/л	6-80 ⁴
Аммоний	мг N/л	<0,1-120 ⁵
Анионные ПАВ	мг/л	2-24
Неионные ПАВ	мг/л	5-50
Трихлорметан	мкг/л	0,3-170 ⁶
Сульфит	мг/л	<0,5-90 ⁷
Медь, всего	мг/л	<0,001-1,5 ⁸
Цинк, всего	мг/л	0,02-1,1
Хром, всего	мг/л	<0,005-2 ⁹

^{1.} Для сточных вод преимущественно от крашения целлюлозного волокна реактивными или субстантивными красителями, для чего применяются большие количества нейтральной соли.

^{2.} Показатели, превышающие 1 мг/ л, являются исключениями; высокие показатели, как правило, встречаются при использовании галогенированных красителей, имеющих относительно низкий процент закрепления (<80%). Показатели более 1 мг/ л вызваны также использованием расщепляющих хлор отбеливающих веществ или свободного хлора, образующегося при использовании гипохлорита натрия. Сточные воды не должны содержать расщепляющие хлор отбеливающие вещества, кроме хлорита натрия для беления синтетического

^{3.} Высокие показатели встречаются, как правило, при предварительной обработке полиэфира или полиамида

^{4.} промытым препаративным составом, содержащим углеводород. Высокие показатели встречаются, когда выводится большое количество остатков раствора для высококачественной отделки, содержащего производные этиленомочевинной кислоты, или, когда промывается малосминаемая отделка (также раствором, содержащим производные этиленомочевинной кислоты).

^{5.} Высокие показатели встречаются при набивке реакционноспособными и кубовыми красителями, включая

^{6.} вытравное печатание цветного узора, когда используется соответствующее количество мочевиновой кислоты. Высокие показатели встречаются при применении отбеливающего вещества NaOCl. Сточные воды не должны содержать расщепляющие хлор

отбеливающие вещества (например, NaOCl), кроме хлорита натрия для беления синтетического волокна.

⁷. Высокие показатели встречаются при использовании соответствующего количества дитионита натрия, например, при окраске кубовыми красителями или восстановительной последующей обработке окрашенного полиэфирного волокна.

⁸. Показатели более 0,5 мг/ л являются исключениями. Более высокие показатели могут встречаться при набивке.

⁹. Показатели более 0,2 мг/ л являются исключениями. Более высокие показатели могут встречаться при крашении шерсти или полиамида хромовыми комплексными красителями или красителями для крашения с последующим хромированием.

Таблица 6.33

Требования к составу сточных вод текстильных предприятий в месте сброса отработанной воды

ХПК, мг/л	БПК ₅ , мг/л	P _{общ} , мг/л	NH ₄ - N, мг/л	N _{общ.неорг.} , мг/л	Сульфит, мг/л	Спектральный коэффициент адсорбции при окрашивании, м ⁻¹	Токсичность относительно икры рыб
160	25	2	10	20	1	Желтая область 436 нм:7 Красная область 525 нм:5 Синяя область 620 нм:3	2

Определяющим для требований относительно места сброса сточных вод производства и отделки текстиля в водоемы представлены в табл. 6.33, смешивания их с другими сточными водами – табл. 6.34.

Таблица 6.34

Требования относительно смешивания сточных вод текстильных предприятий с другими сточными водами

АОГ, мг/л	Хром общий, мг/л	Медь, никель, мг/л	Сульфид, мг/л	Олово, цинк, мг/л
0,5	0,5	0,5	1,0	2,0

Предотвращение сброса неочищенных сточных вод, очистка сточных вод

В настоящее время 20 из приблизительно 400 отделочных текстильных фабрик в Германии являются предприятиями, сбрасывающими сточные воды непосредственно в водоемы, все остальные сбрасывают сточные воды в коммунальные системы обработки сточных вод.

Наряду с множеством общепринятых мер по экономии воды и, как следствие, по сокращению издержек производства, текстильной промышленностью проводятся дополнительные мероприятия, способствующие снижению расходов воды, а следовательно, и количества сточных вод или нагрузки сточных вод на водоемы:

- регенерация (например, при помощи ультрафильтрации) и повторное применение шлихт при одновременном использовании пермеата для процесса промывки или для нового применения шлихт;
- сокращение количества используемых химикатов посредством перепроверки и оптимизации рецептуры;
- выпаривание и обратная подача щелока в мерсеризирующее устройство;
- предпочтительное применение способов окраски, способствующих оптимальному использованию красильной ванны;
- усиленное использование красителей, не содержащих тяжелые металлы и хорошо закрепляющихся на волокне; благодаря этому достигается снижение уровня концентрации красителя в сточных водах;
- понижение жидкостного коэффициента (соотношение количества воды и текстильных материалов) при окраске;
- применение красителей, не содержащих АОГ или с низким уровнем АОГ;
- повторное использование красильного раствора и раствора для отделки;
- сокращение применения биологически трудноращепляемых или токсических вспомогательных средств в текстильном производстве;

- комбинированное применение воды и сжатого воздуха при очистке сетчатых шаблонов;
- выпаривание высококонцентрированных частичных потоков сточных вод и раздельная утилизация остатков;
- оптимизация процессов промывки и полоскания;
- повторное использование незначительно загрязненной промывочной воды и охлаждающей воды.

На рис. 6.25 представлена технологическая схема повторного использования незначительно загрязненной промывочной воды в области крашения. Для сброса остаются еще высококонцентрированные остатки раствора крашения и первые промывные ванны, которые при необходимости могут быть обработаны и повторно использованы.

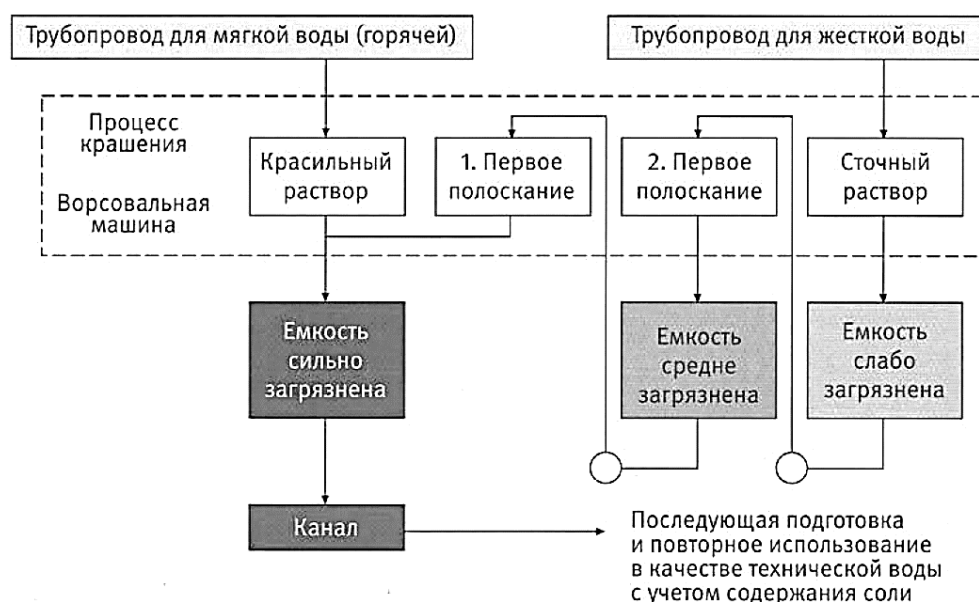


Рис. 6.25. Технологическая схема повторного использования незначительно загрязненной промывочной воды в области крашения

Для предварительной очистки сточных вод текстильных предприятий наряду с механическими способами (например, использование сит) применяются физико-химические способы. Для уравнивания концентрации и количества должны быть предусмотрены смесительные и уравнительные резервуары. При помощи двусторонней нейтрализации щелочных и кислотных отдельных потоков сокращается потребление химикатов и тем самым содержание соли в сточных водах. Показатель рН в смешанных сточных водах, как правило, щелочной.

При возможности следует отказаться от нейтрализации щелочных сточных вод, так как может произойти нейтрализация углекислым газом, образованным на биологическом уровне коммунальными очистными сооружениями. Вследствие этого сокращается уровень загрязнения сточных вод нейтральными солями, которые из экономических соображений являются неудаляемыми.

Совместная очистка сточных вод текстильных предприятий в коммунальном очистном сооружении нежелательна, если в коммунальном очистном сооружении высокий общий уровень ХПК. От крашения в стоках существенно превышена доля тяжелорасщепляемого ХПК, и очистка в таком случае становится проблематичной. В отдельных случаях концентрация ХПК сточных вод текстильных предприятий может сказываться на концентрации в ходе реакции в коммунальном очистном сооружении.

Совместная очистка сточных вод текстильных предприятий в коммунальном очистном сооружении представлена в следующем примере. Соотношение содержания ХПК в сточных водах в коммунальных и промышленных установках составило при проектном расчете 1:3,5 [37]. Концепция очистки сточных вод включает в себя следующие технологические этапы:

- анаэробную обработку отдельного потока высококонцентрированных шлихт в метантенке (поливиниловый спирт, поливинилацетат, здесь значительно расщепляется);
- предварительную обработку смешанных сточных вод текстильных предприятий на сильно нагруженном этапе очистки активным илом;
- озонирование (производство озона из чистого кислорода на месте) предварительно биологически обработанных сточных вод текстильных предприятий;
- совместную обработку коммунальных и предварительно очищенных сточных вод текстильных предприятий на слабо нагруженном этапе очистки активным илом;
- адсорбцию ПАУ;
- многоуровневую фильтрацию (коагулирующую фильтрацию), включая дозирование полиэлектролитов и хлористого железа.

На рис. 6.26 представлена технологическая схема.

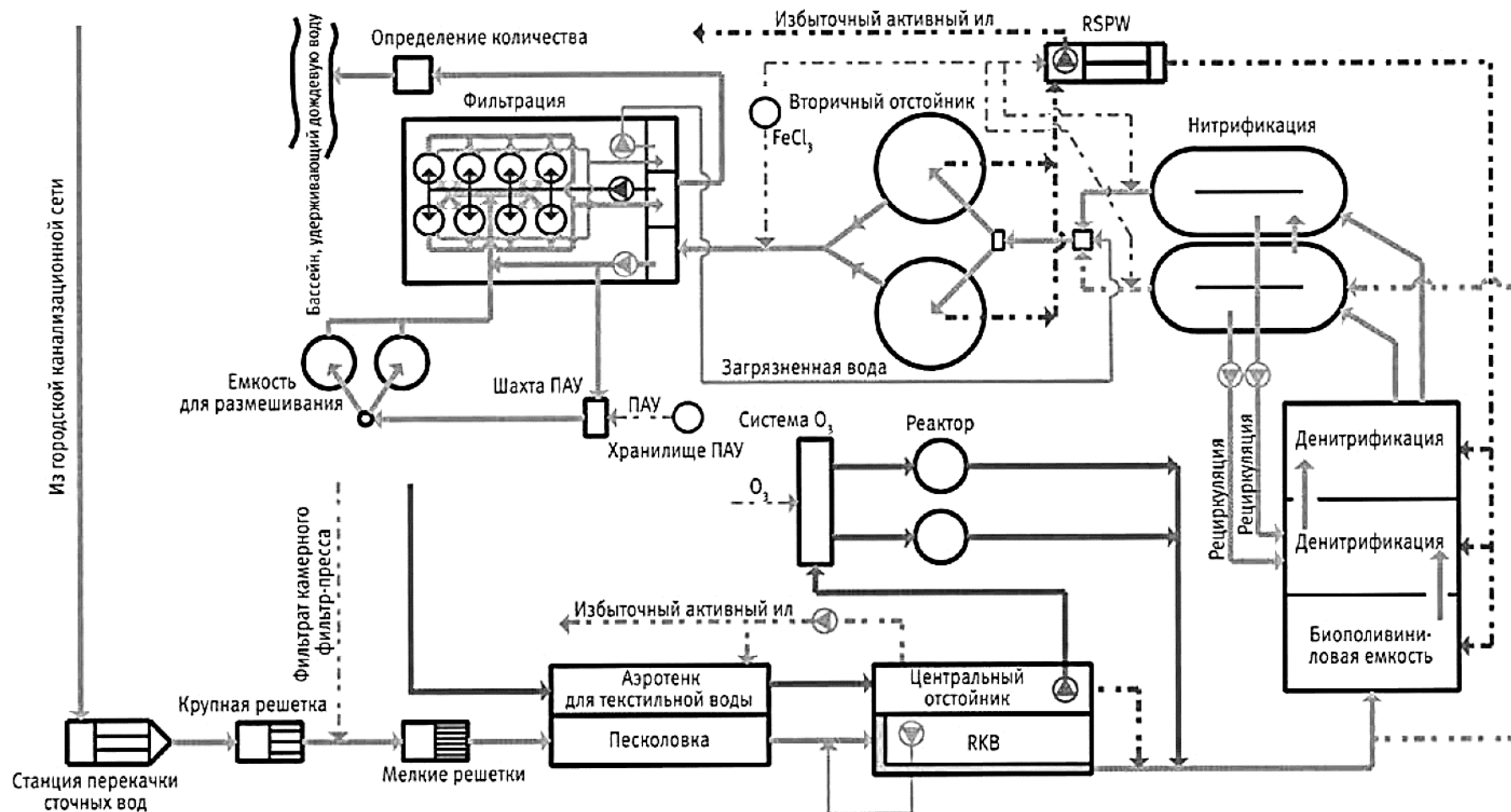


Рис. 6.26. Технологическая схема коммунального очистного сооружения с высоким содержанием сточных вод текстильных предприятий

В зависимости от уровня загрязнения в текстильной промышленности могут быть исключены или включены этапы озонирования и адсорбции. При помощи озоновой обработки может быть достигнуто максимальное осветление сточных вод. Остаточная концентрация ХПК выполняет минимальные требования об обязанности предприятий возводить водоочистные сооружения.

1.30. Кожевенное производство

Шкуры на скотобойнях являются побочными продуктами. Они представляют собой сырьевой товар для кожевенного производства. Шкура состоит из трех слоев: эпидермиса, кориума (собственно кожи) и подкожной соединительной ткани.

В кожевенном производстве может быть использован только кориум, который большей частью состоит из волокнистого белка, коллагена. Благодаря впитыванию дубильных веществ он становится прочным и долговечным, т. е. превращается в кожу.

Раньше шкуры и меха на кожевенных заводах преимущественно засаливались. Засолка приводила к спаду качества, но она неизбежна, если изделие должно временно храниться. Сегодня все большая часть шкур и мехов доставляется на кожевенный завод в течение нескольких часов после убоя и там сразу обрабатывается.

Этапы кожевенного производства можно разделить на четыре основные группы:

- хранение шкур;
- процессы в отмочно-зольном цехе (части кожевенного завода, где шкуры предварительно обрабатываются перед собственно дубильным процессом);
- дубление;
- следующая за дублением выделка (например, крашение, жиrowание и сушка);
- заключительная выделка.

Доставленный, возможно законсервированный, сырьевой товар проходит перед процессом дубления через такие рабочие этапы, как замачивание, зольение (также обезволашивание намазью, удаление во-

лос щелочным обрабатывающим раствором), обеззоливание (обработка неорганическими или органическими кислотами, или их солью), мягчение и пикелевание (опускание в раствор из соли и кислоты).

Первые технологические операции в отмочно-зольном цехе служат удалению веществ, ненужных для образования кожи. Кроме того, благодаря этим подготовительным работам кориум должен быть очищен для непосредственно дубильного процесса.

Существуют способы дубления минеральными дубильными материалами (например, хромовое дубление), растительными и синтетическими дубильными материалами (растительное дубление), жировое, альдегидное и хиноновое дубление (выделка замши) и комбинированные способы дубления.

Из названных способов применяется преимущественно хромовое дубление (около 85%). Дубильным действием обладает только комплексная соль трехвалентного хрома. При дублении шкура животного изменяется таким образом, что она не разлагается во влажном состоянии, не расклеивается при нагревании и не трескается на морозе. После дубления шкуры становятся промежуточным продуктом для продажи (обозначение «wet blue» (сырой синий) благодаря синей окраске при хромовом дублении, «wet white» (сырой белый) благодаря белой окраске при дублении дубильными веществами, не содержащими хром).

В противоположность кожевенному производству при производстве меха волосяной покров сохраняется. При производстве меха процесс дубления называется «облагораживанием».

Объем и состав сточных вод

При производстве меха принято оставлять шкуры, голые (обозначение для шкур после зольения) или полуготовую кожу wet blue на нескольких отдельных этапах процесса в пределах одной производственной емкости и осуществлять смену технологических вод. Таким образом, часто следующие технологические операции:

- замачивание, зольение, промывка;
- обеззоливание, закрепление красителя, пиклевание, хромовое дубление;
- промывка, нейтрализация, промывка, крашение, жирование, утяжеление, додубливание, промывка проходят в

пределах одной производственной емкости. При этом в зависимости от механических способов мездрения, двояния, подсушивания, строгания и промежуточной сушки эти операции могут располагаться в другом порядке.

Как правило, каждая отдельная производственная емкость связана с одним, максимум с двумя стоковыми трубопроводами, так как разделение на все отдельные красильные ванны нецелесообразно. Из этого вытекает объединение технологических сточных вод с похожими характеристиками (щелочные и кислотные) в отдельные потоки, которые затем в зависимости от их уровня загрязнения подвергаются специфической обработке или объединяются в общий поток, табл. 6.35.

Характерными признаками сточных вод кожевенного завода являются содержание сульфидов и соединений трехвалентного хрома. Чтобы сократить их выброс, возможны внутрипроизводственные меры (например, утилизация использованных соков, регенерация хрома, регенерация сульфида, рециркуляция).

Таблица 6.35

Объединение потоков сточных вод в хромовом кожевенном производстве

Параметр	Единица измерения	Показатель по технологическим операциям	
		Первой и второй	третьей
Выходной материал		Кожевенное сырье	Полуготовая кожа синего цвета при хромовом дублении)
Относительный вес	мг	Вес кожевенного сырья	Вес после строгания
Объём сточных вод	м ³ /мг	20-30	15-30
Показатель РН	—	9,5-11,5	3,8-5,6
БПК ₅	мг/л	2400-3600	1900-4000
ХПК	мг/л	4000-9000	3100-10000
N _{орг}	мг/л	400-800	—
NH ₄ -N	мг/л	120-250	80-400
Сульфид	мг/л	50-200	<<0,1
Хром (III)	мг/л	100-400	35-380

Многократное использование ванн для хромирования подразумевает большие затраты в целях сохранения качества кожи. Из-за накопления соли и органических примесей после длительного применения (3-4 месяца) ванны должны быть утилизированы. Многократное использование ванн для дубления при производстве высококачественной кожи (для верха обуви) приводит к снижению качества. Поэтому такая методика в этой области применяется только при производстве не сильно высококачественной кожи (например, спилка).

Содержание хрома в сточных водах может быть минимизировано при помощи отделения красильной жидкости. При этом введенный в красильную жидкость хром в максимальной мере закрепляется на коже. Кроме того, регенерация хрома проводится путем осаждения и растворения хромосодержащего осадка в серную кислоту.

Раствор сульфата трехвалентного хрома после установки желаемого показателя рН снова используется в процессе дубления с едким натром и другими химикатами. Эти методы способствуют уменьшению иных подлежащих удалению как особые отходы хлорсодержащих осадков.

Определяющим для требований относительно сточных вод кожевенного производства и облагораживания меха представлены в табл. 6.36.

Таблица 6.36

Требования относительно смешивания сточных вод

Процессы	Параметр, концентрация
Замачивание, зольение, обеззоливание, при необходимости включая полоскание	Сульфид: 2 мг/ л
Дубление, выделка, при необходимости включая полоскание Производство материалов из кожевенных волокон	Суммарный хром: 1 мг/

Обработка сточных вод

При обработке сточных вод различают обработку части потока и обработку общего потока. Целесообразность проведения обработки части потока или общего потока, в особенности для хрома или сульфида, зависит от соответствующих производственных и местных условий. Обработка может проводиться как циклическим, так и проходным способом.

Сточные воды из кожевенной промышленности должны подвергаться хорошей биологической очистке. Утилизация сточных вод происходит, как правило, в виде непрямого сбрасывания в канализацию. В зависимости от местных условий может требоваться проведение мер по очистке отработанного воздуха.

Источниками поступления этих насыщенных запахом потоков отработанного воздуха (например, сероводорода, аммиака) могут быть водохранилище, окисление сульфида или обработка осадка.

Данные, приведенные в табл. 6.37, представляют собой типичные значения КПД при обработке сточных вод из кожевенного производства. Они касаются традиционных технологических растворов для производства готовой кожи из кожевенного сырья.

1.31. Целлюлозно-бумажное производство

Более 95 % используемых при производстве бумаги материалов составляют нерастворимые в воде волокнистые вещества и наполнители. Потребность в волокнистом материале удовлетворяется использованием исключительно возобновляемого сырья, преимущественно древесины (частично механически или химико-механически расщепленной на волокна в виде древесной массы, частично химически разваренной в виде целлюлозы).

Основными видами волокнистого вещества, используемыми при производстве бумаги, являются макулатура, целлюлоза и древесная масса. Другие волокна, такие как ветошь из старых текстильных материалов, хлопчатобумажное волокно, хлопковый пух, шерсть, синтетические органические волокна и неорганические волокна, используются только для производства немногих специальных продуктов и играют второстепенную роль.

В 2006 г. доля использования макулатуры (соотношение расхода макулатуры к производству бумаги и картона) составляла 67,4%, столько, сколько ни в одной другой стране. Доля рециркуляции макулатуры (соотношение количества произведенной макулатуры к расходу картона и бумаги) составляла 75%. Обусловленные требованиями к качеству, существуют большие различия между отдельными сортами

бумаги, таким образом, доля использования макулатуры для производства газетной и упаковочной бумаги составляла до 100%, для производства же полиграфической бумаги – лишь 26%.

Производство бумаги и целлюлозы принципиально различается как производственным процессом, так и характером, и количеством сточных вод. Получение целлюлозы (так же, как и производство древесной массы или обработка макулатуры) осуществляется часто на совместных фабриках вместе с производством бумаги (объединенные бумажные фабрики). Получение целлюлозы и изготовление полуфабрикатов значительно содействуют выходу и загрязнению сточных вод в соответствующем месте установки оборудования. Перед описанием процесса производства бумаги представим важные методы обработки или выработки сырья.

Получение целлюлозы

При производстве целлюлозы выщелачиваются посторонние примеси целлюлозы из растительного материала (преимущественно из древесины). В случае древесины это главным образом лигнин и гемицеллюлоза. Как правило, при этом растворяется более 50% древесной субстанции и в раствор добавляется отбеливающее вещество, вместе с которым удаляются окрашивающие соединения, прежде всего остатки лигнина. Применяются две основные технологии.

При сульфатном способе получения целлюлозы для разрушения используется водный раствор из едкого натра и сернистого натрия. Из отработанного щелока от выварки (черная щелочь) путем выпаривания и сжигания могут восстанавливаться растворенные химикаты после дополнительного химического преобразования.

При сульфитном способе получения целлюлозы для разрушения используется раствор гидросульфита (варочная кислота), который содержит переизбыток растворенного SO_2 .

После разрушения целлюлоза, как правило, подлежит дальнейшей обработке (отделение варочной жидкости, удаление посторонних веществ) и белению. Беление полученной целлюлозы проводится чаще всего в несколько этапов. Если раньше в качестве окислителя при белении применялся в основном хлор, то сегодня вместо него используется кислород, чаще всего обогащенный пероксидом водорода.

При получении целлюлозы наряду с малыми отдельными потоками образуются два потока сточных вод: конденсаты вторичного пара

при сульфитном способе и сточные воды из процесса беления, которые составляют основную часть сточных вод, при сульфатном способе. Бумажные фабрики закупают целлюлозу преимущественно в качестве торгового изделия.

Существует очень мало чисто целлюлозных заводов и несколько с интегрированным производством целлюлозы. В последних получаемая целлюлоза зачастую поставляется на завод по производству бумаги только в сгущенном и необезвоженном виде, вследствие чего растворенные в целлюлозной суспензии органические примеси попадают в процесс производства бумаги, и четкое отделение загрязнений сточных вод становится невозможным.

Изготовление древесной массы

Полученные в ходе механического расщепления древесины виды волокнистого вещества, являющиеся сырьем для производства бумаги, называются древесной массой. Отдельные технологии различаются типом механического разложения (расщепление стволов дефибрерным камнем или расщепление щеп между движущимися параллельно рифлеными металлическими пластинами, так называемыми рафинерами), а также уровнем давления и температуры, при которых проводится разложение.

Для производства достаточно белой бумаги древесные опилки в последующем должны подвергнуться белению при помощи гидросульфита, или окисляющего отбеливающего вещества с пероксидом водорода, или путем комбинации обоих способов. Отбеленный и сгущенный материал после сортировки передается в качестве готового полуфабриката на бумажную машину. Содержащиеся в суспензии древесной массы растворенные органические соединения попадают, таким образом, в циркулирующую воду бумажной машины.

Обработка макулатуры

Макулатура, как и древесная масса, как правило, обрабатывается на бумажной фабрике. Зачастую обработка производится путем простого расщепления и последующей сортировки, при которых устанавливаются различные уровни температуры и давления. При этом макулатура сначала растворяется в гидроразбивателе, а образующие жгуты

вещества отделяются. Для разложения чаще всего применяется циркуляционная вода из бумажной машины. Сортировка осуществляется в центробежных очистниках.

Для производства высококачественной бумаги качество производимой таким образом макулатуры является недостаточным, вследствие чего печатные краски и прочие посторонние вещества должны быть удалены путем так называемой регенерации (чаще всего это химическое удаление печатной краски и разделение при помощи флотации).

Произведенная макулатура часто еще отбеливается и затем значительно обезвоживается или направляется в бумажную машину в качестве суспензии.

Прочие добавки

Наряду с волокнами часто добавляются органические, нерастворимые в воде наполнители с целью изменить структуру пор бумаги. В качестве белых наполнителей используют, к примеру, каолин, карбонат кальция или тальк. Для создания других характеристик применяется множество вспомогательных средств (проклейка для улучшения качества принятия письменных материалов, смолы или смешанные полимеры для повышения влагопрочности и т. д.), которые различаются в зависимости от сорта бумаги.

Прочие вспомогательные средства и добавки часто производственно необходимы, чтобы оптимизировать процесс или вообще сделать возможным быстрый ход бумажной машины. Применение всех этих веществ может оказывать влияние на очистку сточных вод.

Описание процесса производства бумаги

В самом процессе производства бумаги вода играет также решающую роль. При производстве бумаги вода служит суспендирующим и транспортирующим средством для волокнистых материалов и наполнителей, растворителем для химических вспомогательных средств и средой образования водородных мостиков между волокнами. Эти водородные мостики представляют собой важные компоненты прочности продукта. Поэтому бумага, в привычном нам понимании, не может быть произведена без воды. Для обработки волокон и образования волокнистого холста на сетке бумажной машины требуются, в зависимости от сорта, от 250 до 1000 л воды на продукт. Большая часть этой воды может быть вторично использована, так что удельный расход

воды значительно меньше. Сточные воды выделяются в этом процессе в принципе только в качестве избыточной циркуляционной воды, вытесненной введенной свежей водой.

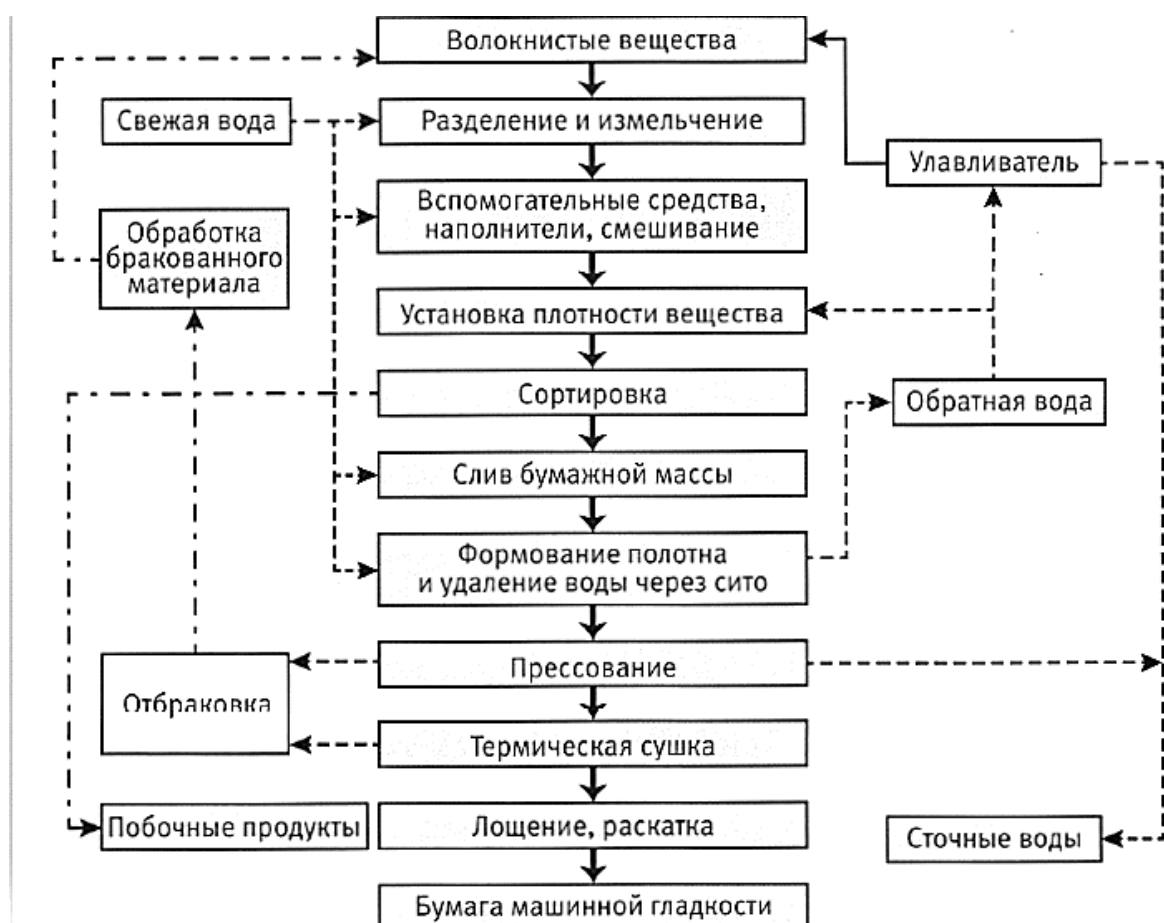


Рис. 6.27. Упрощенная общая схема производства бумаги

На рис. 6.27 представлена общая схема производства бумаги по отношению к водному хозяйству. После первого удаления воды при помощи сита содержание воды снижается в специальных прессах до 40-55-процентного содержания сухого вещества и, в заключение, путем термической сушки барабаном, изнутри нагреваемым паром, доводится до уровня окончательного влагосодержания меньше 10%.

Процесс производства протекает по следующей схеме, рис. 6.27. Сначала волокнистые материалы при добавлении воды в периодически или непрерывно работающие установки разделяются, а затем в зависимости от вида производимой бумаги более или менее интенсивно измельчаются в вещество желаемого качества. Различные волокнистые материалы смешиваются друг с другом.

Циркуляция воды и внутрипроизводственные меры

Перед рассмотрением количества и очистки сточных вод, будут представлены основные характеристики циркуляции воды в производстве бумаги и внутрипроизводственные меры по оптимизации процесса, рис. 6.28.

Перед рассмотрением количества и очистки сточных вод, будут представлены основные характеристики циркуляции воды в производстве бумаги и внутрипроизводственные меры по оптимизации процесса, рис. 6.28.

обходимые количество и качество воды. При этом различаются в общем три циркуляции – первичная, вторичная и, в случае наличия, третичная.

Первичная циркуляция является самой большой по объему и содержит подсеточную воду. В ходе этой циркуляции происходит забор вещества и формование полотна на сите.

Вторичная циркуляция состоит из избыточной подсеточной воды и формируется зачастую также из оттоков из сетчатого челнока, осажденной воды из отсасывающего ящика и вакуумного насоса. Общий объемный поток этой циркуляции проводится, как правило, через улавливатель. Полученное волокнистое вещество отправляется в массивный машинный чан или в размольно-подготовительный отдел.

Чистая вода из улавливателя применяется разнообразно, например, для растворения вещества в гидроразбивателе, для регулирования требуемой плотности вещества и для трубок для замочки волокна в сеточной части бумажной машины или в качестве воды гидравлического затвора и для растворения вспомогательных веществ. В зависимости от примененного улавливателя могут допускаться различные качества очищенной воды для повторного использования. Не использованная повторно часть отправляется в водоочистное сооружение.

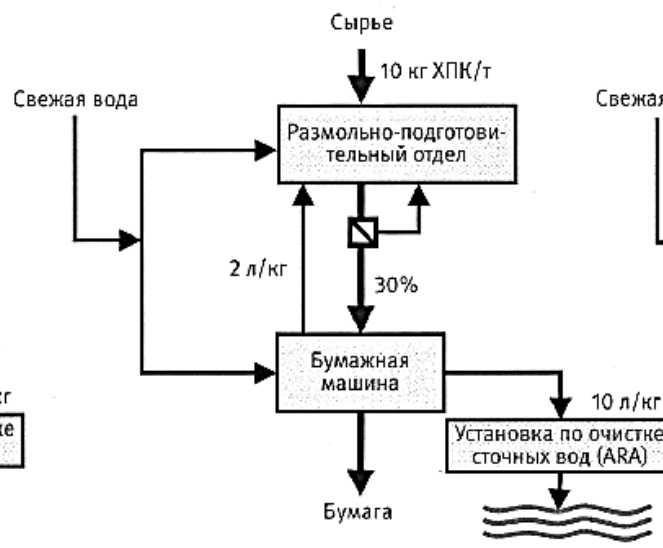
Третичная циркуляция проводится только на немногих фабриках и представляет собой частичный возврат очищенных сточных вод в производство. При производстве определенных сортов (например, бумаги-основы для гофрированного картона) в производство может быть возвращен также весь объем сточных вод.

Возможности применения воды из третичной циркуляции зависят от качества воды. Применение полностью биологически очищенных сточных вод часто может быть проблематичным из-за содержащихся в них карбонатов кальция, так как это может привести к образованию отложений в производственном процессе и к засорению сопел и т. п. На рис. 6.29 представлены варианты циркуляции сбросной воды на бумажном производстве..

А. Основные элементы системы материал—вода



Б. Принцип разделения циркуляций



В. Принцип проведения противотока

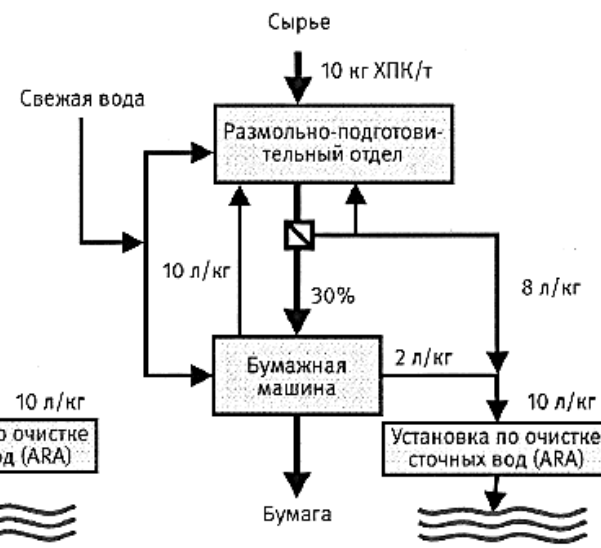


Рис. 6.29. Возможные схемы циркуляции

В представленной на рис. 6.29 простой системе (А) на обоих этапах технологического процесса, в размольно-подготовительном отделе и на бумажной машине, используется потенциально свежая вода. Сточные воды выводятся преимущественно из бумажной машины. Наряду с этим в обоих компонентах системы вода взаимозаменяется. При этом количество возвращенной из бумажной машины в размольно-подготовительный отдел воды определяется плотностью вещества, которое передается в бумажную машину.

Для оптимизации отвода воды можно сформулировать два важнейших принципа: разделение циркуляций (Б) и проведение противотока (В). Циркуляции воды могут быть существенно разделены путем установки загустителя (например, пресса). При этом с увеличением сгущения передается меньше воды из размольно-подготовительного отдела в бумажную машину, вследствие чего также содержащиеся в воде засоряющие вещества остаются в размольно-подготовительном отделе.

Но при отсутствии выброса сточных вод из размольно-подготовительного отдела (см. рис. 6.29, Б) отсутствует сток для содержащихся в сточных водах засоряющих веществ, так что фактического выгрузки ХПК-компонента системы бумажной машины не происходит.

При проведении противотока принцип разделения циркуляций расширяется. Часть возвращенного в размольно-подготовительный отдел сильно загрязнённого фильтрата выводится в установку для очистки сточных вод. В целях уравнивания для выброса из размольно-подготовительного отдела возвращается больше воды из бумажной машины в размольно-подготовительный отдел.

При этом в самой чувствительной части бумажной машины используется вода лучшего качества, в то время как сточные воды выводятся из самого загрязненного компонента системы – размольно-подготовительного отдела. Водный поток и поток материалов имеют противоположные направления, нагрузка ХПК в отделе системы бумажной машины значительно снижается.

Для первоначального анализа возможной оптимизации можно рассматривать простые параметры, которыми может быть описана эффективность внутрипроизводственных схем циркуляции. Для этого даются определения двум параметрам, которые описывают соотношение значений ХПК на различных участках производства, рис. 6.30.

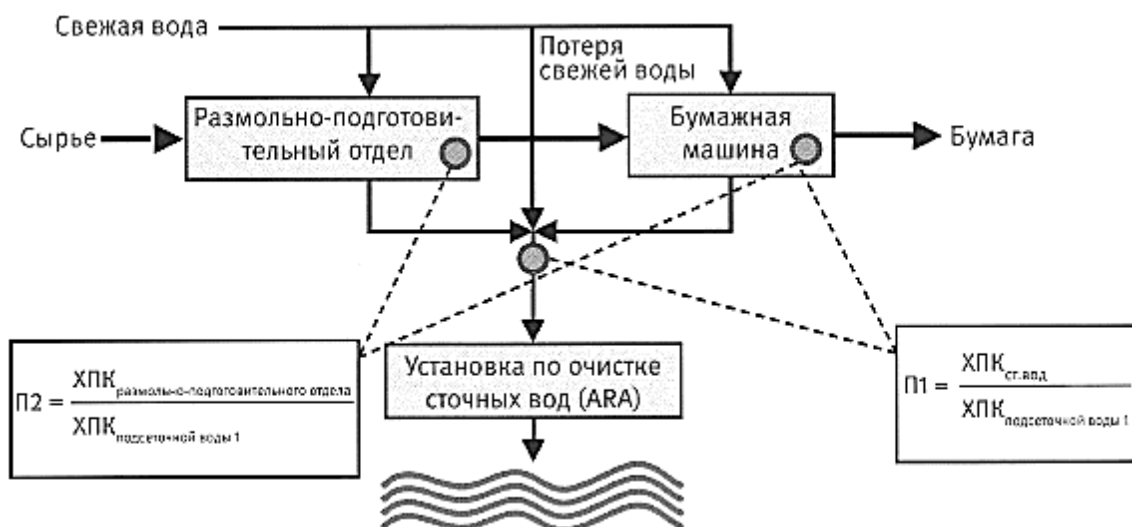


Рис. 6.30. Возможные схемы циркуляции

Первый показатель $П1$ – соотношение ХПК сточных вод и подсеточной воды бумажной машины – должен равняться минимально единице или больше, только тогда можно рассчитывать на то, что свежая вода не будет выведена неиспользованной из циркуляции воды. Показатель $П2$ описывает соотношение значений ХПК в циркуляциях воды размольно-подготовительного отдела и бумажной машины.

При этом нагрузка ХПК в подсеточной воде бумажной машины относительно значения ХПК в размольно-подготовительном отделе должна быть как можно ниже ($П2 < 1$), это значит, что ХПК главным образом сохраняется в размольно-подготовительном отделе. Формование полотна бумаги на сите бумажной машины разгружается. Третьим параметром ($П1/П2 = ХПК_{\text{ст.вод}}/ХПК_{\text{размольно-подготовительного отдела}}$) определяется, соответствующие ли сточные воды выводятся из сооружения по производству бумаги.

Если $П1/П2$ близко к единице, это означает, что значение ХПК в сточных водах практически соответствует значению ХПК в размольно-подготовительном отделе, и в значительной мере достигнута противоточная схема, как показано на рис. 6.29.

Представленные выше взаимосвязи служат для простых производственных установок ровно с одной циркуляцией воды в размольно-подготовительном отделе и в бумажной машине. В зависимости от программы производимого сорта бумаги и структуры завода условия могут быть более комплексными, и можно детально выделить большое

количество возможных взаимосвязей размольно-подготовительных отделов и бумажных машин, которые делают необходимым проведение очень подробного анализа циркуляции воды как отправной точки для возможной оптимизации.

Внутрипроизводственные меры оптимизации циркуляции воды играют определяющую роль в целлюлозном производстве и в производстве бумаги. Важнейшей целью часто является дальнейшее сокращение циркуляции воды в целях экономии расходов на прямой (в водоем) или не прямой (в канализацию) сброс сточных вод.

Следующим мотивом проведения внутрипроизводственных мер является возможность негативного влияния неоптимизированных циркуляций воды на производство и качество продукции.

Можно сформулировать следующие цели оптимизации циркуляций воды:

- сократить количество сточных вод и улучшить качество циркуляции воды, возможно, совсем исключить циркуляцию воды;
- уменьшить колебания объемов воды;
- свести к минимуму потерю твердого вещества (при потере пригодных волокон теряется ценное сырье!);
- одновременно предотвратить засоления, отложения известкового налета и запахи.

Исследования бумажно-технического учреждения показывают, что во многих производственных установках удельное количество сточных вод может быть сокращено без повышения уровня загрязнения подсеточной воды бумажной машины.

Этого можно добиться, например, путем оптимизации схемы циркуляции, как описано выше (разделения циркуляций, проведения противотока), таким образом, что засоряющие вещества систематически выводятся там, где это возможно при минимальном расходе воды. При сокращении удельного количества сточных вод в рамках оптимизации циркуляций воды образуются типичные границы, которые могут быть сокращены только с помощью значительных капитальных затрат.

Эти границы устанавливаются, среди прочего, количеством свежей воды, которая перед эксплуатацией используется в производстве в качестве охлаждающей воды; возникающим при производственном браке и выведенным количеством сточных вод, а также максимальным

уровнем концентрации ХПК и других растворенных примесей (кальция, сульфата, солей), который может быть допущен для соответствующего продукта в подсеточной воде.

Такие проблемы, как засоление, образование запаха и отложения известкового налета при закрытых циркуляциях воды, могут усиливаться и тем самым приводить к проблемам на производстве. Если количество сточных вод успешно сократилось, нужно всегда учитывать также и воздействия сокращения на производство!

Для дальнейшего сокращения циркуляции воды за пределами данных границ или для ее полного прекращения должны быть применены меры по очистке циркуляционной воды, с помощью которых можно будет контролировать уровень загрязнения циркуляционной воды растворенными примесями (ХПК, соли, краски). В зависимости от постановки проблемы, применяются следующие меры (отдельно или в комбинации друг с другом): анаэробная/аэробная биологическая очистка (удаление ХПК), ультрафильтрация, нанофильтрация и обратный осмос, озонирование, выпаривание в вакуум-аппарате и т.д.

Выход и состав остаточных сточных вод, условия сброса

Сточные воды бумажной фабрики в типичной и часто встречающейся форме слабо концентрированы, нетоксичны и хорошо биологически разлагаемы. Более высокие концентрации растворенных органических и неорганических веществ имеют место в бумажной промышленности из-за обширной рециркуляции производственной воды и связанного с ней сгущения, особенно в пригодных для этого производственных программах и сортах бумаги, содержащей древесную массу, и бумаги из макулатуры.

Принципиально незначительное загрязнение сточных вод бумажных фабрик объясняется тем, что при производстве бумаги применяется нерастворимое в воде сырье и только в небольших объемах водорастворимые вспомогательные вещества.

Самая большая часть органического загрязнения приходится на интегрированное в заводы производство макулатуры и древесной массы. Органическое загрязнение состоит главным образом из биологически легко разлагаемых углеводов и тяжело биологически разлагаемого лигнина. Соотношение БПК к ХПК в предварительно очищенных механически сточных водах из бумажной фабрики составляет в среднем 0,5.

Похожий состав имеют сточные воды из производства целлюлозы, где в первую очередь учитывается высокая доля биологически тяжело разлагаемых соединений лигнина (малое соотношение БПК к ХПК) и, применительно к биологической очистке, определенная токсичность, вызванная смоляными кислотами и другими составляющими древесины или коры.

Для различных сортов бумаги типичными являются концентрации сульфата. Сульфат алюминия является все еще широко распространенным вспомогательным средством при производстве бумаги, во второстепенных отраслях которого частично применяется в больших количествах. В сточных водах бумажных заводов концентрация сульфата, как правило, может достигать 600 мг/л, а в производстве бумаги, не содержащей древесную массу, уровень значительно ниже (<300 мг/л).

При производстве бумаги из макулатуры уровень концентрации сульфата близок к верхней границе названного предела (600 мг/л), иногда даже достигает больше 1000 мг/л, источником сульфата является макулатура (5-8 кг сульфата на тонну макулатуры).

Источником повышающейся концентрации кальция в циркуляции и сточных водах является карбонат кальция, который в последние годы находит все большее применение в качестве дешевого наполнителя и красящего пигмента. Из-за этого возрастает также доля содержания кальция в макулатуре, вследствие чего кальций вносится в производство также вместе с этим второстепенным сырьем. Слишком высокая концентрация кальция может привести к производственным проблемам, связанным с отложениями и засорениями.

Азот и фосфор содержатся в сточных водах бумажных заводов, как правило, в небольших количествах и чаще всего добавляются для биологической очистки, чтобы добиться стехиометрически необходимого соотношения БПК.

Поверхностно активные вещества (пеногаситель, удалитель воздуха, другие ПАВ) в сточных водах часто встречаются при производстве некоторых сортов в высоких концентрациях и могут негативно влиять на функционирование водоочистных установок.

Норма отведения сточных вод - изменение удельного количества сточных вод

Благодаря описанным внутрипроизводственным мерам в течение последних десятилетий существенно уменьшилось удельное количество сточных вод. На рис. 6.31 показано изменение удельного количества сточных вод при производстве всех сортов бумаги с 1974 по 2002 г. При этом в последние годы была достигнута лишь незначительная минимизация. Дальнейшего значительного уменьшения удельного расхода воды можно добиться в будущем только при повышенных технических и экономических затратах.

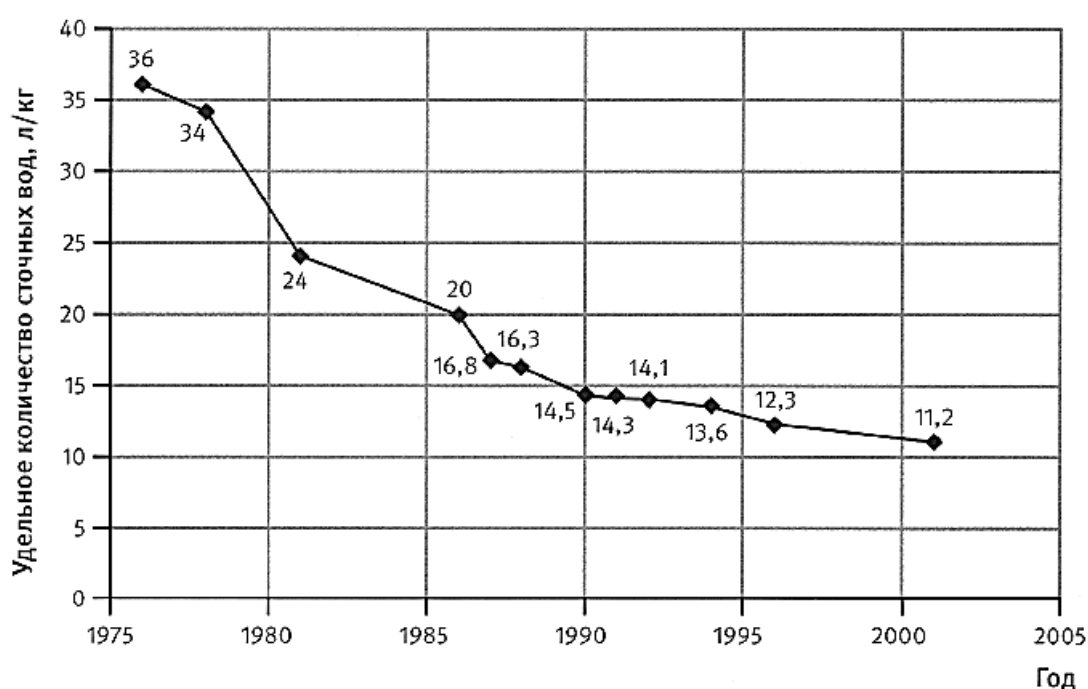


Рис. 6.31. Изменение удельного количества сточных вод в бумажной промышленности

Значительны естественные различия между отдельными видами продуктов. В особенности в области производства специальной бумаги и бумаги, не содержащей древесную массу, требуется и впредь высокое удельное количество воды, в то время как для производства сортов бумаги из макулатуры и упаковочной бумаги количество сточных вод может быть существенно снижена (табл.6.40).

Таблица 6.40

**Типичные области, концентрации и удельное количество
сточных вод в зависимости от сортовой программы**

Сорт бумаги	Сортовая программа	Концентрация				Удельное ко- личество сточных вод, Q, л/кг	
		БПК ₅ , мг/л		ХПК, мг/л			
		от	до	от	до	от	до
Бумага, не содержащая древесную массу	1.1. Санитарно-гигиеническая бумага-основа	50	100	95	270	9	25
	1.2. Декоративная отделка	20	40	50	100	20	70
	2.1. Не содержащая древесную массу набивка	65	220	150	400	5	20
	2.2. Не содержащая древесную массу специальная	40	550	90	1100	15	60
	3.1. Сильно измельченная	10	30	20	60	100	250
	3.2. Специальная	10	40	45	110	50	100
	5. Не содержащая древесную массу мелованная	170	260	360	540	20	30
Бумага, содержа- щая	6.1. Суперкаландрированная	125	480	450	1020	13	20
	6.2. Особо легкая мелованная	150	460	430	1300	12	30
	6.3. Содержащая древесную массу набивка	220	500	500	1160	8	30
	6.4. Картон, содержащий менее 50% макулатуры	140	200	320	490	15	25
Бумага, содержащая макулатуру	7.1. Газета	460	1270	960	2400	7	20
	7.2. Бумага - основа гофрированного картона	1280	2840	2190	5680	0	10
	7.3. Картон, содержащий макулатуру	530	3000	1140	5500	0	15
	7.4. Вторичная	250	400	540	790	10	20

В табл. 6.40 представлены средние концентрации и удельное количество сточных вод для важнейших сортов бумаги и определенные сортовые программы. Данные касаются предварительно механически очищенных сточных вод.

Специфические концентрации, количество воды и нагрузка зависят, наряду с производимым продуктом, также от применяемых полу-

масс, характера движения циркуляции воды и применяемых вспомогательных веществ, таким образом, внутри отдельных групп продуктов имеются слишком значительные различия.

Удельная масса ХПК в сортах, содержащих макулатуру, в последние годы все больше увеличивается. К тому же, по причине снижающегося качества макулатуры и высоких требований к продукции, для повышения прочности добавляются вспомогательные вещества, образующие ХПК, такие как крахмал.

Таблица 6.41

Минимальные требования к сбросу сточных вод от производства бумаги и картона

Ингредиенты	Качественная выборочная проверка или двухчасовая смешанная проба	
	мг/л	кг/т
Отфильтровываемые вещества	50	—
БПК ₅	25	—
N _{неорг}	10	—
P _{общ}	2	—
ХПК	-	3

Требования к отфильтровываемым веществам отсутствуют, если сточные воды очищаются биологически. В определенных отраслях производства допустимая масса ХПК может достигать 5 кг /т.

В сточных водах до смешивания в месте сброса должно поддерживаться значение АОГ 10 г/т в выборочной пробе, за исключением отличающегося уровня для специальных сортов бумаги. Специфические для производства значения нагрузки зависят от лежащей в основе общей производительности оборудования завода.

Методики обработки сточных вод

Биологическая очистка сточных вод в целлюлозно-бумажной промышленности соответствует уровню развития технологии. Проведение дальнейшей обработки сточных вод не требуется только при производстве не содержащей древесную массу немелованной бумаги, где из-за неизбежно высокого удельного расхода воды и незначительного входного загрязнения после химико-механической обработки

концентрация БПК₅ составляет меньше 25 мг/ли не превышает установленную удельную массу БПК₅ и ХПК.

Таблица 6.42

Сточные воды бумажной промышленности относительно количества произведенной продукции в 2001 г.

Вид очистки и спуска	Доля, %
Объекты с прямым сбросом сточных вод и биологической очисткой	74
Замкнутая циркуляция	4
Объекты с непрямым сбросом сточных вод	18
Объекты с прямым сбросом сточных вод и химической очисткой	3

Большая часть биологически очищенных сточных вод в бумажной промышленности отводится напрямую в водоемы, табл. 6.42.

Установки для очистки сточных вод бумажной промышленности часто построены таким образом, что не все этапы обработки должны быть пройдены

- отделение твердых веществ, например, путем осаждения;
- нейтрализация, если необходима;
- этап охлаждения для охлаждения сточных вод (температура сточных вод обычно превышает максимально допустимую температуру сброса, кроме того, температура должна быть понижена до оптимального уровня для прохождения последующих биологических этапов);
- биологический этап (одноступенчатая биологическая очистка или двухступенчатая концепция оборудования: анаэробная/аэробная либо аэробная/аэробная очистка);
- при необходимости третий этап очистки для соблюдения контрольных значений (например, биофильтрация, озоновый этап или химическая флотация

Механическая предварительная очистка/отделение твердых веществ

Механические методы очистки используются главным образом для отделения твердых веществ. Они применяются как в ходе внутрипроизводственных мероприятий по вторичному использованию пригодных для применения твердых веществ (волокон бумаги), так и при очистке поступающих сточных вод.

В ходе внутрипроизводственных мероприятий применяется прежде всего фильтрация, флотация и частично седиментация, при очистке сточных вод – практически исключительно седиментация. Для фильтрации применяются в основном дисковые фильтры, или дуговые сита, или барабанные фильтры. Очищенная вода после фильтрации имеет содержание взвесей от 10 до 100 мг/л.

В ходе внутрипроизводственной очистки в циркуляции вместо фильтров может также применяться флотация. Во флотационных установках, в отличие от методов фильтрации, для достижения желаемой степени осаждения твердых веществ часто добавляются химикаты.

Остатки сточных вод из бумажного производства часто сильно загрязнены наполнителями и волокнами, которые из-за своей небольшой длины не могут быть повторно использованы. Чтобы излишне не нагружать биологическую установку твердыми веществами, которые являются по большей части неразлагаемыми, нужно предварительно произвести отделение твердых веществ.

При механическом отделении твердых веществ в остатках сточных вод используются преимущественно удлиненные и круглые седиментационные отстойные бассейны с ламелями. Чтобы не нарушить процесс седиментации, необходимо стремиться к максимально равномерной гидравлической нагрузке. При сильно колеблющемся количестве сточных вод следует использовать буферную емкость.

Биологический метод

Применение двухступенчатого биологического метода очистки сточных вод может рассматриваться как соответствующее уровню развития технологии для бумажной и целлюлозной промышленности. Завершающий этап или единственный биологический этап почти всегда проходит в установке для очистки сточных вод активным илом. С недавних пор отдельные потоки или весь объем сточных вод все чаще

подвергаются различным методам предварительной обработки перед общей конечной очисткой активным илом:

- физико-химическая очистка (химическое осаждение);
- анаэробно-биологическая очистка;
- аэробно-биологическая очистка пленочными реакторами (например, реакторами со взвешенными слоями, орошаемым биофильтром и т. д.).

Предпочтительная в каждом отдельном случае комбинация методов зависит от специфической для каждого сорта структуры обрабатываемых сточных вод.

В табл. 6.43 дан обзор возможных комбинаций методов в зависимости от производственной программы завода. Здесь представлены часто встречающиеся методы, но также могут быть использованы другие методы и их комбинации, не названные конкретно.

Аэробные методы

Установки аэрации для очищения сточных вод бумажной промышленности должны быть так сконструированы, чтобы предотвращалось образование вспухшего активного ила. В одноступенчатых полностью перемешанных системах преодолеть образование вспухшего активного ила в связи со сливанием сточных вод практически невозможно.

Наряду с классическими методами очистки в аэротенках и вторичным отстаиванием, с недавнего времени стали применяться или испытываться также установки РПД и мембранно-биологические методики.

Часто применяемые на первом этапе в двухступенчатых установках реакторы со взвешенными слоями содержат в качестве носителя биомассы синтетические наполнители с удельной плотностью от 0,9 до 1,3 г/см³, которые удерживаются от спуска в реакторе решетками, а за счет аэрации реактора находятся в подвешенном состоянии. Двухступенчатые установки в качестве первой ступени используются без промежуточного осветления.

**Выбор метода в зависимости от происхождения
сточных вод**

Сорт бумаги	Предпочтительные биологические методы
Сульфатцеллюлоза	Насыщенный кислородом каскад регенерации Реактор со взвешенными слоями+ регенерация
Сульфитцеллюлоза	Анаэробный реактор+ регенерация
Бумага, не содержащая древесную массу: БПК < 70 мг/л БПК > 70 мг/л	Биофильтр Двухступенчатый биофильтр, каскад регенерации
Мелованная бумага	Каскад регенерации Реактор со взвешенными слоями + регенерация
Бумага, содержащая древесную массу	Реактор со взвешенными слоями + регенерация
Бумага, содержащая макулатуру	Реактор со взвешенными слоями+ регенерация Анаэробный реактор+ регенерация

Анаэробные методы

Анаэробная очистка сточных вод, которая практиковалась для очистки испаряющихся конденсатов в производстве целлюлозы, несколько лет уже пользуется повышенным интересом в бумажной промышленности. Основными причинами этого являются незначительный расход энергии, небольшое количество избыточного ила и возможность использовать биогаз.

Благодаря достигнутому уровню развития различных анаэробных процессов возможность анаэробной очистки сточных вод бумажного завода с концентрацией ХПК 2000 мг/л можно считать гарантированной. Установки используются даже при меньшей концентрации в сточных водах.

Для очистки сточных вод бумажных заводов используется технология РСГИ и следующие из ее применения типы высоконагружаемых реакторов. Для технологии РСГИ в качестве расчетных параметров определено значение от 6 до 10 кг ХПК/(м³·сут). Усовершенствованные таблеточные реакторы (например, реактор IC или реактор «Биобед») эксплуатируются с гидравлической нагрузкой между 17 и 25 кг/(м³·сут).

Основной сферой использования анаэробного метода является производство бумаги-основы для гофрированного картона, так как

здесь мы имеем дело, как правило, с невысокой концентрацией сульфата и небольшим удельным объемом воды с повышенной концентрацией ХПК.

Пример двухступенчатой аэробно/аэробной очистки сточных вод

Сначала представлена очистка сточных вод на бумажной фабрике, производящей в двух бумажных машинах около 400 000 т/год содержащей древесную массу мелованной бумаги для глубокой печати. Использованная раньше с 1982 г. (вторая линия с 1988 г.) одноступенчатая установка биологической очистки активным илом была дополнена в 2004 г. подсоединенным реактором со взвешенными слоями. Основанием для усовершенствования служили изменения в измельчении продукта и утверждение новой пероксидной отбелики древесной массы со связанной с ним высокой удельной массой ХПК в сточных водах.

К тому же в старой установке время от времени возникали производственные проблемы в связи с высоким иловым индексом осадка, что часто случается в одноступенчатых установках в области очистки сточных вод бумажного производства.

Дополненная установка рассчитана на приведенные в табл. 6.44 показатели.

Таблица 6.44.

Показатели для расчета аэробно/аэробной установки для очистки сточных вод

Параметр	Единица измерения	Показатель
Подача	м ³ /сут	14400
ХПК	мг/л	1300
ХПК	кг/сут	17000
Твердые вещества	мг/л	2900
Температура	°С	47

Оборудованная на второй линии установка по очистке сточных вод включает в себя, прежде всего, нейтрализацию, два круглых резервуара предварительной очистки и охлаждающую установку (шесть теплообменников и две принадлежащие им циркуляции холодной воды), где сточные воды охлаждаются до 35 °С.

Схема двухступенчатой установки представлеан на рис. 6.32.

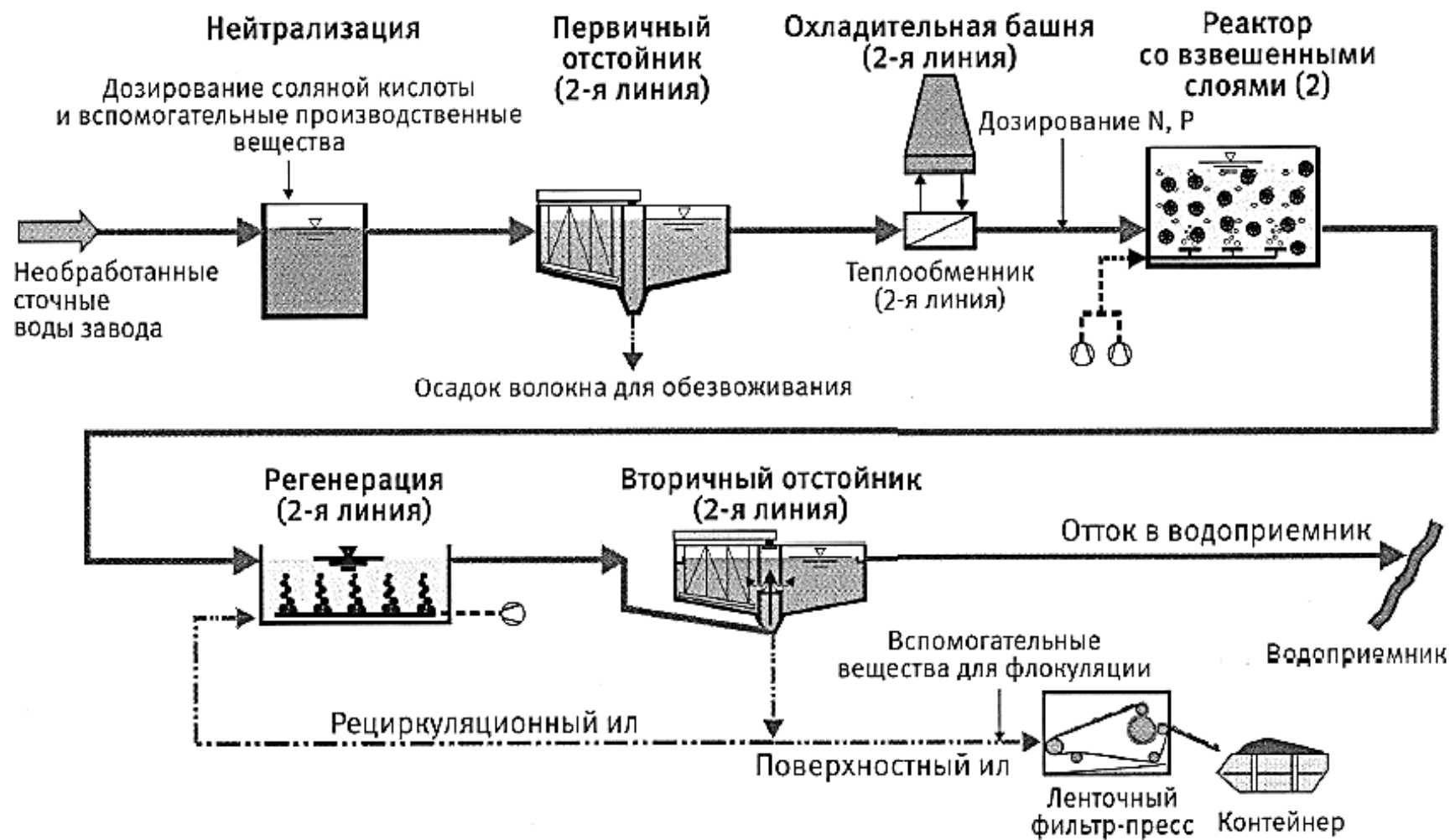


Рис. 6.32. Схема для примера двухступенчатой аэробно/аэробной установки для очистки сточных вод

Новые установленные реакторы высокой нагрузки со взвешенными слоями, которые подключены к уже имеющимся очистным бассейнам, рис. 6.32, имеют объем 1137 м^3 и рассчитаны на гидравлическую нагрузку $7,5 \text{ кг ХПК}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$.

Ре-акторы наполнены на 30% плавающей загрузкой для роста биомассы, удельная поверхность которой составляет $380/\text{м}^3$. В реакторах установлены маммут-насосы для контроля обрастания плавающей загрузки биопленкой и система разбрызгивания для подавления пены.

Аэрация и смешивание обеспечиваются перфорированными трубами. Последующие аэротенки объемом по 2000 м^3 оборудованы системой среднепузырчатой аэрации сжатым воздухом. При среднем содержании сухих веществ 5-7 г/л нагрузка на ил по БПК₅ в аэротенках составляет около 0,3 кг БПК (кг СВ·сут). В обоих вторичных отстойниках есть камеры отбора ила. Избыток ила обезвоживается в ленточном фильтр-прессе.

Со времени ввода в эксплуатацию дополнительных установок доказаны долгосрочная стабильность производства и высокое качество выбранной технологии. 40-50% массы ХПК из притока расщепляются в новых реакторах со взвешенными слоями. Благодаря этому показатель илового индекса на втором этапе регенерации уменьшился до максимального постоянного уровня 100 мл/г (до ввода реактора в эксплуатацию уровень ила составлял до 700 мл/г).

Вынос взвешенных веществ после вторичной очистки после модернизации установки больше не регистрировался. При средней поступающей массе ХПК 14,2 т/сут (и средней концентрации притока ХПК 1055 мг/л) уровень ХПК в ходе вторичной очистки составлял в среднем 166 мг/л. КПД для расщепления ХПК составляет всего около 85%. В стоках должна удерживаться концентрация ХПК 310 мг/л. Заявленное значение 240 мг/л определено и строго соблюдается при названных выше поступающих нагрузках.

В рамках эксплуатации этой установки следует уделять особое внимание эффективному контролю обрастания плавающей загрузки на уровне большой нагрузки, постоянно отслеживаемому и оптимальному дозированию питательных веществ, а также использовать подходящий режим эксплуатации установки при максимальной нагрузке и застоях в производстве.

Пример двухступенчатой анаэробно/аэробной очистки сточных вод представлен на рис. 6.33.

В следующем примере представлена установка для очистки сточных вод бумажного завода по производству бумаги-основы для гофрированного картона и целлюлозно-макулатурной бумаги с годовой производительностью 400 000 т.

В табл. 6.45 приведены показатели для расчета этой установки.

Таблица 6.45

**Показатели для расчета анаэробно/аэробной установки
для очистки сточных вод**

Параметр	Единица измерения	Показатель
Подача	м ³ /сут	7416
ХПК	мг/л	5394
ХПК	кг/сут	40000
Твердые вещества	мг/л	200
Температура	°С	35

Сточные воды отводятся в установку для очистки сточных вод после процедуры внутрипроизводственного удаления твердых веществ, как правило, уже без содержания твердых веществ. После охлаждения в воздушном радиаторе приблизительно до 32 °С сточные воды отправляются в комбинированные гидролизную и буферную емкость (на 2 ч в каждую).

После гидролиза наполняются три анаэробных реактора. Общий объем анаэробных реакторов составляет 1650 м³ при диаметре 5 м и высоте 28 м. Реакторы рассчитаны на гидравлическую нагрузку 24,2 кг/(м³·сут) для 75%-го расщепления ХПК. Дополнительная конструктивно идентичная емкость служит накопителем гранул ила из реакторов, но при необходимости может быть преобразована в четвертый анаэробный реактор.

Биогаз очищается от сернистых соединений в десульфидирующей биологической установке и используется в двух блочных ТЭЦ, что способствует значительному повышению общей эффективности очистки сточных вод.

Для увеличения гибкости в эксплуатации установки анаэробная стадия может быть частично опущена, а очищенные сточные воды после вторичной очистки переведены в анаэробные реакторы. За анаэроб-

ной предварительной очисткой следует аэробная очистка в двух аэротенках с общим объемом 5000 м³ и двух вторичных отстойниках с камерами вывода ила. Аэротенки оборудованы инжекторными воздушными клапанами. Часть осветленного стока из вторичных отстойников может быть возвращена в производство бумаги.

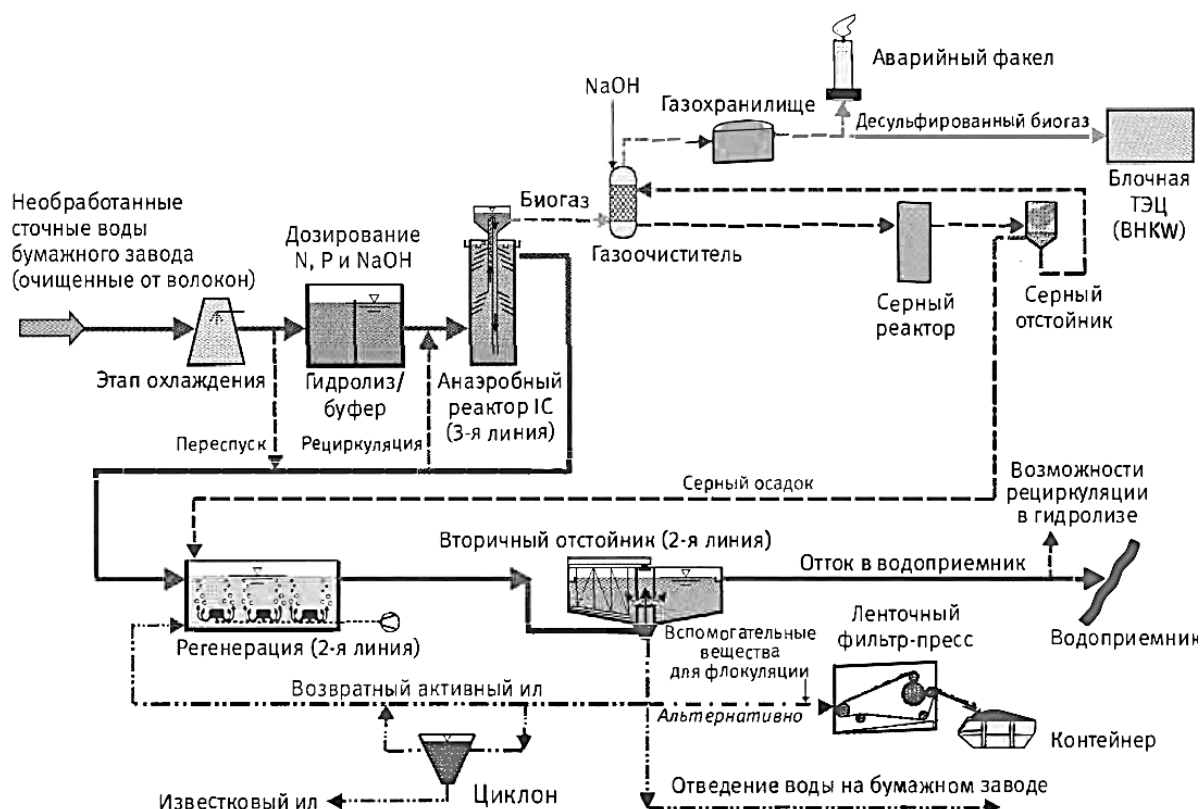


Рис. 6.33. Схема для примера двухступенчатой анаэробно/аэробной установки для очистки сточных вод

Установка применяется с марта 2005 г. Около 80% поступающей массы ХПК расщепляется на анаэробной стадии. В ходе вторичной очистки достигается, как правило, концентрация ХПК < 180 мг/л. Таким образом, КПД ХПК всей установки составляет около 97%. Эксплуатационные параметры анаэробной стадии должны быть настроены таким образом, что известковые осаднения в максимальной мере предотвращаются, и возникает равномерный гранулированный слой в реакторе с высоким содержанием органического сухого вещества.

После ввода в эксплуатацию установки для очистки сточных вод сначала наблюдались сильно выраженные известковые отложения, которые негативно сказывались на биологическом расщеплении и проте-

кании реакторов. Благодаря оптимизации циркуляции воды в бумажном производстве эта проблема в эксплуатации была решена. Особенностью этой установки для очистки сточных вод является функционирование циклонной установки для отделения извести из рециркулирующего ила. С помощью этого устройства из системы выводится сильноизвестковый ил, вследствие чего доля неорганических веществ в активном иле сводится до минимального значения.

В результате установка, состоящая из анаэробной предварительной стадии и аэробной второй стадии, представляет собой, благодаря возможности энергетического использования биогаза, экономически целесообразную и эффективную технологию очистки сточных вод. Это касается, прежде всего, сточных вод с высокой концентрацией, как это было продемонстрировано на примере завода, перерабатывающего макулатуру.

1.32. Химическая промышленность

К химической промышленности относятся все предприятия, на которых производятся вещества, полученные химическими, биохимическими или физическими способами, включая предварительную, промежуточную и последующую обработку.

Множество технологий, применяемых в химической промышленности, не нужно описывать в рамках настоящей работы. Неорганические материалы и продукты, а также органические материалы, промежуточные продукты и продукты часто изготавливаются в рамках дорогостоящих составных систем.

Важные стадии технологического процесса:

- получение активных веществ и материалов из натуральных источников;
- ферментативные производственные процессы;
- химические процессы синтеза.

В промышленных масштабах изготавливаются, к примеру, следующие неорганические материалы.

Хлор

В промышленности посредством электролиза раствора соли изготавливаются хлориды щелочных металлов: хлор (Cl_2) и щелочь, гидроксид натрия (NaOH) или гидроксид калия (KOH). Важнейшими технологиями, которые применяются для производства хлоридов щелочных металлов в электролизере, являются ртутный и амальгамный методы, диафрагменный и мембранный методы, при этом в качестве исходного материала часто используются хлорид натрия (NaCl) или в меньшей степени хлорид калия (KCl) для производства гидроксида калия. Производство хлора с 40-х гг. значительно увеличилось вследствие повышенного спроса на искусственные материалы, особенно на поливинилхлорид (ПВХ) и полиуретан. Мембранный метод разрабатывался в 1970 г. и считается наилучшей существующей технологией, так как обходится без использования ртути или асбеста.

Серная кислота

Серная кислота (H_2SO_4) производится сегодня обыкновенно методом двойного контактирования с окислением диоксида серы до триоксида серы и реакцией триоксида серы с водой. Далее кислота применяется для изготовления удобрений, красящих веществ, а также используется в качестве электролита в батареях.

Фосфорная кислота

Исходными веществами для производства фосфорной кислоты (H_3PO_4) являются природный фосфат (апатит) и серная кислота. Фосфорная кислота находит применение, например, в производстве удобрений, в продовольственной промышленности и в автомобильной промышленности в качестве средства защиты от коррозии.

Аммиак

Аммиак (NH_3) производится методом Габера-Боша из воздуха, воды, природного газа. Он применяется в удобрениях и для получения азотной кислоты.

Азотная кислота

Из аммиака и воздуха методом Оствальда получают азотную кислоту (HNO_3). Она применяется для производства удобрений, красящих веществ, взрывчатых веществ.

Понятие «органические материалы» охватывает множество химических веществ и процессов. Упрощенно можно сказать, что используются продукты нефтеперегонки (см. п. 6.20 «Нефтеперерабатывающие заводы») и преобразуются с помощью комплексного комбинирования физических и химических методов в самые разнообразные «основные химические продукты» или «химические продукты массового производства».

Обычно этот процесс происходит в непрерывной производственной системе. Органические материалы используются в основном в больших объемах в качестве сырого сырья для дальнейшего синтеза высококачественных химических средств (например, растворителей, искусственных веществ, медикаментов).

В непрерывном процессе производства изготавливаются органические основные, промежуточные и конечные продукты, такие как винилхлорид, поливинилхлорид, этилен, полиэтилен, формальдегид, этилбензол, стирол. Наряду с этим существует множество непрерывных процессов производства, в которых изготавливаются прежде всего органические промежуточные и конечные продукты, такие как, например, многие красящие вещества, органические пигменты, пенополистирол. При периодическом производстве вырабатывают, в частности, продукты с многочисленными промежуточными стадиями, причем единичные методы синтеза групповой обработки могут сильно различаться в соотношении их величин.

В качестве примера процесса производства органических основных химических веществ здесь представлено изготовление акрилонитрила в основном из пропилена (также пропена, C_3H_6) и аммиака.

Акрилонитрил – мономер, повсеместно применяемый в качестве исходного продукта для многих назначений. Большая часть акрилонитрила используется для изготовления полиакриловых волокон.

Наилучшей существующей технологией для потоков сточных вод считается предварительная обработка путем дистилляции с целью сократить содержание легких углеводородов и концентрацию или осаждение тяжелых углеводородов для того, чтобы уменьшить загрязнение органическими соединениями до очистки сточных вод.

Производство медикаментов также охватывает множество методов производства, применения и активных веществ. В табл. 6.47 приведены 10 самых сильных групп показаний по назначению.

Производство антибиотиков похоже на получение дрожжей. Одна очень чистая затравка увеличивается за много стадий и затем бродит в биореакторах с вентиляцией и с добавлением питательного раствора от 30 до 160 ч.

Другим вариантом является производство чисто искусственных антибиотиков с помощью органического синтеза в несколько отдельных этапов. Так как на каждом отдельном этапе выход промежуточного продукта меньше 100%, то они в небольших количествах и пропорциях со вспомогательными веществами, прежде всего теми, которые хорошо растворимы в воде, такие как метанол, этанол, нитриты и нитраты, попадают в сточные воды.

Таблица 6.47

Самые сильные группы показаний с примерами для соответствующих активных веществ

Класс согласно обязательному медицинскому страхованию	Группа показаний	Пример активных веществ
1	Болеутоляющие/противоревматические средства	Диклофенак, парацетамол, ибупрофен, ацетилсалициловая кислота
2	Противокашлевые/отхаркивающие средства	Ацетилцистеин, амброксол, пентоксиверин, кодеин, дигидрокодеин
3	Бета-блокаторы, антагонисты Са и ингибиторы АПФ (ангиотензинпревращающего фермента)	Метопролол, атенолол, пропранолол, нифедипин, симвастатин
4	Антибиотики/противомикробные средства	Феноксиметилпенициллин, амоксициллин, сульфаметоксазол, эритромицин, ципрофлоксацин
5	Желудочно-кишечные средства	Магальдрат, бутинолоин, ранитидин, омепразол, метоклопрамид, панкреатин
6	Психотропные средства	Оксазепам, диазепам, амитриптилин
7	Дерматологические средства	Преднизолон, мометазон, гидрокортизон, клобетазол, бета-метазон

8	Офтальмологические средства	Окситетрациклин, тетраколин, дексаметазон, тимолол, повидон
9	Бронхорасширительные средства/противоастматические средства	Сальбутамол, кленбутерол, фенотерол, теофиллин, беклометазон
10	Отоларингологические средства/средства для лечения синуситов	Ксилометазолин, декспантенол, карбиноксамин, кромоглициевая кислота

Основные компоненты сточных вод, требования

Легко представить, что большое количество совершенно разных продуктов и вместе с этим различные методы производства, огромное количество сырья, промежуточные и готовые продукты, а также тот факт, что частично и периодически производится множество продуктов одновременно, приводят к разнообразному качеству сточных вод относительно массы и нагрузки неорганических и органических веществ. Общепринятые определения относительно сточных вод химической промышленности являются менее подходящими, чем в большинстве других отраслей промышленности.

Колебания в норме отведения сточных вод отдельного предприятия часто зависят от типа производственного процесса. В то время как в непрерывном процессе производства существует равномерный отвод сточных вод, и только при запуске и выключении установки возникают большие колебания, прерывистые синтезы за счет длительных перемен в массе и составе сточных вод условно характеризуются также процессами очистки и промывки. Удельный отвод сточных вод (относительно продукта) увеличивается преимущественно с возрастанием степени обработки (чистые химические вещества).

Вода необходима на химических предприятиях в следующих целях:

- в качестве растворителя;
- в качестве сырья;
- для переноса тепла;
- очистки продукта;
- промывки реакторов.

Эти воды более или менее загрязняются после использования химическими исходными, промежуточными, побочными или главными продуктами в растворенной и нерастворенной форме. Анализы со сведениями о полученных активных веществах и процессах производства необходимы для оценки сточных вод.

Требования к сточным водам химической промышленности также сформулированы в табл. 6.48. Приведены требования АОГ до смешивания с другими сточными водами. Величина нагрузки определяется емкостью органических целевых продуктов.

Таблица 6.48

Требования по АОГ до смешивания

Производственный процесс	Параметр АОГ
Получение эпихлоргидрина, пропиленоксида, бутиленоксида	3 мг/л
Двухстадийное получение ацетальдегида	80 г/т
Одностадийное получение ацетальдегида	30 г/т
Получение АОГ-релевантных органических красящих веществ	8 мг/л
Получение АОГ-релевантных фармацевтических активных веществ	8 мг/л
Получение хлоруглеводородов путем хлорирования метана и этерификацией метанола, а также получение тетрахлорметана и тетрахлорэтена перхлорированием	10 г/т
Получение 1,2-дихлорэтана (этилендихлорида)	2 г/т
Получение ПВХ	5 г/т
При необособленно управляемых потоках сточных вод	1 мг/л или 20 г/т

Внутрипроизводственные мероприятия

Цель внутрипроизводственных мероприятий - снизить выход сточных вод по количеству и нагрузке органического и неорганического вещества, вторичное использование переработанных веществ и, наконец, удаление и специальная обработка, при необходимости обеззараживание отдельных частичных потоков. Переход продукции на экологически чистые методы также является внутрипроизводственной мерой по уменьшению выбросов.

В химической промышленности каждый кубометр воды используется в среднем три раза. При этом основная часть приходится на воду для охлаждения, которая может отдавать свое тепло обратно охлаждаемой установке и снова охлаждаться, когда используется в качестве технологической воды.

Разработка процессов с незначительным объемом сточных вод и реализация мер, предпринимаемых на месте, являются важным мероприятием по оптимизации внутрипроизводственной экономики по использованию воды. Разработка процессов с незначительным объемом сточных вод требует многих лет интенсивной исследовательской работы, так как наряду с задачами экономичности нужно принимать во внимание разнообразие проблем (например, новые катализаторы, проблемы коррозии, сохранение свойств продукции, побочные продукты).

Модификация в производственном методе для неорганических веществ в сточных водах, например солевая нагрузка, зачастую представляет единственную возможность уменьшить объемы сточных вод, поскольку в большинстве имеющихся центральных сооружений биологической водоочистки нагрузку хлоридов, сульфатов, карбонатов и т. д. невозможно сократить. Только нитрат можно экономично устранить в сооружениях биологической водоочистки. Применение производственных методов часто является также единственной возможностью уменьшить выход биологически трудно расщепляемых или нерасщепляемых и токсичных веществ (например, в промышленности растворов хлоридов щелочных металлов - переход на мембранную технологию).

Обработка сточных вод

В последние десятилетия в химической промышленности добились признания химико-механические и биологические водоочистные сооружения для обработки смешанных сточных вод, так как они отличаются от других методов высокой готовностью, недорогой технологией, широким спектром действия и хорошей эффективностью очистки по причине значительной адаптационной способности микроорганизмов, живущих в активном иле. Вследствие отличий и колебаний по количеству и составу специфической заводской смеси сточных вод были разработаны и построены установки на основе разных концепций. Все они имеют одну общую стадию биологического разложения с последующим разделением и удалением выделенного шлама. Часто биологической очистке предшествуют стадии нейтрализации и удаления твердых веществ. Так как нейтрализация зачастую протекает с рядом различных осаджений, таких как адсорбционное осаждение и осаждение за счет образования кристаллического твердого раствора, центральная

очистная установка определяется также как химико-механическое и биологическое водоочистное сооружение.



Рис. 6.34. Башенная биологическая установка

Далее перечислены этапы очистных сооружений химической промышленности в зависимости от постановки задачи.

Песколовка для защиты последующих устройств (особенно насосов) устанавливается только тогда, когда принимается в расчет крупнозернистый тяжелый материал.

Для компенсации больших колебаний в количествах сточных вод и (или) нагрузок в случае необходимости встраиваются буферные бассейны или баки.

При смешанном выходе сточные воды взаимно нейтрализуются уже в каналах или также в буферных бассейнах или танках. остаточная нейтрализация производится различными нейтрализаторами в зависимости от выхода кислотных и щелочных сточных вод.

Первичные отстойники проектируют как для высокой нагрузки, так и для низкой. в первом случае часть твердых веществ должна регенерироваться для того, чтобы улучшить свойства осадения активного ила. в случае первичных отстойников с низкой нагрузкой целью процесса является дальнейшее отделение твердых веществ для того, чтобы по возможности освободить от твердых веществ последующие стадии регенерации.

Вместо седиментации используется в единичных случаях флотация, когда в сточных водах находятся легкофлотируемые вещества.

Для устранения растворимых органических веществ применяются аэробные биологические методы в разнообразных вариантах: орошаемый биофильтр, аэротенки или емкости с активным илом в малом, среднем и высоком исполнении. с целью ввести эффективно и недорого кислород из воздуха в сточные воды/смесь активного ила был разработан и внедрен в производство целый ряд различных аэрационных систем. в некоторых случаях используется полностью или частично технический кислород вместо кислорода воздуха.

Частично в центральных водоочистных сооружениях включается анаэробная биологическая обработка органических высококонцентрированных потоков сточных вод.

Для вторичной очистки, удаления активного ила используются седиментационные отстойники, а в исключительных случаях - флотационные установки.

Шламы, в общем случае, концентрируются в сгустителях, обезвоживаются после разных вариативных методов, а затем сохраняются или сжигаются. В зависимости от различных возможностей утилизации шлама и качества шлама было реализовано множество вариантов.

Пример расчета 6.6 (сравнение насыщения чистым кислородом и воздухом)

Следует рассчитать необходимый объем чистого кислорода или кислорода воздуха в метрах кубических в сутки, которое нужно ввести в аэротенк глубиной 10 м. Для биологического окисления необходимо ежедневно 500 кг кислорода.

Параметры для введения кислорода:

- чистый кислород, введение O_2 : $120 \text{ г } O_2 / (m_{\text{глуб.продува}} \cdot M^3 \text{ газа})$;
- кислород воздуха, введение O_2 : $10 \text{ г } O_2 (m_{\text{глуб.продува}} \cdot M^3 \text{ газа})$.

Решение

Чистый кислород:

$$O_{2 \text{ вых}} = 120 \text{ г } O_2 (m_{\text{глуб.продува}} \cdot M^3 \text{ газа}) \cdot M^3 \text{ газа};$$

$$O_{2 \text{ газ}} = 500 \text{ кг } O_2 / \text{сут} \cdot 1000 \text{ г/кг} / 1200 \text{ г/м}^3 \text{ газа} = 417 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

Кислород воздуха:

$$O_{2 \text{ вых}} = 10 \text{ г } O_2 (m_{\text{глуб.продува}} \cdot M^3 \text{ газа}) \cdot 10 \text{ м} = 100 \text{ г } O_2 / M^3 \text{ газа};$$

$$O_{2 \text{ газ}} = 500 \text{ кг } O_2 / \text{сут} \cdot 1000 \text{ г} / \text{кг} / 100 \text{ г/м}^3 \text{ газа} = 5000 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

Для обработки веществ, которые являются биологически стойкими или токсичными, большие заводы располагают установками для парового и мокрого сжигания, если недостаточно более простых мер (например, осаждения).

Компонентами установки для сжигания сточных вод, к примеру, являются:

- промежуточный слой для сточных вод;
- топка;
- паровой котел для использования тепла;
- очистка дымовых газов.

Физико-химические методы предварительной обработки или методы частичного потока используются для защиты биологической стадии от токсичных ударов и для дополнения спектра влияния центральных водоочистных сооружений. При этом нужно также принять во внимание устранение пепла, шлака, летучей пыли, дымового газа, побочных продуктов, промывочной воды и др. Методы:

- экстракция;
- отгонка;
- адсорбция;
- дистилляция;
- ионный обмен;
- осаждение и флокуляция;
- мембранный метод (ультрафильтрация, обратный осмос);
- мокрое окисление;
- выпаривание;
- сжигание сточных вод.

1.33. Обработка сточных вод в металлургической промышленности

К металлообрабатывающей промышленности относятся почти все отрасли, производящие средства производства, а также часть товаров широкого потребления, например конструкции из легких сплавов и стали; машиностроение, автомобилестроение, судостроение, самолетостроение; электротехническая промышленность; производство точ-

ной механики и оптики; часовая промышленность; производство металлоизделий из железа и жести, конторских машин, устройств и оборудования для обработки данных, музыкальных инструментов, игрушек, ювелирных изделий, спортивных снарядов и т. д.

1. Гальванотехника (нанесение тонкой металлической пленки с помощью электрического тока на металл).

2. Травильный цех (удаление оксидов и других металлических соединений с поверхности активного вещества, как правило, химическим воздействием кислот).

3. Цех анодирования («элоксация» или «анодирование» означает химико-электрические процессы окисления с использованием алюминиевой поверхности для долговечности и прочности (защита от коррозии)).

4. Чернение (черное или коричневое окрашивание стали в горячем, высоко щелочном нитритном растворе).

5. Горячее цинкование, оцинковывание (технология, при которой сталь получает защиту от коррозии, к примеру, за счет металлического цинка, когда сталь после соответствующей обработки погружают в жидкий цинковый расплав. При этом сталь и цинк реагируют друг с другом и образуют сплав на поверхности стали).

6. Закалка (процесс, при котором за счет внедрения углерода или углерода/азота в матрицу железа происходит охрупчивание и закалка материала).

7. Изготовление печатных плат (создание печати для фотографий и фотошаблонов для проводящего рисунка печатной платы, настройка и укрепление печатных проводников с помощью химического и электролитического покрытия медью, гальваническое нанесение олова или свинцово-оловянных сплавов, а также травление излишнего медного покрытия).

8. Изготовление батареек (например, производство свинцовых аккумуляторов, никель-кадмиевых аккумуляторов).

9. Производство эмалей (процесс покрытия металла неорганической массой, чаще всего расплав этой массы на металле осуществляется за счет окислительной смеси).

10. Механические цеха (изменение поверхности за счет бурения, фрезерования, точения, шлифования и таких обработок под давлением, как прессование, вытягивание, бучение, литье).

11. Шлифовальный цех (например, зачистка, окантовка, шлифовка).

12. Лаковые производства (нанесение органических (смольных) пленок на материалы путем погружения, опрыскивания, электростатического порошкового покрытия, электрофоретического лакирования).

С этими процессами связаны такие стадии предварительной и конечной обработки, как обезжиривание, протравливание, обжиг, травление или легкое травление.

Можно выделить три основных метода обработки металлической поверхности:

- удаление покрытия (как протравливание и обжиг);
- нанесение покрытия (как гальваническое и химическое осаждение металлов и их сплавов);
- преобразование покрытия (как анодирование, хромирование и фосфатирование).

Во всех методах в ходе процесса детали обрабатываются различными технологическими растворами.

Обзор технологических операций при обработке поверхностей в водных средах приведен на рис. 6.35.

Между отдельными этапами обработки товар оmyвается. Для этого с обработанных деталей удаляют налипший раствор электролита из соответствующего бака (электролизера), а поверхность должна очиститься до погружения в следующий электролизер.

Задержание активного вещества в электролизере, таким образом, является принципиально правильной мерой по сокращению отходов и сточных вод.

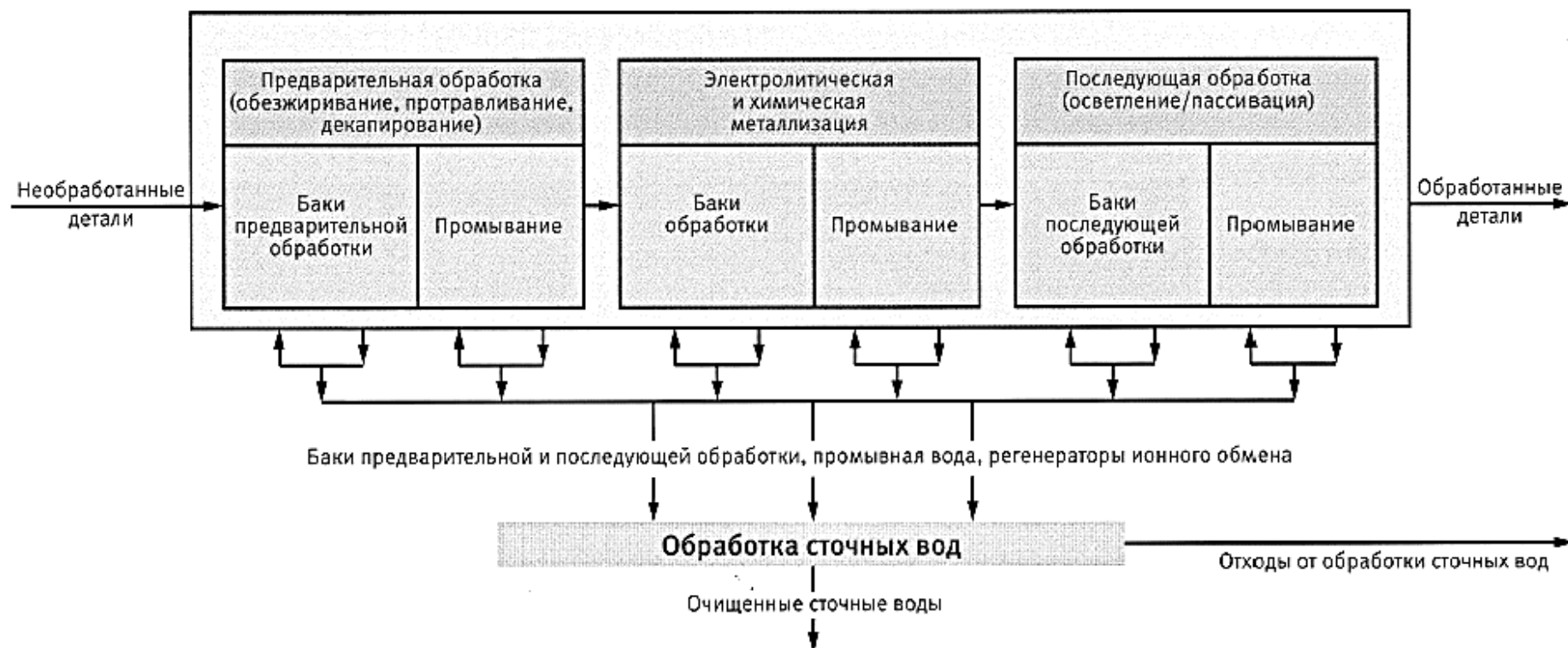


Рис. 6.35. Технологические операции при обработке поверхностей в водных средах

Основные компоненты сточных вод, требования, обработка сточных вод

Целью очистки сточных вод является удаление веществ, содержащихся в сточных водах, до установленных нормативов. Это можно сделать двумя способами:

- вещества, содержащиеся в сточных водах, преобразуются в другие, неопасные вещества, содержание которых в сточных водах не ограничено;
- вещества, содержащиеся в сточных водах, переходят в нерастворимые соединения и извлекаются в качестве шлама (отходов) из сточных вод.

Таблица 6.49.

Типичные вещества, содержащиеся в сточных водах, и их предельные значения до смешивания

Параметр	Процесс производства	Предельное значение, мг/л
Цианид (CN^-)	Электролитическое обезжиривание, металлизация цианидами (Zn, Cu, Ag, Au)	0,2
Хромат (CrO_4^{2-})	Хромирование, пассивация	0,1 (как Cr)
Сульфид (S_2^-)	Сульфидные примеси в электролизерах, сульфидное осаждение	1
Свободный хлор (Cl_2)	Хлорное окисление (обработка сточных вод)	0,5
Барий (Ba)	Закалка	2
Свинец (Pb)	Изготовление батареек, печатных плат, эмалирование, лакирование	0,5
Медь (Cu)	Меднение, удаление меди	0,5
Никель (Ni)	Никелирование, удаление никеля	0,5
Серебро (Ag)	Серебрение, фотографические процессы, изготовление батареек	0,1
Олово (Sn)	Лужение, удаление олова	2
Цинк (Zn)	Цинкование, удаление цинка, использование цинка в качестве составной части (например, при лакировании)	2

Сточные воды промышленных технологических процессов содержат значительное количество разнообразных веществ, которые могут находиться в них. Общее правило заключается в том, что вещества, которые используются в электролизерах, а также регистрируются или

образуются там, снова попадают в сточные воды. В табл. 6.49 и 6.50 приводится обзор типичных ожидаемых неорганических веществ, содержащихся в сточных водах, и их контрольные значения.

Обработка сточных вод неорганическими веществами в основном состоит из аналогичной последовательности этапов обработки, рис 6.36.

В зависимости от веществ требуется разное количество этапов процесса для обработки наблюдаемых потоков сточных вод. Цианидные сточные воды обычно обрабатываются отдельно от содержащих нитриты или хроматы сточных вод. При наличии цианид-, нитрит- и хромат содержащего элюата в анионообменнике данные процессы окисления и восстановления должны протекать последовательно.

Таблица 6.50.

**Типичные вещества, содержащиеся в сточных водах,
и их предельные значения для мест сброса**

Параметр	Процесс производства	Предельное значение, мг/ л
Нитрит (NO_2^-)	Чернение, протравливание азотной кислотой, анаэробное образование из нитратов (бактериальное)	5 (как NO_2^- -N)
Аммоний (NH_4^+)	Металлизация солями аммония, образование аммония при окислении цианидами	100 (как NH_4 -N)
Фторид (F^-)	Протравливание высококачественной стали, добавление электролита	50
Алюминий (Al)	Анодирование, травление алюминием	3
Железо (Fe)	Травление стали, кислотные растворы	3
ХПК	Все органические добавки в электролизерах, жирах, маслах, тензидах	100-400
Фосфор (P)	Фосфатирование, баки с фосфорной кислотой	2

Эта основополагающая последовательность процессов, т. е. следующие друг за другом шаги протекания процесса, вытекает из химических условий: удаление масел или других углеводородов всегда представляет собой необходимую предварительную стадию очистки сточных вод, так как свободные масла приводят к проблемам обработки и удаления отходов.



Рис. 6.36. Стадии процесса обработки для неорганически загрязненных сточных вод

Восстановленные хроматные соединения находятся в качестве солей хрома (III), которые обратно окисляются за счет окислителя снова до хроматов (соединения хрома (VI)). Поэтому при невозможном отделении хроматов от цианидов и нитритов (например, щелочной элюат) восстановление хроматов всегда является последней стадией окислительно-восстановительных реакций.

В технологии различаются между собой циклическая установка и установка непрерывного действия. При ограниченных количествах сточных вод благодаря прогрессивной промывной технологии, как правило, в обработке применяется циклическая установка. Составные части циклической установки:

- буферная емкость;
- бак обработки;
- обезвоживание осадка.

При больших потоках сточных вод (до 4-5 м³ /ч) циклическая установка не имеет смысла и используется установка непрерывного

действия. При этом особенно важен отвод сточных вод, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на процесс обработки.

На последней стадии обработки сточные воды фильтруются для того, чтобы удалить нерастворимые вещества в мелкодиспергированной форме.

Описание общих областей металлопромышленности выходит за рамки главы. Поэтому следующие выводы ограничиваются гальванизацией и стадиями процесса, которые используются также в других отраслях.

1.34. Гальванотехника

Гальванотехника – это производство или часть производства, в котором объекты электрохимически покрываются металлом. Присутствуют следующие процессы: хромирование, никелирование, серебрение, золочение, меднение, лужение, цинкование.

Самыми важными технологическими операциями в гальванотехнике являются обработка товара, например обезжиривание и протравление, и электрохимическое покрытие металлом. Между отдельными технологическими операциями требуются промывные процессы для удаления скопившихся химикатов. Для этого часто используется полностью обессоленная или умягченная вода.

Сточные воды в этой области нагружены по большей части неорганическими и отчасти опасными веществами. Однако также органические вещества имеют значение с точки зрения экономичности использования воды, когда речь идет о комплексообразователях или хлорированных углеводородах. Гальванические цеха в большинстве своем не сбрасывают сточные воды в водоемы, а отводят их через канализацию.

Обезжиривание

На подготовительных этапах обработки производят обезжиривание (обезжиривание жира и масла) и протравление (обезжиривание оксидных пленок и загрязнений от механической обработки детали) для получения чистой поверхности – важное условие для осаждения твердой металлической пленки при гальванизации. Благодаря этому электролизер не загрязняется.

Использование хлоруглеводородов (ХУВ) при обезжиривании регламентировано Федеративным постановлением о защите окружающей среды, а применение 1,1,1-трихлорэтана запрещено из-за вредных показателей озона, который он выделяет. ХУВ используются в исключительном случае, они больше не имеют значения с водохозяйственной точки зрения.

В области гальванотехники в большинстве случаев используются водные очищающие системы. Водные системы (кислые, нейтральные, щелочные) лучше всего работают обычно при высоких температурах (50-90 °С). Главными компонентами водных систем очистки являются щелочи, силикаты, фосфаты и ПАВ.

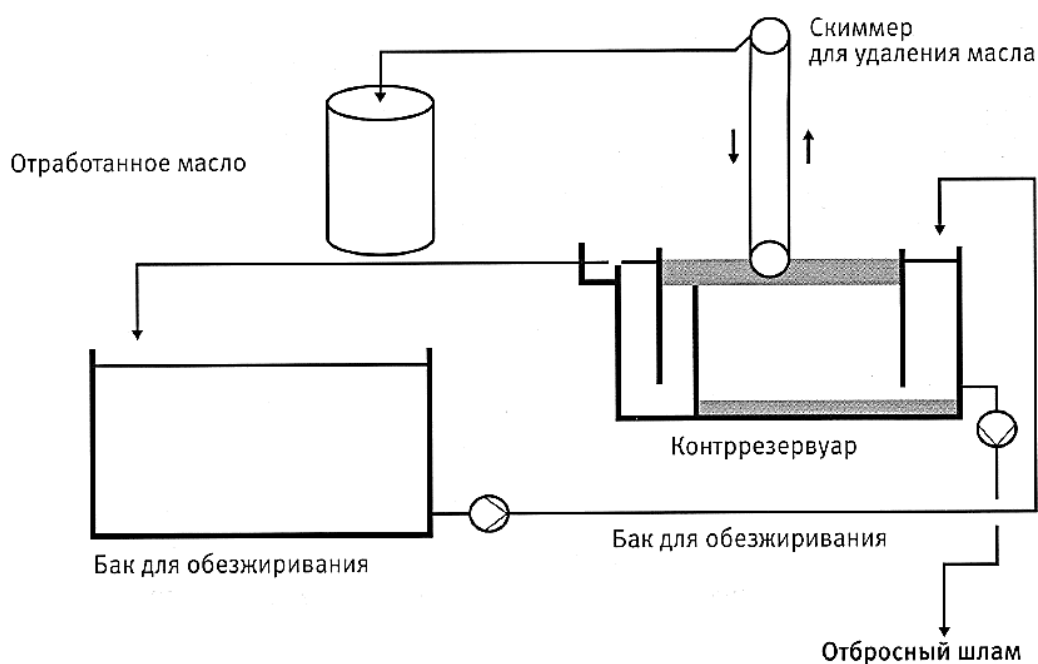


Рис. 6.37. Бак для обезжиривания с маслоуловителем

Поверхностно-активные вещества, используемые в деэмульгированном работающем обезжиривании, образуют с жирами и маслами неустойчивую эмульсию. Вместе с этим удаление эмульгированных масел и жиров с поверхности изделия в последующих промывных резервуарах предотвращается. Баки обезжиривания, рис. 6.37, соединяются прежде всего со сборником для удаления всплывающих масел и осаждающихся загрязняющих веществ. Деэмульгированные очищающие растворы самостоятельно разделяются, так что для удаления масел можно использовать простую механическую систему (скиммер). За

счет непрерывной очистки загрязняющих веществ в сборнике и рециркуляции очищенного обезжиривающего раствора в баке увеличивается срок его службы.

Протравливание

Удаление оксидов и других пленок, представляющих собой помеху, и налипаний с поверхности материала путем химической реакции с протравой называется протравливанием.

Протравливание неблагородных металлов производится, по сути, в соляной кислоте, серной кислоте и фосфорной кислоте, при высоком содержании кремния также с добавлением плавиковой кислоты. Для благородных металлов, которые легко образуют пассивную пленку, применяют азотную кислоту в качестве окисляющей кислоты, азотную кислоту в смеси с другими минеральными кислотами или обычными кислотами или смесь кислот с добавлением окислителя. Протравливание алюминия протекает лучше с щелочными растворами (едкого натра) за счет его амфотерного поведения (ведет себя частично как кислота, частично как щелочь), удаление окалина с высококачественной стали также частью протекает в щелочном расплаве.

Типичная реакция протравливания описывается следующим уравнением:



Растворенные ионы металла накапливаются в травильном растворе при одновременном снижении содержания свободной протравы. Если концентрация образованных солей металла в растворе слишком высокая, то травильный раствор непригоден и, как правило, заменяется другим.

К технологии протравливания относится, например, травильный раствор, в который изделие полностью погружается в травильном бассейне, рис. 6.38.

Протравливание, в особенности деталей из железа, является важным процессом для предварительной обработки при таких методах, как цинкование в расплаве, эмалирование, лакирование, анодирование и гальванизация.

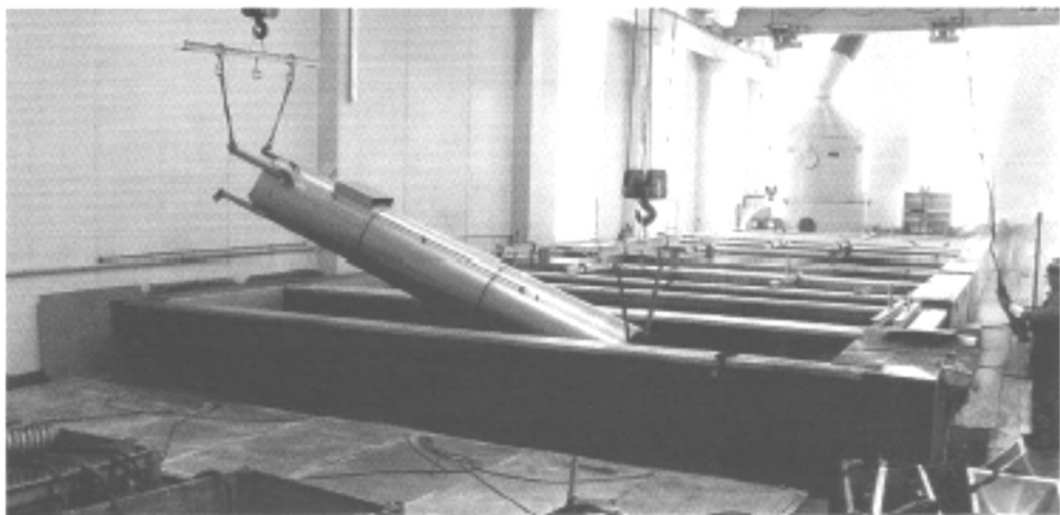


Рис. 6.38. Травильные бассейны

Электрохимическое осаждение металла

Осаждение металла является определяющим этапом каждого гальванического производства. В основном различают химические и электрохимические методы.

Химические методы работают без внешнего электрического поля. Восстановление ионов металлов до металла протекает благодаря химическому восстановителю. Ионы металлов и восстановитель должны постоянно пополняться дозами соли, что приводит к ограниченному сроку службы химических металлизационных растворов.

Электрохимические методы основаны на том, что ионы металлов в одном из внешних электрических полей перемещаются к катоду и там восстанавливаются до металла. В гальванотехнике металл распределяется по покрытой детали в качестве катода, в то время как анод, как правило, состоит из осажденного металла. На практике растворы в ходе процесса теряют качество за счет введения и образования примесей.

В сточных водах находятся компоненты раствора для обработки и обработанных металлов, а также элементы их сплавов. В дальнейшем могут быть найдены химические и электрохимические продукты превращения, такие, например, как нитрит из нитрата, аммиак из нитрита, хромат из трехвалентного хрома, комплексные соединения металлов с аммиаком или органическими кислотами.

Кристаллизация с охлаждением, рис. 6.39, является одним из возможных методов, в котором примесные соли могут селективно отде-

ляться из раствора в ходе процесса. Соли образуются за счет растворения металлов или оксидов металлов (протравления) или за счет нежелательных реакций (окисления цианида до карбоната). Благодаря охлаждению раствора растворимость многих солей снижается. При охлаждении раствора с разными солями в определенный момент соли, находящиеся в предложенной смеси, кристаллизуются, их растворимость при новых условиях не обнаруживается, в то время как оставшаяся соль находится в растворе. Долгосрочность солей, достигнутая за счет кристаллизации с охлаждением, зависит от того,

- какие соли из какого раствора электролитов не должны кристаллизоваться,
- как высоко образование солей, обусловленное процессом и
- сколько времени в распоряжении для осуществления очистки.

Из-за разновидности каждого случая использования рекомендуется проводить отдельные испытания на применимость.

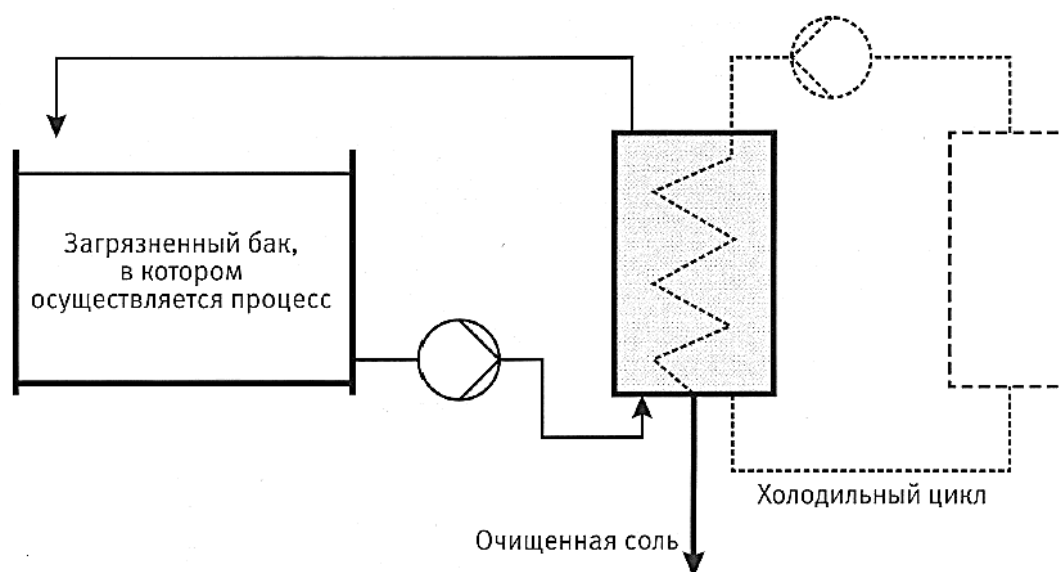


Рис. 6.39. Принцип действия кристаллизации с охлаждением

Объем и состав сточных вод, требования

Сточные воды гальванического производства образуются из частичных потоков на отдельных стадиях процесса. Важными компонентами являются ионы металлов, токсичные анионы, такие как цианид или хромат, и нейтральная соль.

Объем и состав при электрохимическом осаждении металла или при последующей обработке (например, при фосфатировании) поступающих сточных вод зависят, прежде всего, от порядка величины износа, количества и степени рециркуляции промывных вод, соответственно, от дальнейшего применения изношенного бака, в котором происходит процесс. Возникающие при гальванизации сточные воды содержат тяжелые металлы, технологические химические вещества, а также продукты их распада.

Следующими источниками сточных вод являются кислые и щелочные элюаты ионообменного фильтра при обработке технологической воды и рециркуляции промывной воды, а также невосстановленные технологические баки. Если этот концентрат или полуконцентрат залпово поступает в производственную канализационную сеть, то это может привести к помехам в системе предварительной обработки или при окончательной очистке сточных вод.

Могут образовываться: 1) сточные воды при производственной окончательной очистке, например, в обратном фильтре для промывных вод при фильтрации сточных вод; 2) элюаты при очистке выборочных ионообменных фильтров; 3) фильтрат при обезвоживании шлама и при переработке технологических баков или при вторичном использовании веществ.

Внутрипроизводственная обработка сточных вод

Процессы промывки являются неотъемлемой составной частью технологии гальваники. Они необходимы для того, чтобы по возможности полностью удалить технологический раствор с поверхности изделия путем разбавления с водой. Благодаря последовательному подключению нескольких этапов промывки возможно вторичное использование технологических химических веществ, так как концентрация отработанных химикатов сильно повышается на первом этапе промывки после технологического бака. Используются стационарные и текучие промывные баки. Если последней стадией является текучая промывная ванна, то вода может циркулировать в установке ионного обмена (полное умягчение воды).

Таблица 6.51

**Требования к составу сточных вод гальванических цехов в
месте сброса отработанной воды**

Алюминий, мг/л	NH ₄ N, мг/л	ХПК, мг/л	Железо, мг/л	Фторид, мг/л	Углеводо- роды, мг/л	Фосфор, мг/л	Токсичность в сравнении с икрой рыб
3	100	400	3	50	10	2	6

Таблица 6.52

**Требования для сточных вод гальванических цехов до
смешивания с другими сточными водами**

АОГ, мг/л	Свинец, мг/л	Кадмий, мг/л	Хром(VI), мг/л	Цианид, мг/л	Медь, никель, мг/л	Сульфид, мг/л	Олово, цинк, мг/л
1,0	0,5	0,2	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0

Для интегрированной защиты окружающей среды возможны следующие меры:

- отказ от цианидов (технологический бак), ЭДТА, а также от других биологически трудно расщепляемых или вообще неспособных к расщеплению органических комплексообразователей (обезжиривание, технологический бак) и соединений хрома (VI) (хромирование).
- дальнейшее сокращение потерь технологических химических средств путем износа, например обдувка или центрифугирование технологических химических средств с поверхности изделия.
- усиленное применение методов для продления срока службы или для повторного использования технологических баков как за счет повторного усиления (дополнение отработанных химикатов), так и путем очистки вместо технологической обработки сточных вод.
- усиленное использование химических и электрохимических устойчивых химикатов как одно из условий продления срока службы или вторичного использования технологических растворов.
- вторичное использование ценных веществ из отработанного технологического бака/промывных вод.
- экономное использование технологических химикатов.

- передача использованных технологических растворов на энергетические предприятия и поставщикам химических реактивов.
- рециркуляция промывочных вод.

Несмотря на множество имеющихся технологий по продлению срока службы технологических баков и по вторичному использованию ценных веществ, предпочтительно из частичных потоков сточных вод, гальванические сточные воды нагружены в зависимости от профиля производства множеством различных веществ. Так, необходимые процессы для осуществления внутрипроизводственных мер являются часто слишком дорогостоящими, особенно для малых производств с широким спектром продукции и связанным с ним многообразием веществ, содержащихся в сточных водах.

В Федеративной Республике Германии в настоящее время около 94% металлообрабатывающей и металлоперерабатывающей промышленности сбрасывает свои сточные воды в коммунальные очистные сооружения (непрямой способ). Сброс таких вод должен протекать только после внутренней предварительной обработки.

Удаление жиров и масел протекает в рамках обработки обезжиривающим раствором (см. «Обезжиривание»). Поступающие сточные воды из травильного цеха, когда обеззараживание не нужно, предварительно обрабатываются с помощью осаждения в результате нейтрализации и седиментации. Возникающий при этом шлам частично обезживается на фильтр-прессе.

Имеющиеся токсичные анионы в сточных водах разрушаются физической/химической обработкой, и всемерно удаляются тяжелые металлы. Предварительная обработка включает в себя, по сути, перенос растворенных ионов металлов на труднорастворимые соединения путем химического осаждения, а также разрушение токсичных анионов за счет окисления или восстановления.

Перед отводом сточных вод в производственную канализационную систему нужно обратить внимание на то, что за исключением незначительных концентраций цианид-, хромат-, нитритсодержащие и содержащие комплексообразователи сточные воды должны отводиться и обрабатываться отдельно. В дальнейшем показатель pH цианидсодержащих сточных вод должен быть в щелочном диапазоне для

того, чтобы предотвратить высвобождение высокотоксичной синильной кислоты (HCN). Сточные воды, содержащие кадмий, по причине их токсичности отводят и обрабатывают также отдельно.

Благодаря мерам по экономии воды потребность в воде и связанное с этим количество сточных вод в большинстве гальванических производств снизилось, так что в обработке или обеззараживании сточных вод преимущественно используются циклические установки, которые отличаются более высокой эксплуатационной надежностью по сравнению с установками непрерывного действия.

Обеззараживание или разрушение типичных веществ, содержащихся в сточных водах, производится при обработке поверхности металлов следующим образом.

Простые и сложные цианиды

Добавление окислителей (например, соединений хлора, таких как раствор гипохлорита натрия, а также пероксида водорода, озона), включая анодное окисление. В зависимости от условий реакции (показатель pH, избыток химических реагентов) образуются цианаты, карбонаты, гидрокарбонаты, аммоний и азот.

Соединения хрома (VI)

За счет добавления восстановителей, например гидросульфита натрия, диоксида серы (кислотная pH-среда), или за счет катодного восстановления (электролиза) хром (VI) переходит в менее токсичный хром (III), который путем осаждения при нейтрализации удаляется из сточных вод в качестве гидроксида хрома.

Нитрит

При добавлении окислителей (раствора гипохлорита натрия, пероксида водорода) происходит превращение в нитрат, при восстановительной обработке (например, сульфаминовой кислотой) возникает азот.

Комплексообразователи

Первым должно рассматриваться осаждение гидроксида кальция (комплексообразование). Если в фильтрованных сточных водах после осаждения извести обнаружены завышенные концентрации ионов металлов, значит, в качестве осаждающего вещества применялся либо сульфид (например, сульфид натрия), либо органосульфид. Кроме

того, комплексы могут разрушаться восстановлением (цементацией, каталитическим, химическим или электрохимическим восстановлением) или окислением (например, озоном, анодным окислением).

Предварительно обработанная вода подается, как правило, с дальнейшим процессом и промывными водами производственной заключительной очистки сточных вод. Такая очистка в самом простом случае состоит из системы осаждения при нейтрализации, включая удаление шлама за счет седиментации, флотации или фильтрации. Дальнейший процесс биологической обработки сточных вод протекает в комплексе с коммунальными очистными установками.

Представленная на рис 6.40 технологическая схема процесса показывает структуру очистки сточных вод в соответствии с уровнем развития технологий.

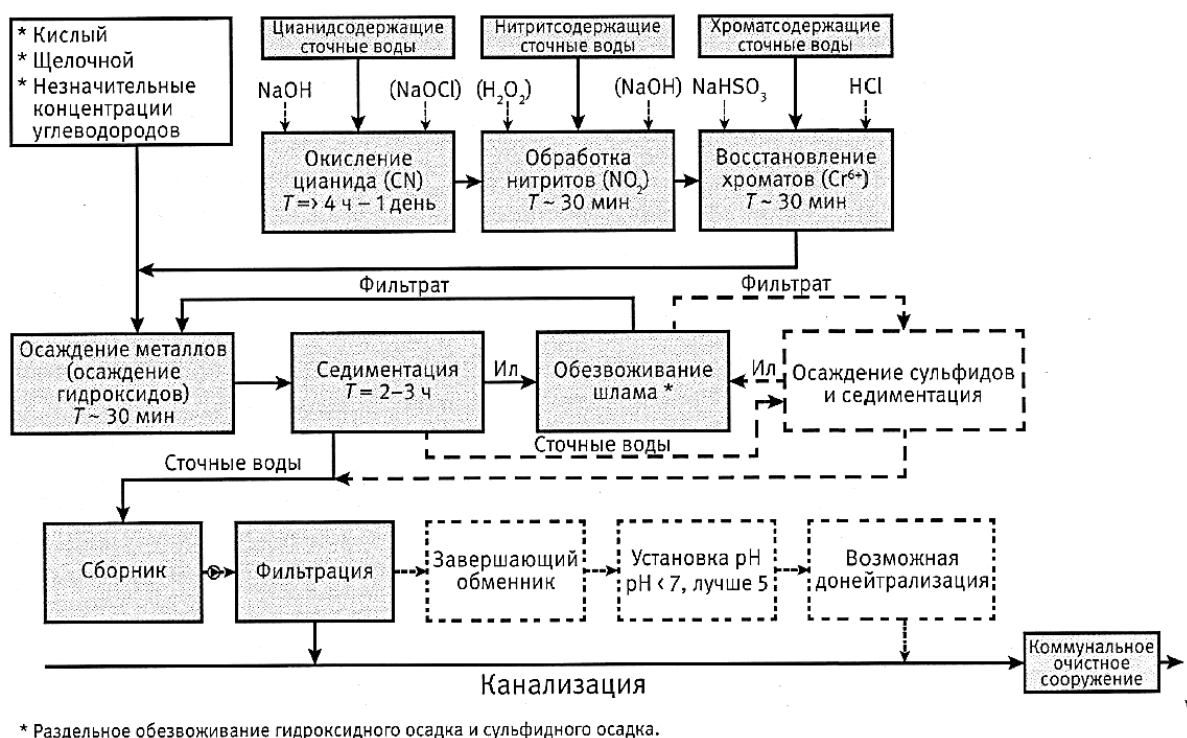


Рис. 6.40. Этапы процесса обработки сточных вод (в идеале)

Чистосортные гальванические шламы могут переплавляться; смешанные шламы удаляются, как правило, в качестве специфических отходов.

1.35. Металлургические заводы

К тяжелой промышленности причисляются следующие отрасли производства:

- горное дело (добыча каменного угля, бурого угля, горнорудная промышленность, соляная промышленность);
- металлургические заводы (производство чугуна и стали, производство полупродуктов, цветная металлургия);
- электростанции;
- нерудная промышленность;
- керамическая промышленность;
- стекольная промышленность;
- нефтеперерабатывающие заводы.

В этом разделе рассмотрены металлургические заводы, нерудная промышленность, стекольная промышленность и нефтеперерабатывающие заводы.

Металлургические заводы можно разделить по ступеням производства на производство чугуна, производство стали и изготовление изделий из стали, рис. 6.41. Сырую сталь изготавливают в конвертере доменной печи из железной руды и скрапа и в электрических дуговых печах с преобладающим использованием скрапа. Отделка поверхности ограничивается работой с соответствующим листовым железом или изготовлением проволоки. Изготовленные полупродукты почти без исключений перерабатываются в металлоперерабатывающей промышленности далее до готовых продуктов.

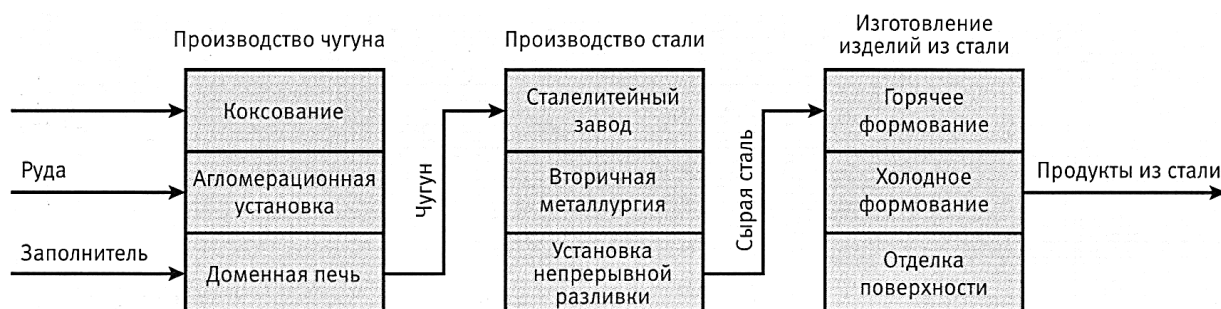


Рис. 6.41. Этапы процесса от руды до стали

Получение чугуна

Чугун получают, как и раньше, в ходе доменного процесса. Для этого доменную печь попеременно наполняют партиями руды с известняком и кокса. За счет выделения тепла из кокса плавится руда. Расплавленный, насыщенный углеродом чугун периодически выпускается и переходит на производство стали или разливается в чушки.

Элементы цветных металлов, находящихся в руде, осаждаются в качестве так называемого шлака. Шлак имеет меньшую плотность, чем чугун, и поэтому, всплывая на руде, непрерывно удаляется с поверхности чугуна. Шлак состоит, по сути, из кремниевой кислоты, глинозема, оксида кальция и магния. Он перерабатывается до гравия, сплита, камня, песка (из гранулированного доменного шлака), шлаковой пемзы и волокнистых изделий.

Жидкий шлак поступает в сильный динамичный поток воды и за счет внезапного спада температуры гранулируется. Благодаря этому охлаждению шлак разрывается с помощью воздуха или газовых включений до пористого, с острыми краями песка. Обычно для грануляции используется вода, вытекшая из охлаждающего цикла и мокрого пылеудаления, часть которой во время грануляции шлаков испаряется. При грануляции нужно большое количество воды, так что вода постоянно циркулирует. Удаление рваного песка протекает в традиционных отстойниках. Проблематичным является то, что за счет воздуха и газовых включений образуется песок, находящийся во взвешенном состоянии, который всплывает. Части этой взвеси могут удаляться через решето, например с помощью вращающегося барабанного грохота, и перемешиваться с гранулятом. Осаждающиеся шламы постоянно продуваются. Объем воды, пропущенной через плавающий и взвешенный шлам, заменяется на воду из вышеупомянутого цикла.

Газ, пропускаемый наверху доменной печи, является колосниковым газом и обрабатывается термически.

До термической обработки ему нужно освободиться от пыльных компонентов. Это происходит за счет комбинирования методов сухого и мокрого пылеулавливания с последующим осаждением на тканевом фильтре или электроfiltре. Промывная вода циркулирует через колошниковый газ. Удаление смывой пыли протекает в обычных круглых или прямоугольных отстойниках. После отстаивания свойства шлама могут улучшаться за счет добавления извести, активированной

кремниевой кислоты или вспомогательных веществ при флокуляции. В отстойниках может предварительно включаться интенсивное вентилирование для того, чтобы вытеснить из промывной воды относительно высокое содержание CO_2 . Удаленный шлам, как правило, постоянно очищается и обезвоживается примерно до 60% сухого остатка и может добавляться при соответствующем содержании чугуна в доменную печь.

Часть циркуляционной воды должна откачиваться и замещаться, например незагрязненной охлаждающей водой доменной печи для того, чтобы удерживать концентрацию вредных веществ в граничных значениях. Промывная вода насыщается, к примеру, сульфидом натрия, цианидом, фенолом, нафталином. Для удаленного частичного потока прежде всего необходимо обеззараживание. Принципиально применяются такие же методы, как в металлообработке и металлопереработке.

На некоторых сталелитейных заводах к получению чугуна подключается также коксование, так что наряду с обоими описанными потоками сточных вод в установленных отсеках скапливаются потоки сточных вод с высоким содержанием ХПК и соединений азота. Эти сточные воды могут очищаться на биологической стадии путем, например, нитрификации и последующей денитрификацией, и внешним дозированием С-источников для того, чтобы избежать специфического для субстрата ингибирования расщепления. С помощью этой технологии можно достичь стабильного снижения фенола, достаточно стабильной нитрификации и дальнейшей денитрификации.

Нужно упомянуть еще о поступающих сточных водах с особых металлургических электростанций. Здесь речь идет об оборотной промывочной воде, которая поступает при очистке от гравийного фильтра, и о регенераторах ионообменника. Эти сточные воды могут дальше применяться также для грануляции шлаков или гашения извести.

Производство стали

За счет относительно высокого содержания углерода чугун хрупок и не способен деформироваться. Кроме того, чугун обладает неблагоприятными свойствами для дальнейшего использования за счет таких веществ, как сера, кремний и фосфор. Высокое содержание в чугуне углерода, кремния, фосфора и серы удаляется окислением. Эта

дальнейшая окислительная обработка проводится чаще всего в подсортированном сталеплавильном цехе в кислородных конвертерах, мартеновских печах Siemens или электрических дуговых печах. При этом из чугуна изготавливается сталь.



Рис. 6.42. Установка непрерывной заливки

В кислородных конвертерах чугун продувается кислородом. В мартеновских печах Siemens при окислении используются вышеупомянутые вещества, окисляющие горючий газ воздушной смеси. В электрических дуговых печах в качестве окислителя добавляется оксид железа в виде скрапа. Для ошлаковывания веществ (кремниевой кислоты, оксида фосфора (V)) прибавляют известь, а для лучшего плавления – плавиновый шпат. Затем сталь восстанавливается при добавлении феррокремния и алюминия, и образуется желаемый сплав.

Жидкая сталь заливается либо в кокили, либо в болванки. Все чаще в установках непрерывной заливки, рис. 6.42, производятся прямоугольные отливки из жидкой стали.

На сталелитейных заводах сточные воды образуются обычно только при мокром пылеулавливании (окисление пыли). Эта пыль содержит в качестве составляющих веществ железо, марганец, а также серные и фосфорные соединения. В продувных конвертерах оседает значительное количество пыли – около 20 г/м^3 .

При мокрой очистке часть пыли восстанавливается до значения менее чем 150 мг/нм^3 . Из использования воды $2\text{-}3 \text{ м}^3/\text{т}$ сырой стали следует, что содержание твердых частиц в промывочной воде после промывки составляет до 20 г/л , которое может восстанавливаться в обычных отстойниках при значении менее чем 50 мг/л и снова использоваться.

При производстве стали изготовленные блоки, болванки и другие изделия непрерывной разливки проходят дальнейшую переработку в цехе горячей прокатки ковкой и литьем.

Формование стали

В цехе горячей прокатки блоки, болванки и др. нагреваются в нагревательных колодцах до максимальной температуры 1250°C и предварительно прокатываются в вальцах блочного и болваночного типа. В зависимости от произведенной заготовки они проходят различные прокатные цеха, в большинстве случаев с несколькими клетями прокатного стана, причем, по сути, изготавливаются горячая лента, профили и так называемая сортовая заготовка для производства круглой стали и катанки. Трубы производят из толстостенных литейных или предварительно обкатанных трубных заготовок за счет увеличения диаметра или восстановления диаметра с помощью различных процессов вальцевания, последующей сваркой швов, а также вытяжкой.

В цех горячей прокатки поступают сточные воды от охлаждающих вод для вальцов и прокатываемого металла. Охлаждающая вода впрыскивается на прокатываемый металл под высоким давлением (до 120 бар) для того, чтобы одновременно удалить с него окалину. При этом металл загрязняется окалиной, пылью, жирами и маслами. Удаление грубой окалины протекает в стержневых решетках, которые расположены внизу вальцов поверх спекшихся агломератов. Грубая окалина сползает со стержневых решеток по боковой мульде, откуда периодически очищается. Вместо стержневой решетки используется также перфорированная жесьть.

В цехе холодной прокатки изготавливается, как правило, из горячей ленты желаемое изделие путем холодного формования на одном или нескольких холодных вальцах. Изделиями холодного формования являются холоднопрокатная полоса, холодный профиль и части прессы, такие как винты и гайки. Волоченные в холодном состоянии проволока

и проволочные изделия изготавливают из стержней или катанок. До холодного формования со стержней и, соответственно, с горячей полосы окалина удаляется протравливанием.

В цех холодного формования поступают сточные воды за счет протравливания горячих лент для окончательного удаления окислыны. Здесь скапливаются окалина и промывные воды, которые могут обрабатываться осаждением при нейтрализации и удалением твердых частиц. Необходимые установки отличаются только размером от обычных установок непрерывного действия для нейтрализации. Сточные воды из солесодержащей плавки нейтрализуются кислотой или еще лучше – поступающими кислыми сточными водами. Стоит заметить, что окислительная плавка шестивалентного хрома, который ранее обезвреживался восстановлением, возрастает.

Далее сточные воды поступают в качестве охлаждающих вод для энергетического формования. Охлаждающие воды состоят, как правило, из эмульсии «масло-в-воде». Охлаждающие воды также циркулируют, отводя при этом частичный поток. Так как речь идет об очень значительных количествах циркуляционных вод, то обрабатывается только та вода, которая очищена от шлама. При этом применяется электрофлотация, напорная флотация и термические методы.

Чаще всего очищенные от шлама сточные воды в центральных сооружениях обрабатываются вторично вместе с общими водами. Центральная очистка сточных вод служит для последнего осаждения грубых дисперсных твердых частиц и оставшихся масел, и жиров и тонкой очистки для отделения оставшихся твердых частиц. Дальнейшая обработка состоит из коагуляции нетоксичных солей металлов и флокуляции. На этой стадии мелкодисперсные вещества также осаждаются. Они удаляются в отстойниках со шламом или в пластинчатом сепараторе.

1.36. Цветная металлургия

К важнейшим цветным металлам относят алюминий, медь, свинец, цинк.

Остальные играют с точки зрения выхода готовой продукции скорее второстепенную роль.

Вторичное сырье образует в ряду металлов важную составную часть сырьевого снабжения. Медь, алюминий, свинец, цинк, благородные металлы и инертные металлы могут вновь быть получены из продуктов и остатков и снова вводиться в процесс производства без ущерба для качества. Полученная из вторичного сырья продукция составляет значительную долю, вследствие чего расход сырья и энергии сокращается.

При получении цветных металлов образуются следующие сточные воды:

- вода с гранулированным шлаком;
- промывная вода для газа;
- сточные воды для мокрой очистки и спринцевания металлургических установок;
- оборотные промывные воды и регенераторы электростанций;
- эмульсии из прокатных цехов, прессов, после изготовления полупродуктов и литья;
- электролиты сточных вод, насыщенные мышьяком или магнием и марганцем.

Основные компоненты состоят из всех веществ, с которыми вода вступает в контакт. Сточные воды могут содержать растворимые и нерастворимые соединения металлов, масло и органические вещества.

В основном речь идет о следующих стратегиях предотвращения по сокращению количества сточных вод и нагрузки от вредных веществ в сточных водах:

- доработка непрямой охлаждающей системы;
- многократное использование охлаждающей воды за счет циркуляции;
- замена опасных используемых веществ;
- ловушки для сбрызгивающих, очистительных и утекающих вод;
- разработка и использование сухого метода без вытеснения выброса вредных веществ в другие среды, такие как, например, воздух;
- дальнейшая циркуляция с обработкой частичного потока технологических вод;

- использование незначительно нагруженных дождевых вод (если нагрузка неизбежна) в процессе производства;
- отдельный отвод незагрязненных, не требующих обработки дождевых вод.

При обработке сточных вод используются физические или химические методы или их комбинация. Они применяются для исходного материала и специальных веществ, содержащихся в сточных водах, на различных заводах цветной металлургии. Эти методы преобладают над методами осаждения путем нейтрализации и последующей седиментации и выпаривания или фильтрации. Осаждение может разделяться для лучшей применяемости на многоступенчатые стадии процесса, при наличии цианидов необходимо обеззараживание. Методы ионного обмена или методы селективного ионного обмена, как они известны в металлообработке и металлопереработке, могут также использоваться.

1.37. Нерудная промышленность

К нерудной промышленности относятся:

- производства по получению и обработке песка, колчедана, глины и различных видов горных пород;
- производства по переработке природного камня;
- производства по изготовлению бетона и изделий из бетона, цемента, извести, доломита, силикатного кирпича, глины, асбестоцемента и изделий из асбестоцемента, кирпича, керамических изделий, пемзы, асфальта;
- производство строительных материалов.

Сточные воды этой промышленности образуются:

- из загрязненной почвенной и подпочвенной воды;
- промышленного производства;
- очистки установок и оборудования;
- атмосферных осадков на загрязненной территории местности предприятия.

осаждении легких веществ. Шихты и взвеси вновь возвращаются в отделочный цех.

При обработке стекла частично образуются сточные воды (например, при очистке и отделке пресс-форм или при гальванизации стекла), которые могут обрабатываться так же, как сточные воды из металлоперерабатывающей промышленности (см. разд. 6.16 «Обработка сточных вод в металлургии»). При серебрении стекла (изготовление зеркал) растворы, содержащие нитрат серебра и аммиак, добавляют в сточные воды, из которых можно обратно получить серебро — чаще всего путем цементации на неблагородных металлах, как цинк и железо. Оставшиеся сточные воды при учете содержания аммиака в них, возможно с другими металлосодержащими сточными водами, подвергают осаждению при нейтрализации или сульфидному осаждению с последующим удалением твердых частиц.

Характерными для этой промышленности являются сточные воды механической обработки стекла и химических процессов травления.

При разделении, шлифовании и полировании стекольная пыль, пыль от режущих шайб и абразивов и их связующее вещество попадают в сточные воды. Сточные воды содержат, наряду с маслами, и масляные эмульсии, частично принадлежащие поверхности, частично — охлаждающим и смазочным средствам, которые добавляются при механических процессах. Сточные воды обрабатываются при отделении твердых частиц в бумажном фильтре, центрифуге, а также в простых отстойниках. Затем должно удаляться масло в сепараторе для легких веществ. Если масло эмульгировано, тогда оно подается после седиментации в эмульсионно-разделительную установку.

Специфические органические загрязнения могут образовываться в ходе непрерывного производства стекловолокна и минеральной ваты. Тяжелые металлы (в особенности свинец) также могут находиться в связи с процессами производства специальных стекол и стекол для домашнего хозяйства.

Важная технология сокращения выброса вредных веществ в воду объединяет:

- физическую/химическую обработку: грохочение, удаление шлама, центрифугирование, седиментацию, фильтрация, нейтрализация, осаждение, коагуляцию и флокуляцию;

- биологическую обработку: очистку сточных вод активным илом, биофильтрацию.

Минимальные требования к сбросу сточных вод при производстве стекла и искусственных минеральных волокон показаны в табл. 6.53.

Таблица 6.53

**Минимальные требования к сбросу сточных вод для
производства стекла и искусственных
минеральных волокон**

Ингредиент	Выборочная проба, мг/л	Качественная выборочная или двух- часовая смешанная проба, мг/л
Отфильтрованные вещества	30	—
ХПК	—	130
Сульфат	—	3000
Фторид	—	30

1.39. Нефтеперерабатывающие заводы

Нефтехимическая промышленность производит исходные продукты для дальнейшего органического синтеза. На основе нефти/природного газа получают, например, спирты, сельскохозяйственные химикаты, резину, искусственные вещества, текстиль, очистители, растворители и биоциды.

Очень важным шагом в процессе производства является крекинг соединений. Из тяжелого лигроина (сырой бензин), который весьма насыщен циклоалканами, раскрывающимися в интервале кипения 30-200 °С, получают в качестве важных продуктов этилен, пропилен, бутadiен и бензол.

Обработка сточных вод в нефтехимической промышленности

В нефтехимической промышленности зарекомендовали себя следующие концепции обработки.

Отвод частичных потоков сточных вод в разделительную канализационную систему.

Охлаждающие воды, органически не нагруженные, являются важной частью сточных вод. При необходимости они отводятся в охлаждательные башни или направляются непосредственно в водоприемник.

Дождевые воды с поверхности крыш и улиц обрабатываются и отводятся вне области производства, как и охлаждающие воды, так как они не содержат чрезвычайно высокие органические нагрузки.

Дождевые воды с поверхности производства, перевалочных пунктов и нефтебаз могут быть значительно загрязнены органическими веществами из-за негерметичности и неосторожности на предприятии. При необходимости существенная часть нагрузки может удаляться разделительными установками. Сильно токсичные вещества в палитре продуктов и промежуточных продуктов требуют особых мер предосторожности.

Технологические сточные воды всегда обрабатывают для того, чтобы их можно было направить на дальнейшую обработку в центральных очистных сооружениях. Так как затраты на обработку сточных вод зависят от количества сточных вод, то всегда рассчитывается отдельная предварительная обработка, при необходимости с вторичным использованием полезных веществ. Высокие органические нагрузки или отделенные осадки должны целесообразно сжигаться (вероятность использования тепла). Дальнейшими возможными этапами процесса являются химическое окисление, адсорбция, фильтрация, экстракция, дистилляция (с водяным паром), гидролиз или анаэробная предварительная очистка.

Завершающий процесс – биологическая обработка в незначительно нагруженной очистной установке.

Центральные установки обработки являются стандартом в нефтехимических производственных предприятиях, поскольку так можно сэкономить на значительном налоге за сброс сточных вод.

Нефтеочистительные установки

В Федеративной Республике Германии в 2004 г. насчитывалось более 15 нефтеочистительных установок с производительностью переработки сырой нефти 116,4 млн т/год (2003 г.). Так как добыча нефти внутри страны 3,7 млн т/год (2003 г.) весьма незначительна, то большую часть нужно импортировать.

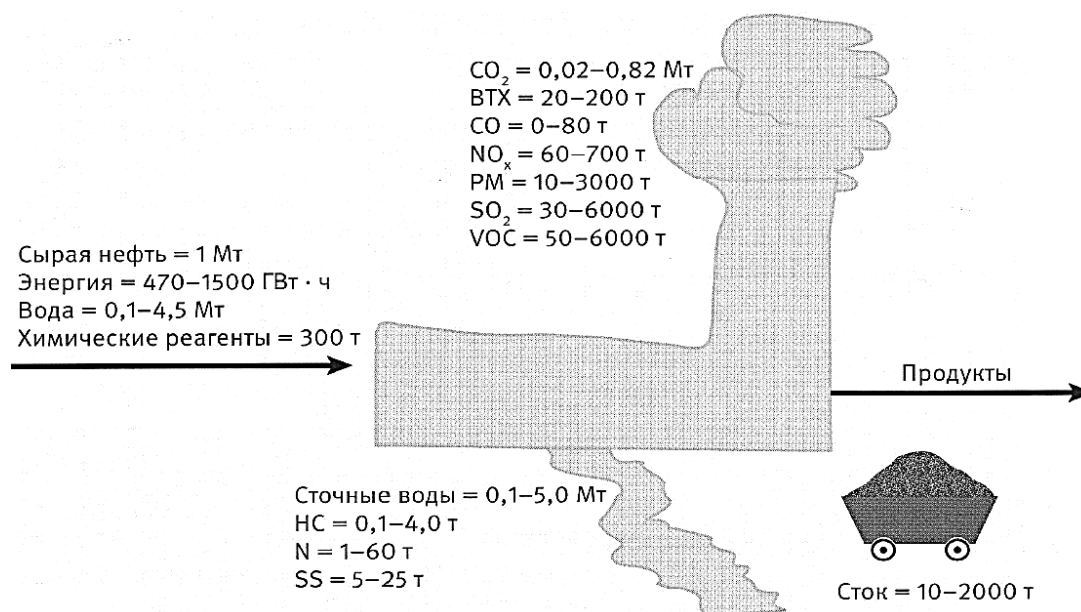


*Рис. 6.44. Обзор выбросов вредных веществ при очистке нефти:
сырая нефть – сырье; BTX – бензол, толуол, ксилол;
PM – выбросы частиц; VOC – летучие органические соединения;
HC – углеводород; SS – взвешенные твердые частицы*

Перерабатываемое на нефтеперегонных заводах сырье представляет собой жидкую смесь алифатических, ароматических и, в незначительном количестве, олефиновых углеводородов.

На рис. 6.44 показаны существенные выбросы вредных веществ, причиной которых являются нефтеперерабатывающие заводы.

При обработке сырой нефти вода нужна для обессоливания нефти, паровой обработки особых продуктов и потоков сточных вод, для крекинга и процессов закалки, охлаждения, в целях очистки и промывки и для хозяйственно-питьевого снабжения.

Объем и состав сточных вод главным образом зависят от размеров нефтеперерабатывающего завода, типа процессов переработки, качества используемой нефти и срока службы предприятия.

В основном различают:

- органически загрязненные технологические воды;
- преобладающий объем загрязненных маслом сточных вод;
- санитарные сточные воды;
- неорганически нагруженные или химически неизмененные сточные воды.

Органически загрязненные технологические сточные воды представляют собой самую важную часть общего количества сточных вод

нефтеперерабатывающих заводов. Эти сточные воды, образующиеся в нефтеочистительных установках в качестве охлаждающих вод, появляются, как правило, в новых установках из циркуляционной охлаждающей системы с высокой степенью ограничения, поэтому они имеют высокое содержание неорганических солей, таких как хлориды, сульфаты и добавки, повышающие жесткость соли.

Таблица 6.54

Области нагрузки неочищенных сточных вод для очистки, дистиляции, риформинга, крекинга, нефтехимических процессов и для производства смазочных средств

БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л	ПОУ, мг/л	Углеводороды (масло+жир), мг/л	NH ₃ -N, мг/л	Фенолы, мг/л	Сульфиды, мг/л
100-800	300-1400	50-500	20-500	1-250	0,5-50	0-60

Специфический для конкретной продукции производственный общий объем сточных вод должен находиться в пределах 0,15-1,50 м³/т. В табл. 6.54 представлены области нагрузки неочищенных сточных вод для очистки, дистиляции, риформинга, крекинга, нефтехимических процессов и для производства смазочных средств.

Внутрипроизводственные мероприятия

Если раньше при удалении серы из нефтяных продуктов преимущественно использовали не восстановительные методы, то теперь стало обычным в современных нефтеперерабатывающих заводах удалять серу водородом и использовать восстановительные методы, при которых сера восстанавливается в элементарной форме. При внутрипроизводственной разгрузке технологических сточных вод сильно загрязненные технологические паровые конденсаты (кислые воды) могут применяться в процессе обессоливания нефти. Таким образом, сероводород, меркаптаны и цианиды переходят из водной фазы в сырую нефть.

Одним из эффективных шагов по снижению водопотребления и количества сточных вод на нефтеперерабатывающих заводах является последовательное применение воздушного охлаждения для различных производственных потоков. При этом на отдельных нефтеперерабатывающих заводах до 90% всей поступающей охлаждающей загрузки проходит через воздушно-охладительный теплообменник. Наряду со

значительным снижением водопотребления и количества сточных вод воздушное охлаждение также приводит к устранению термической нагрузки водоприемника и отказу от применения химических реагентов для кондиционирования холодной воды и циркуляционной системы. Недостатком является высокое потребление энергии, особенно летом.

Внутрипроизводственные меры приводят к экологичным методам производства, а именно к тому, что объем сточных вод и количество содержащихся в них веществ значительно сокращаются. Сегодня особенно необходимы экологически чистые методы удаления серы как для образующихся сточных вод, так и для возникающих газообразных отходов при сжигании нефтяных продуктов. Благодаря удалению серы из сточных вод (с помощью водяного пара, дымового газа или воздуха) сильно нагруженные сточные воды освобождаются от органических веществ и становятся биологически обработанными сточными водами.

Могут быть достигнуты следующие нормы удаления:

– Сероводород	>98%
– Аммиак	>90%
– Фенол макс.	65%
– Цианид (HCN)	>90%
– Углеводороды макс. (ароматические, летучие)	50%

Безвредное удаление путем сжигания или восстановления газообразных отходов является предпосылкой для экологичного способа производства.

Предварительная обработка сточных вод

Необходимо подвергать сточные воды нефтеперерабатывающих заводов обширной предварительной обработке. По сути, речь идет об удалении ингибирующих и токсичных загрязняющих компонентов, таких как сероводород, меркаптаны и цианиды, которые могут помешать процессу биологической очистки и осаждения веществ, например таких, как углеводороды (масла), наносящих вред в более высоких концентрациях, а также при биологическом разложении.

К мерам предварительной обработки относят:

- буферную емкость для выравнивания количества сточных вод;
- отстойники для грубой очистки от масел;

- отстойники;
- флотационные отстойники для мягкой очистки от масел;
- фильтрацию для мягкой очистки от масел;
- отстойники для химического осаждения или коагуляции с одновременной адсорбцией масел;
- реакторы для окисления сероводорода под давлением;
- паровые установки для удаления летучих веществ, таких как, например, сероводород, аммиак, циановодород и фенолы, из сточных вод.

Затем может производиться биологическая очистка.

Заключительная обработка сточных вод протекает на нефтеперерабатывающих заводах должно проходить практически исключительно путем биологической очистки. Органически загрязненные технологические воды, содержащие масла и углеводороды сточные воды и санитарные сточные воды проходят через установку биологической очистки. При наличии сильных загрязнений биологической обработке должны подвергаться также охлаждающие сточные воды и дождевые воды, не содержащие масел, возможно, после промежуточного накопления. Так как в нейтральных и слабощелочных сточных водах нефтеперерабатывающих заводов часто обнаруживают недостаток соединений фосфора, которые пригодны для использования, то к биологической очистке должны добавляться фосфаты или фосфорные кислоты.

Вопросы для самоконтроля

Охарактеризуйте очистку сточных вод у следующих предприятий

1. Сахарные заводы
2. Крахмальные заводы
3. Производство пищевого растительного масла и жира
4. Картофелеперерабатывающая промышленность
5. Промышленность, перерабатывающая овощи и фрукты
6. Пивоваренные завод
7. Спиртовое производство
8. Молокоперерабатывающая промышленность
9. Скотобойни
10. Текстильная промышленность

11. Кожевенного производства
12. Целлюлозно-бумажного производства
13. Химическая промышленность
14. Обработка сточных вод в металлопромышленности
15. Гальванотехника
16. Металлургические заводы
17. Цветная металлургия
18. Нерудная промышленность
19. Стекольная промышленность
20. Нефтеперерабатывающие заводы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа над учебным изданием есть следствие возросшего в последние годы интереса к вопросам водоотведения промышленных предприятий, что является отражением развития и обострения проблем с увеличением потребления и возврата водных ресурсов, вызванным развитием экономики, а также появлением сложных экологических и техногенных проблем, ростом численности населения, повышением комфорта и качества жизни.

Показано перспективное хозяйство водоочистки и рекультивации на примере ведущих стран и, в частности Германии, его освоение и применение могут позволить повысить общую ресурсную безопасность страны, обеспечив её технологическую, экологическую и энергоресурсную независимость.

Россия обладает богатейшими ресурсами пресной воды. При этом водоотведение должно играть не меньшую роль, чем водоснабжение. Возможности естественного природного характера очистки вод не безграничны. Техногенные факторы ставят новые вызовы, которые нельзя игнорировать.

В России имеются множество практических разработок и методов, использующих современную отечественную базу, которая может быть развита при создании благоприятных условий. Увеличение вложений в освоение методов и оборудования систем ВВ – это стратегическая задача государства.

Авторы полагают, что издание поможет восполнить недостаток технико-экономической информации, касающейся установок методов водоочистки промышленных предприятий.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Абиотические факторы

1. Физические, химические, гидрографические факторы среды; параметры неорганической среды.
2. Химические и физические (неорганические) факторы, влияющие на живые организмы.

Автотрофный

1. [греч. autos — сам; греч. trope — питание]. Питающийся только неорганическими веществами.
2. Наименование типа питания организмов, которые для построения веществ своего тела нуждаются только в неорганических веществах (воде, углекислом газе, солях, соединениях азота). Сюда относятся все зеленые растения, водоросли и некоторые бактерии, (см. также *Гетеротрофный*).

Адсорбция [от лат. adsorbere — принимать]. Скопление газов или растворенных веществ на поверхности твердых веществ (адсорбента, адсорбирующего агента) в адсорбере. Путем адсорбции из выделяющихся газов или жидкостей удаляются вредные вещества.

Азот Неметаллический элемент, химический символ N, газ без цвета, запаха и вкуса, составляет наибольшую часть атмосферного воздуха. Азот является одним из питательных веществ, он требуется для строительства клеточного вещества.

Активированный уголь Высокопористый чистый углерод с большой поверхностью (между 300 и 1100 м²/г); получается путем сжигания древесины, торфа, бурого и каменного угля в т. ч. с последующей активацией водяным паром; в результате частичного обжига при 700-1000 °С образуются важные для адсорбирующего действия микропоры.

Активный ил Ил, состоящий из одно- и многоклеточных живых существ (например, бактерий, грибов) (активный ил), образующийся в аэротенке очистного сооружения. Часто называется активированным шламом. Прирост активного ила в аэротенке происходит в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Находящиеся в активном иле мелкие живые существа разлагают присутствующие в сточных водах органические вещества, используя кислород для своего обмена веществ.

Аммонификация Преобразование соединений азота в ионы аммония.

Анализ осадка Определение разброса значений размера зерен.

Анализ осадка, также называемый отстаиванием или отстоем, является механическим методом отделения для количественного определения доли мелких зерен в пробе осадка (анализ дисперсности). Он предназначен для зерен размером $0,001 \text{ мм} < d < 0,125 \text{ мм}$ (связные грунты).

Зерна различного размера тонут в стоячей воде с разной скоростью. Взаимосвязь между размером зерен, плотностью и скоростью осаждения описывается законом Стокса.

С затоплением зерен, различным по скорости в зависимости от их размера, меняется время сортировки зерен по размеру и время распределения плотности по толще воды. Плотности, определяемые по глубине погружения ареометра, обеспечивают распределение зерен по размеру. Методику см. в DIN 18123.

Анаэробная очистка Очистка сточных вод при помощи анаэробных организмов без подачи кислорода.

Анаэробное расщепление

1. Процесс расщепления, при котором не потребляется кислород.
2. Расщепление веществ микроорганизмами при анаэробных условиях. В водоочистной технике это, например, гниение для стабилизации осадка сточных вод (см. *Стабилизация осадка сточных вод*).

Анаэробный

1. [греч. *απει* – без; греч. *αεγ* – воздух]. Обозначающий отсутствие молекулярного кислорода.
2. Состояние биоценоза, в котором (водная) среда не имеет ни растворенного, ни химически связанного кислорода (например, в форме нитрата, нитрита или сульфата) (см. также *Аэробный*, *Аноксический*).

Анион Отрицательно заряженный ион.

Аноксический Состояние биоценоза, в котором (водная) среда не имеет растворенного кислорода, однако при этом имеется химически связанный кислород (например, в форме нитрата, нитрита или сульфата). См. также *Аэробный*, *Анаэробный*.

Антропогенный Вызванный вмешательством человека.

Аэрация 1. В целом, газообмен между водой и воздухом для добавления в воду кислорода и, при необходимости, удаления растворенных газов.

2. Насыщение воды или водоема воздухом или чистым кислородом. Методики аэрации применяются в очистных сооружениях,

при подготовке питьевой воды (например, удалении растворенного железа или марганца) и для поддержки механизмов самоочистки водоемов.

3. Обработка сточных вод; искусственное добавление воздуха в сточные воды для окисления неорганических соединений (Fe^{2+} до Fe^{3+}), для достаточного обеспечения кислородом при биологической очистке сточных вод и для удаления жидких веществ.

Вода может аэрироваться, например, при помощи каскадов. Аэрация сточных вод осуществляется в так называемых аэротенках путем добавления кислорода при помощи воздуха или газообразного кислорода.

Различаются:

- поверхностная аэрация;
- напорная аэрация;
- струйная аэрация;
- центробежная аэрация;
- аэрация при помощи вращающихся щеток;
- насыщение газообразным кислородом.

Аэрируемый Биологический пруд с искусственной аэрацией и без рециркуляции ила.

Аэробная очистка Очистка сточных вод при помощи аэробных организмов при подаче кислорода.

сточных вод.

Аэробное расщепление

1. Процесс расщепления, при котором потребляется кислород.
2. Расщепление микроорганизмами при потреблении кислорода. Здесь речь идет о предпочтительном принципе коммунальных и промышленных очистных сооружений. Поступление кислорода обеспечивают различные аэрирующие агрегаты (см. также *Аэробный*).

Аэробный

1. [греч. *aeg* — воздух; греч. *bios* — жизнь]. В целом: испытывающий потребность в кислороде или содержащий кислород (применительно к организмам, химическим реакциям).
2. Наименование образа жизни организмов, которые нуждаются в кислороде для дыхания, или видов химических реакций, которые возможны только при поступлении кислорода (аэробное дыхание).

3. Состояние биоценоза, в котором в (водной) среде имеется растворенный кислород (см. также *Анаэробный, Аноксический*).

Аэротенк Сооружение для очистки активным илом, в котором активный ил удерживается во взвешенном состоянии и при снабжении кислородом разлагает органические вещества и превращает их в активный ил.

Бактерии

1. Одноклеточные микроорганизмы, которые размножаются делением и которые играют важную роль в биологических процессах расщепления (в т. ч. биологическом разложении, гниении, тлении, коксовании), а также являются возбудителями заболеваний.

По образу жизни различаются:

- облигатные аэробные бактерии (аэробы, нуждаются исключительно в аэробных условиях);
- облигатные анаэробные бактерии (анаэробы, нуждаются исключительно в анаэробных условиях);
- дополнительные аэробные и анаэробные бактерии (могут жить как при аэробных, так и при анаэробных условиях).

По температуре окружающей среды различаются:

- психрофильные бактерии (оптимальная температура $<20\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- мезофильные бактерии (оптимальная температура $20\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- термофильные бактерии (оптимальная температура $>45\text{ }^{\circ}\text{C}$).

2. Одноклеточные микроскопические организмы круглой, продолговатой или изогнутой формы. Гетеротрофные бактерии могут разлагать органические соединения. Поэтому они играют важную роль при самоочищении водоемов, при разложении органических веществ на дне водоемов (подрусловая фильтрация) или в верхнем слое медленного песочного фильтра, а также при биологической очистке сточных вод (биологическая очистка сточных вод) в очистных сооружениях.

Баланс груза вещества Количественное соотношение входящих в систему, остающихся там и вновь выходящих из нее грузов вещества.

Барабанное сито Цилиндрическое сито для сточных вод очень большого диаметра относительно длины, которое нижней частью погружено в воду и медленно поворачивается по горизонтальной оси.

Биокатализатор Материал, который в минимальных количествах

влияет на биохимические реакции жизнедеятельности: энзимы, витамины, регуляторы роста, гормоны.

Биологическая очистка

1. Содержащиеся в сточных водах органические компоненты при биологической очистке *сточных вод* подвергаются процессу расщепления. Расщепление осуществляется микроорганизмами, например: бактериями и грибам, при наличии кислорода. При этом вследствие процессов преобразования возникают неорганические соединения (например, углекислый газ или вода) и постоянная биомасса. Последняя оседает во вторичном отстойнике на дно, там удаляется из воды и перерабатывается как рециркуляционный либо избыточный ил. Этот процесс происходит без вмешательства, пока мельчайшие организмы защищены от кислот, щелочей и ядов и пока им со сточной водой постоянно подается новое питание и достаточное количество кислорода. В правильно эксплуатируемых механико-биологических очистных сооружениях достаточных размеров возможна такая эффективная очистка сточной воды, что в ней смогут жить рыбы. Однако в очистных сооружениях, соответствующих техническим правилам, из сточных вод удаляется только около 90% грязи или вредных веществ и возбудителей заболеваний. Там, где остаточная нагрузка городских или промышленных сточных вод все еще высока и (или) самоочистительная способность принимающего водоема (водоприемника) превышена, необходима более эффективная очистка сточных вод (третья ступень очистки).
2. Расщепление растворенных органических веществ микроорганизмами, анаэробно или аэробно, на установках аэрации (например, в резервуарах, биологических реакторах) или на так называемых микробиологических пленках в орошаемых биофильтрах. Если в очистных сооружениях происходит технически интенсифицированная биологическая самоочистка (например, наполнителях, поверхностных аэраторах), см. также методику очистки активным илом.

Биология сточных вод Речь идет о биологических процессах, организмах и условиях жизни в сточных водах или о загрязненном сточными водами естественном водоеме и степени его загрязнения.

Биофильтр Устройства, применяемые для очистки биологических

сточных вод, расположенные в емкостях корпуса (преимущественно пластмассовые), через которые протекают сточные воды. Живущие в биофильтрах микроорганизмы (микробиологическая пленка) проводят биологическое расщепление растворенных органических примесей. Аэрация осуществляется естественным или искусственным притоком воздуха.

Биохимическое потребление кислорода

1. Стандартный тест при обработке воды для определения масштаба органического *кислорода* (БПК) загрязнения. Он представляет собой объемную долю массы кислорода, которая суммарно может применяться для аэробного разложения содержащихся в одном литре пробы воды биохимически окисляемых примесей за n суток соответствующим микробиоценозом при 20 °С.
2. При биологической очистке сточных вод БПК измеряется за пять суток, как правило, для определения параметров сооружений.
3. Числовая мера количества растворенного кислорода, который необходим в сточной воде для биологического расщепления органических веществ. В качестве обозначения используется, в основном, БПК₅. Оно указывает количество кислорода (в мг/л), которое необходимо для бактерий и прочих мельчайших организмов в пробе воды за пять суток при 20 °С для биологического разложения.
4. БПК, численное значение суммы всех биологических разлагаемых веществ в воде. БПК указывает, сколько растворенного кислорода необходимо для «биологического расщепления» за определенное время; как правило, определяется за пять суток и поэтому называется БПК₅.

Биоценоз

1. [греч. *bios* — жизнь; греч. *koinos* — общий]. Живое сообщество животных и растений в биотопе.
2. Живое сообщество организмов различных видов, определяемое условиями среды и отношением друг к другу.

Благоприятная изотерма Эмпирическая зависимость между нагрузкой активированного угля и находящейся в равновесии с ней концентрацией сорбента в воде, при условии остающейся на одном уровне температуры (изотерма).

Болотный газ Возникающая при гниении газовая смесь, состоящая в основном из метана (CH₄) и углекислого газа (CO₂).

Быстрый фильтр Фильтры, которые эксплуатируются при скоростях фильтрации в несколько метров в час, фильтрующая среда которых состоит из зернистых материалов и которые оснащены постоянными устройствами для промывки.

Бытовая загрязненная вода

1. Загрязненные воды частных домашних хозяйств. Они содержат фекалии (кал, мочу), а также различные вещества, содержащиеся в воде после купания, мытья и полоскания, мытья посуды и уборки.
2. Вода из кухонь, душевых помещений, умывальных, ваннных комнат, туалетов и подобных объектов.

Бытовые сточные воды

1. Загрязненные воды частных домашних хозяйств. Бытовые сточные воды содержат отходы, остающиеся после купания, полоскания, мытья, остатки пищи, экскременты, а также прочие, попадающие в домашнюю канализацию (туалета, ванной) жидкие и твердые отходы. Количество на жителя приблизительно соответствует количеству потребления воды на жителя и вследствие этого зависит, в первую очередь от уровня жизни. Оно составляет от 80 до 400 л/сут. Бытовые сточные воды являются частью коммунальных сточных вод.
2. Опасные для окружающей среды отходы, например растворители, лаки, горючее, средства по уходу за растениями, лекарственные средства, а также в т. ч. окурки, металлы, пластмассы не должны содержаться в бытовых сточных водах.

Взвешенные микроорганизмы Микроорганизмы, находящиеся в сточных водах во взвешенном состоянии. Также называются взвешенной биомассой.

Вирусы Возбудители заболеваний: большая группа мельчайших крайне разнообразных самостоятельных частиц кристаллического и органического (бактериофаги) макромолекулярного строения в общей системе внутриклеточного обмена живого существа.

Водное право Законодательные положения об охране воды, использовании воды, водоснабжении и отводе воды, а также все прочие касающиеся воды законы и положения.

Водоем название естественно текущей или стоячей воды, которая находится в системе круговорота воды, включая русла и водоносные слои.

Водоопасные вещества Твердые, жидкие и газообразные вещества, которые могут негативно изменять физическую, химическую или биологическую структуру воды. Сюда относятся кислоты и щелочи, щелочные металлы, сплавы кремния, металлоорганические соединения, галогены, кислотные галогениды, карбонилы металлов и травильные соли, минеральные и смоляные масла, а также их продукты, жидкие, а также водорастворимые углеводороды, спирты, альдегиды, кетоны, эфиры, галогенные, азотные и серные органические соединения, яды.

Водоприемник Любой водоем, в который сбрасывается вода или сточная вода. Любой тип водоема, например море, река, озеро или водоносный горизонт, в который сбрасывается сточная вода из канализации.

Возраст ила Понятие из сферы биологической очистки сточных вод, методика очистки активным илом. Возраст ила представляет собой численное соотношение между имеющимся в аэротенке сухим веществом и ежедневно производимым сухим веществом, которое является избыточным илом. То есть возраст ила указывает, как долго теоретически ил остается в системе сооружения, прежде чем выводится как избыточный ил.

Восстановление В первоначальном значении слова восстановление обозначает реакцию, при которой из составной части соединения удаляется кислород. Сегодня под окислением/восстановлением понимают реакцию перехода электронов в целом. Восстановление — это прием электронов.

Вредное вещество

1. Вещество природного или антропогенного происхождения, которое уже в небольших концентрациях влияет на биологические процессы и системы (токсическое и экотоксическое воздействие) или ограничивает использование организмов либо окружающей среды (образование остатка).

2. Вещество, которое может привести к загрязнению.

Время пребывания. В технологии — общепринятое обозначение времени прохождения.

Вторичное отстаивание. Последний этап биологической очистки сточных вод, состоящей из первичного отстаивания (механический этап), обработки в аэротенке или биофильтре и вторичного отстаивания. Отделение очищенных сточных вод от привнесенного в ходе очистки биологического ила.

Вторичный осадок Удаленный на второй или биологической стадии очистки осадок. Как правило, называется избыточным илом.

Вторичный отстойник Отстойник для отделения активного или биофильтрового ила от потока из аэротенка или биофильтра.

Гербицид

1. Средство борьбы с сорняками.
2. Вещество или смесь веществ, нарушающих жизнедеятельность растений. Как правило, это понятие применяется только по отношению к веществам, используемым для избирательного уничтожения сорняков.

Гетеротрофный

1. [греч. *heteros* — чужой; греч. *trophe* — питание]. Питающийся только органическими веществами.
2. Наименование типа питания организмов, которые для построения веществ своего тела нуждаются в органических веществах (белках, жирах, углеводах). Сюда относятся, например, грибы и бактерии (см. также *Автотрофный*).

Гидроциклон Центробежные очистители, применяемые, помимо очистки от песка, для уплотнения осадка сточных вод и отстоя.

Гниение Анаэробное разложение органических веществ микроорганизмами.

Гнилостный ил

1. Ил, стабилизированный гниением.
2. Возникающий в ходе процессов разложения в водоемах ил или анаэробно обрабатываемый в очистных сооружениях ил (осадок сточных вод), который высвобождает в т. ч. сероводород, аммиак, углекислый газ и метан.
3. Мелкозернистый осадок от серого до глубоко черного цвета в водоемах; возникает при отсутствии кислорода из биохимически преобразованных остатков растений и животных. Велика доля полуразложившихся органических веществ, извести, сульфида железа и пирита. Присутствует гнилостный запах, возникающий из-за образования свободного сероводорода (H₂S). Гнилостный ил считается этапом, предшествующим образованию нефти.

Грибки сточных вод Нитевидные грибы, а также в переносном смысле нитевидные бактерии, которые массово появляются в богатых углеводами сточных водах и в результате распространения грибка засоряют фильтры либо способствуют заиливанию.

Груз вещества Суммируемый за определенное время перенос вещества, содержащегося в воде, например годовой груз хлоридов.

Единица измерения: г, кг или т.

Грунтовые воды

1. Содержащаяся в почве или горной породе вода под водоносным горизонтом.
2. Подземная стоячая или текущая вода, заполняющая полости земной коры. При протекании через горную породу вода растворяет минералы, например: щелочи, сульфаты, хлориды и т. д. По этой причине любая грунтовая вода имеет структуру, соответствующую геологическому строению своей площади водосбора.
3. Покрывающие грунтовые воды слои, а также водоносный горизонт образуют природную систему фильтрации, которая эффективно очищает грунтовые воды от загрязнений. Однако фильтрующее действие в значительной мере зависит от состава и размера зерен. Карстовые грунтовые воды, как правило, существенно более подвержены загрязнению, чем грунтовые воды пористых слоев. Естественные (ненагруженные)

Декантаторы Также называются шнековыми центрифугами со сплошным барабаном. Служат для подготовки сточных вод к сгущению избыточного и гнилостного ила. Работают по принципу трубчатых центрифуг, но, в отличие от них, имеют шнек, который вращается с небольшой разницей частоты вращения по сравнению с барабаном и таким образом отсекает отделяемые твердые вещества от барабана центрифуги и удаляет их из зоны сепарации. Таким образом, предотвращаются перерывы в работе, которые у обычных трубчатых центрифуг обусловлены демонтажем и чисткой барабана. Из-за своего типа конструкции декантаторы являются относительно медленными центрифугами ($Z = 3000-4000$), поэтому граница отделения при меньшей пропускной способности составляет >2 м. При большой пропускной способности (до $140 \text{ м}^3/\text{ч}$) в приток часто добавляется флокулянт для достижения достаточной степени отделения (общая степень отделения $q = 0,95-0,98$).

Денитрификация Сокращение количества нитратов или нитритов при помощи определенных микроорганизмов (денитрификаторов) при анаэробных соотношениях свободного кислорода и азота.

Десорбция 1. В целом, обратимый процесс; «отделяет», например, полярные вещества от неполярных поверхностей.

2. Улетучивание адсорбированных газов из воды.

Детергенты Моющие вещества с поверхностно-активными свойствами. Детергенты применяются как средства для мытья, промывки и очистки, а также как флотационный агент и огнетушительное средство. См. также *Поверхностно-активные вещества*.

Детрит

1. [лат. *detere* — растирать]. Общее значение: омертвелый органический материал.

2. Продукт распада растительного и животного происхождения, например, отмершие растения, экскременты, трупы. Этот органический материал обычно содержит множество микроорганизмов, прежде всего, бактерии и грибы, которые минерализуют этот органический материал и таким образом делают его доступным для первичного синтеза.

3. Все мертвые органические вещества в водоемах в форме взвешенных веществ и осадка.

Дефицит кислорода Недостаточное количество кислорода в воде по сравнению с насыщением кислородом (в мг/л или % насыщения).

Децентрализованная обработка сточных вод Обработка сточных вод на месте без крупных смесительных устройств и длинных каналов.

Понятие децентрализованной очистки сточных вод основывается на идее, что поступающие сточные воды должны очищаться на месте их образования. Это целесообразно, прежде всего, в случаях, если подача сточных вод в центральное (крупное) очистное сооружение при помощи трубопровода под давлением, насосных станций и т. п. неэкономична по сравнению со строительством нецентрального сооружения очистки сточных вод.

Дисперсия

1. Растворение частиц в растворяющей среде.

2. Тонкое немолекулярное распределение одного вещества в другом. Дисперсии возможны в жидком агрегатном состоянии вещества и между различными агрегатными состояниями.

3. система, в которой частицы дисперсионной фазы, т. е. тонко распределенного вещества (диспергента), не расположены вместе, а отделены друг от друга слоем дисперсионной среды. Молекуляр-

ная дисперсия, т. е. молекулярное распределение одного вещества в другом, представляет собой настоящий раствор.

4. Явление процесса течения грунтовой воды под землей, при котором вследствие неоднородности возникают различные длины пути на единицу времени для перемещающихся отдельных частиц и растворенных веществ.

Диссоциация [лат. *dissociare* — разделять]. Распад молекул (чаще всего солей) на простейшие составляющие (ионы) (например, $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na} + \text{Cl}^-$).

Диффузия Молекулярное движение вещества по среде по градиенту концентрации.

Дождевание сточных вод

1. Искусственное дождевание сточных вод на поверхности земли для очистки сточных вод путем инфильтрации, причем слои почвы служат фильтром.

2. Сельскохозяйственное использование сточных вод.

Очищенные сточные воды распыляются дождевальной установкой (см. также *Отвод сточных вод*).

Дождевые воды Вода атмосферных осадков, которая еще не собрала веществ с поверхностей.

Дортмундский колодец Воронкообразный отстойник с преимущественно вертикальным протеканием и, чаще всего, центральной подачей сточных вод.

Дренажная канава Устройства для «естественной» аэробной окончательной очистки биологически очищенной сточной воды. Кроме того, возникающий при этом вторичный осадок отделяется от очищенной сточной воды, накапливается, обрабатывается и, наконец, удаляется.

Процедура: сточная вода, предварительно хорошо очищенная, направляется в параллельно расположенные каналы в перфорированных трубопроводах, проходит через фильтрующий слой из мелкого гравия, собирается в расположенных снизу дренажных трубопроводах и направляется в водоем. Последующую биологическую очистку обеспечивают находящиеся в мелком гравии микроорганизмы. Снабжение кислородом осуществляется при помощи воздуха, который втягивается в гравий проникающей глубже сточной водой при каждой новой загрузке. Большой приток кислорода достигается путем прерывистой загрузки дренажной канавы.

Дымовой газ Возникающий при сжигании органических веществ газ, который наряду с CO_2 содержит другие газы из сжигаемых веществ, а также частицы пыли. Поэтому перед выпуском в воздух необходима очистка отходящего газа.

Единица загрязнения Число для определения налога на сточные воды согласно Закону о сточных водах. Единица загрязнения соответствует оцененному ежегодному неочищенному количеству сточных вод на жителя. При определении единиц загрязнения учитывается годовое количество сточных вод, а также ХПК, фосфор, азот, АОХ, ртуть, кадмий, свинец, хром, медь, никель и токсичность для рыб.

Загрузка

1. При адсорбции: количество адсорбируемого вещества, рассчитываемое на единицу массы сорбента.
2. При фильтрации: количество отфильтровываемых веществ, рассчитываемое на единицу массы или объема фильтрующего вещества.

Загрязнение

1. Здесь: прямо или косвенно вызванное человеческой деятельностью высвобождение веществ или тепла в воздух, воду или почву, которое может повредить человеческому здоровью, качеству водной экосистемы либо непосредственно зависящих от нее наземных экосистем; привести к повреждению материальных ценностей или вызвать ухудшение, или нарушение рекреационной пригодности либо других законных видов использования окружающей среды.
2. Нежелательные вещества в материале, например тяжелые металлы, ядовитые органические химикаты (например, смола, фенол, полихлорированный бифенил), части стекла или пластика, крупные камни, части дерева или крупный щебень, крайне растворимые соли, остатки инсектицидов, возбудители заболеваний, гербициды (см. также *Вредные вещества*).

Загрязненная вода Измененная вследствие потребления и направленная в канализационную систему вода (сточные воды).

Закон Генри Закон растворимости газов в жидкостях. Он гласит, что концентрация газа в жидкости прямо пропорциональна частичному давлению соответствующего газа на жидкость.

Затопляемый биофильтр Конструктивные элементы для аэробной

биологической очистки предварительно очищенных коммунальных сточных вод. Состоят из расположенных по горизонтальной оси вращаемых валикообразных элементов для роста микроорганизмов в различном исполнении. Валики погружаются в емкости с предварительно очищенными сточными водами примерно наполовину и перемещаются медленным вращением так, что микроорганизмы попеременно вступают в контакт то со сточными водами, то с воздухом.

Избыточный ил Удаляемый из аэротенка ил.

Изотерма адсорбции Зависимость между концентрацией адсорбируемого вещества в растворе, находящегося там в состоянии равновесия, и количеством вещества, адсорбирующего твердую примесь (сорбента) при постоянной температуре.

Имитация Применение модели для описания поведения рассматриваемой системы при определенных обстоятельствах.

Ингибитор Химические вещества, которые путем повреждения нитрификаторов затормаживают *нитрификации* или полностью прекращают нитрификацию. Таким образом, можно достичь замедления действия азота, а также сокращения содержания нитратов в растительных продуктах.

Инфильтрация сточных Введение в почву соответствующим образом очищенных сточных вод без сельскохозяйственного использования, например по инфильтрационной установке, дренажным канавам или по дренажному рву.

Ионообменные вещества Неорганические или органические нерастворимые в воде объекты, находящиеся в группах атомов, ионы которых могут обмениваться на другие ионы (анионный или катионный обмен), например, при смягчении воды (ионообменные смолы), в медицине (ионное замещение) или при обработке сточных вод.

Использование водоема

1. Водоемы являются составной частью природного баланса.

Кроме того, они служат для многочисленных антропогенных способов использования, которые могут быть объединены в следующие группы:

- водозабор из водоемов;
- сброс в водоемы;
- производство электроэнергии;
- озерно-речное судоходство;

- промышленное рыболовство;
 - отдых и досуг.
2. К основным типам использования водоемов относятся: обеспечение питьевой водой, обеспечение технической водой, включая забор воды для охлаждения, ловля рыбы, судоходство, использование водной энергии, использование в целях отдыха, времяпрепровождения и оздоровления, а также использование в качестве водоприемников сточных вод, включая отток воды для охлаждения. Различные виды использования часто приводят к существенным конфликтам интересов, так как, например, одновременное использование водоема как приемника сточных вод и как места для купания может быть взаимоисключающим.

Кадмий

1. Относится к «опасным веществам» в осадке сточных вод.
2. Светло-серебристый, блестящий металл. В периодической таблице химических элементов обозначается как Cd. Металлический кадмий применяется для производства батарей (никель-кадмиевых) и для нанесения гальванических защитных покрытий на металлические детали. Наибольшее количество этого металла в форме соединений кадмия применяется в качестве красящих пигментов и при производстве пластмасс (ПВХ). Кадмий скапливается в пищевой цепи в водяных организмах, а при их потреблении в пищу — и в человеческом теле. 6% принятого с питанием кадмия попадает в человеческое тело и выводится оттуда лишь частично (происходит накапливание). При продолжительной нагрузке кадмием могут возникнуть заболевания почек и – при определенных условиях – изменения костей.
3. Кадмий при высокой концентрации задерживает рост водных организмов. Соли кадмия сильно вредят водоемам и даже в крайне малых концентрациях отравляют окружающую среду. Сброс кадмия по Закону о налоге на сточные воды подлежит налогообложению. Кадмий и его соединения относятся к крайне опасным веществам.

Камерный фильтр-пресс Машина для искусственного обезвоживания осадка сточных вод.

Обтянутые фильтрующей тканью по двое фильтрующие пластины образуют камеру, которая наполняется илом и подвергается давлению. Вода выжимается из осадка и отводится по дренажным каналам на пластинах как фильтрат. После открытия

пластин путем сдвижения их друг с друга обезвоженный осадок выпадает как плотный слой. Как правило, пресс-фильтрами должно достигаться наиболее эффективное искусственное обезвоживание, чтобы фильтрат не содержал твердых веществ.

Катион Ионы, при электролизе направляющиеся к катоду, т. е. положительно заряженные ионы, например H^+ .

Кислород Химический элемент, обозначенный латинской буквой O и порядковым номером 8. Кислород — наиболее часто встречающийся элемент на Земле. Это газ без цвета и запаха, который содержится в воздухе в количестве 20,942%. Он участвует во многих процессах горения и коррозии. Большинство водяных живых существ нуждаются в кислороде для своего существования. Поэтому растворенный кислород играет важную роль для экологической стабильности водоемов.

Клеточный сок Клеточным соком называется содержащаяся в поставляемом продукте, например картофеле, вода, которая удаляется, например, при производстве картофельного крахмала.

Коагуляция Под коагуляцией понимается дестабилизация наиболее тонкодисперсных систем вплоть до коллоидных, однородный заряд которых поднимается на поверхность. Из-за однородности заряда частицы не могут сближаться и образовывать слишком большие хлопья. Путем добавления флокулянтов (например, солей железа или алюминия) добавляются противоположно заряженные ионы (противоколлоиды), которые компенсируют заряд коллоида и, таким образом, делают возможным связь хлопьев.

Количество загрязненных Дневная сумма расхода загрязненных вод, рассчитанная на количество жителей. *вод*

Количество сточных вод Привязанное ко времени количество сточных вод жителя, общины или предприятия, указанное в единицах объема на единицу времени (например, л/с, м³/ч).

Коммунальные загрязненные воды Загрязненные воды домашних хозяйств, промышленных и ремесленных предприятий.

Компостирование осадка Следующая, как правило, механизированная ступень обработки для снижения содержания воды в осадках.

Компостирование осадка Биологические методы обработки и стабилизации осадка сточных вод. Бактериальное *сточных вод* гниение (аэробное разложение твердых органических веществ) может протекать в буртах или резервуарах (т. н. биореакторах) при тем-

пературе около 65 °С. Осадок сточных вод предварительно обезвоживается до содержания воды около 70%. Наряду с аэрацией требуется добавление структурного материала для обеспечения оптимального содержания воды, равного 40-60% на емкость. Получаемый компост является гигиенически безупречным.

Конденсат выпара Конденсатом выпара называется вновь конденсируемая сточная вода после выпарной или сушильной установки.

Консумент

1. Организм, потребляющий созданные продуцентом питательные вещества; выделяют первичные, вторичные и часто третичные консументы.
2. [лат. *consumere* — потреблять]. «Потребитель», гетеротрофный организм, питающийся другими организмами или их частями.

Медленный фильтр Открытые, постоянно находящиеся в эксплуатации избыточно подпорные фильтры с зернистым фильтровальным материалом и большими поверхностями без постоянно установленного приспособления для промывки, которые эксплуатируются при очень низких скоростях фильтрации.

Мембранная методика

1. Методика удаления мельчайших частиц, вплоть до растворенных веществ, из воды при помощи фильтра, расположенного на опорном слое.
2. Мембранные методики обеспечивают тонкую очистку воды без применения химикатов; сюда относятся обратный осмос, микро- и ультрафильтрация. Обратный осмос применяется в т. ч. для обработки фильтруемой воды в хранилищах и опреснения морской воды. Ультрафильтрация применяется преимущественно для разделения эмульсий (например, для отделения масла в ваннах для мойки).

Мембранная фильтрация Методика сепарации, которая, в отличие от обычной фильтрации, позволяет отделять друг от друга молекулы различного типа. Пример: растворенная в морской воде соль может быть отделена путем мембранной фильтрации так, что можно получить питьевую воду.

Методика биопленки Биологическая очистка сточных вод, при которой расщепление органических примесей сточных вод осуществляется растущими на поверхности (несущем материале) микроорганизмами. Нарост микроорганизмов на несущем материале называется биопленкой. Расщепление происходит аэробно.

К биопленочным методикам относятся, например, орошаемые биофильтры, вращаемые погружные биофильтры, погружные реакторы с неподвижным слоем или поля фильтрации с растениями.

Методика осаждения Перевод растворимых соединений в нерастворимые путем добавления соответствующих реагентов (химикатов). Возникающий продукт осаждения может быть отделен соответствующими физическими методами.

Механическая очистка Первая ступень обработки в коммунальных очистных сооружениях. При ней имеет место *сточных вод* отделение загрязняющих веществ от сточных вод при помощи решеток, сит, песколовок и отстойников (принцип седиментации). Методом механической очистки сточных вод можно удалить из воды около 30% веществ (измеренных как БПК₅) (захваченные куски древесины, металлической и пластмассовой тары, остатки веществ, песок, минеральные вещества, фекалии). Для поддержания чистоты водоемов одной только механической очистки сточных вод недостаточно, так как при ней не удаляются взвешенные и растворенные вещества.

Модель Схематическая копия системы относительно выбранных свойств и процессов, например, водосборной площади, пространства водоема, элемента грунтовых вод.

Модель состояния Упрощенное, идеальное математическое описание протекающих в водоеме местных и *водоема* временных физических, химических и биологических процессов и взаимосвязи между ними.

Нагрузка на водоем

1. Воздействие неблагоприятных факторов на водоем. Воздействующие факторы могут иметь геогенное, биогенное или антропогенное происхождение. Чрезмерные нагрузки на водоем могут привести к ущербу для водоема.

2. Воздействия на водоем, которые ухудшают природные физические, химические и биологические свойства водоема. Что касается антропогенных нагрузок, различаются вещественные (питательных и вредных веществ из точечных и рассредоточенных источников) и невещественные (гидравлические и морфологические, а также количественные нагрузки путем забора воды) нагрузки.

Напорная аэрация Методика, при которой воздух вдувается в аэро-

тенк под давлением через трубки, фильтровальные патроны, мембранные аэраторы и др. Перенос кислорода осуществляется поднимающимися пузырьками воздуха. По размеру пузырьков различается мелко-, средне- и крупнопузырьковая аэрация.

Насыщение кислородом Наибольшее количество растворенного молекулярного кислорода (мг/л), который может содержаться в воде при равновесии между кислородом воздуха и растворенным в воде кислородом в зависимости от температуры, давления и растворенных веществ. Значение насыщения при 0 °С составляет 14,6 мг O₂/л и снижается при 20 °С до 9,1 мг O₂/л.

Неаэрируемый Биологический пруд без искусственной аэрации, в котором происходит преимущественно аэробное разложение.

Небольшое очистное сооружение Небольшие очистные сооружения являются сооружениями с несколькими камерами для обработки бытовых сточных вод с притоком загрязненной воды менее 8 м³/сут. В литературе употребительны также понятия «домашнее очистное сооружение» и «загородное очистное сооружение».

Необработанный осадок Осадок сточных вод, который еще не стабилизирован, называется необработанным осадком. Необработанный осадок также называется свежим осадком и представляет собой осадок, не прошедший обработку в водоочистной системе. Необработанный осадок склонен к кислому брожению и образованию запаха.

Неровность

1. Текущая вода затормаживается из-за трения, например, о дно потока или береговые откосы. Неровность соприкасающейся поверхности является мерой силы трения. Крупные каменные глыбы или донные пороги повышают неровность дна потока. На побережье текущая вода тормозится растительностью. Вследствие большой неровности сокращается средняя скорость потока. При сохранении оттока уровень воды повышается.

2. При расчете параметров трубопроводов и трубопроводных сетей следует различать следующие степени неровности:

- k — абсолютная неровность;
- k_s — неровность песка;
- k_r — рабочая неровность всех влияющих на потерю давления факторов.

Неровность k_i обозначает не измеряемую высоту пиков неровности в отдельной трубе или части трубопровода, а понимается как мера

гидравлических параметров всего трубопровода либо соответствующей трубопроводной сети.

Нитратное дыхание Восстановление нитрата, при котором нитрат выступает вместо молекулярного кислорода как акцептор электронов (см. также *Денитрификация*).

Нитрификатор Бактерии, которые преобразуют аммиак либо соединения аммиака путем окисления в азотистые кислоты и их соли или в азотную кислоту и ее соли.

Нитрификация

1. Окисление соединений азота при помощи бактерий до нитрита или нитрата. Окисление аммония (NH_4) автотрофными бактериями до нитрита (NO_2) и нитробактериями до нитрата (NO_3). Нитрификация осуществляется, в основном, только после максимального окисления соединений углерода и предполагает небольшую нагрузку в плане загрязнений ($<0,15$ кг БПК₅/кг СВ/сут) либо большой возраст ила, достаточный приток кислорода, а также температуру сточных вод более 10°C .

2. Окисление аммония микроорганизмами, как правило, до конечного продукта — нитрата.

Обезвоживание осадка Снижение содержания воды в осадке при помощи одной или нескольких технологий, обычно при помощи естественных или механизированных ступеней обработки.

Обезвоживание осадка Методика обработки осадка для эффективного снижения содержания воды в осадке и для *сточных вод* сокращения объема для последующих процессов по удалению (например, сушка, сжигание); обычно применяется для уже стабилизированного осадка (стабилизация осадка сточных вод). Для удаления воды преимущественно используются машинные методики: центрифуги или фильтр-прессы (например, камерные фильтр-прессы). Естественные способы обезвоживания на осушительных площадках, в иловых прудах или иловых бункерах по причине большой требуемой площади и проблем с запахом теряют значимость. В зависимости от методики содержание воды можно сократить на величину до 60%.

Обмен веществ Все химические преобразования в теле живого существа. Различаются обмен материалов (ассимиляция), при котором субстрат преобразуется в новое клеточное вещество, и обмен потребляемых веществ (диссимиляция), при котором путем окисления органических соединений добывается энергия для обмена

материалов.

Обработка осадка Подготовка осадка к применению или устранению, например путем уплотнения, стабилизации, кондиционирования, обезвоживания, сушки, дезинфекции, озонения или сжигания.

Обработка сточных вод Целенаправленное изменение состава сточных вод, например, очистка, охлаждение, нейтрализация.

Объем осадка Объемная доля содержащегося в одном литре сточных вод или смеси сточных вод с активным илом осадка за время осаждения 30 мин (мл/л).

Объемная фильтрация (Глубокая фильтрация). Процесс фильтрации, при котором отделение частиц осуществляется преимущественно не на поверхности фильтруемой среды, а в ее глубине

Одновременное осаждение Химическая методика осаждения, при которой осаждающее средство (сульфат алюминия, хлорид железа, сульфат железа) добавляется в устройство на биологической стадии.

Окисление В изначальном значении слово «окисление» указывает на реакцию, при которой вещество связывается с кислородом. Сегодня под окислением/восстановлением понимают реакцию перехода электронов в целом. Окисление — это отдача электронов.

Окисляющая способность

1. Определяется как соотношение количества вещества гидронииум-ионов, которые могут быть приняты определенной долей вещества воды до достижения определенных значений pH, и объема доли вещества.
2. Измеренное значение окисляющей способности является мерой буферной емкости воды в отношении кислот и, таким образом, отвечает за стабильность значения pH.

Опасные вещества Вещества или группы веществ, которые оцениваются как опасные из-за своей ядовитости, долговечности, способности к накоплению или своего канцерогенного, вредящего плоду или мутагенного воздействия, (см. также *Водоопасные вещества*).

Органический Образованный живыми организмами.

Орошение сточными

1. В противоположность дождеванию сточными водами, орошение имеет целью очистку *водами* сточных вод, причем почва ис-

пользуется как очиститель механического и биологического действия.

2. Сельскохозяйственное использование сточных вод.

Если имеется достаточный уклон, то сточные воды могут выходить из подводящей канавы на поле орошения и уходить вниз к более низко расположенным отводящим канавам. Если уклон недостаточен, то на орошаемом поле проводятся борозды, по которым просачивается вода.

Осадок сточных вод

1. Отделяемые от сточных вод водосодержащие вещества, исключая содержимое решеток, сит и песколовок.

2. Возникающая при механической и биологической очистке сточных вод, а также при использовании химико-физического метода смесь воды и твердых веществ. Различаются первичный, вторичный и третичный осадок. Содержание воды составляет, в зависимости от типа и происхождения осадка от 96% до 99,5%.

Осаждение Перевод растворимых соединений в нерастворимые путем добавления соответствующих химикатов. Возникающий продукт осаждения может быть отделен соответствующими физическими методами (например, седиментацией, флотацией, фильтрацией).

Осморегуляция Способность организмов активно регулировать концентрацию веществ и осмотическое значение их движения (например, крови, цитоплазмы) и таким образом постоянно оставаться независимыми от концентрации окружающей среды в известной области.

Осмоз [греч. *osmos* — выжимать]. Перемещение (диффузия) воды или другого растворяющего вещества из растворов разной концентрации через полупроницаемые стенки (полупроницаемую мембрану, т. е. проницаемую для растворяющего вещества, но непроницаемую для растворенного) для максимального выравнивания концентрации. Скорость перемещения зависит от размера частиц, температуры, разницы концентраций и размера пор полупроницаемой мембраны. В клетках животных и растений транспортировка веществ частично основана на осмосе.

Остаток после накаливания Массовая доля, остающаяся после накаливания предварительно высушенной при 105 °С пробы как минеральный остаток.

Отвод сточных вод В общем смысле – отведение сточных вод в

естественный круговорот воды. Варианты технологий:

- выпуск в водоприемник (наземный водоем — ручей, реку или озеро);
- выпуск в коммунальную систему канализации;
- сельскохозяйственное использование сточных вод;
- фильтрация или погружение;
- выпаривание и сжигание;
- транспортировка в море;
- осушение осадка сточных вод в сочетании с необходимой в большей части случаев очисткой сточных вод.

Отгонка Отгонка означает удаление летучих составляющих из жидкостей (например, легкоиспаряющихся органически связанных галогенов). Путем изменения значения рН можно отделять вещества наподобие аммиака. Обычно отгонка производится в башнях, в которых для лучшего перемешивания газообразной и жидкой фаз встроены днища или наполнители.

Охрана водоемов Охватывает все мероприятия по предотвращению загрязнения природных водоемов (принцип предосторожности) и поддержанию природной способности самоочищаться (см. *Поддержание чистоты водоемов*).

Охрана окружающей среды Защита окружающей среды от непереносимого ущерба вследствие воздействия и процесс производства продуктов, технологических процессов и услуг.

Очистка сточных вод

1. Общее обозначение всех технологий сокращения количества примесей сточных вод биологическими, химическими и (или) механическими методами.
2. Коммунальные сточные воды и сточные воды многих отраслей промышленности, которые, как правило, содержат органические примеси, в настоящее время должны подвергаться как минимум полной биологической очистке. Если сточные воды загрязнены особенно сильно или если они сбрасываются в небольшие водоемы или озера, то полных биологических методик недостаточно. Сточные воды должны в этом случае проходить «комплексную обработку» (в системах «комплексной очистки сточных вод»).

Очистка сточных вод активным илом

1. Методика биологической очистки сточных вод, при которой

сточные воды и активный *активным илом* ил аэрируются и перемешиваются. Затем активный ил отделяется во вторичном отстойнике от очищенных сточных вод и вновь направляется в аэротенк как возвратный активный ил. Часть активного ила удаляется как избыточный ил.

2. В процессе биологической очистки сточных вод протекающие в природе механизмы разложения интенсифицируются и оптимизируются. При очистке сточных вод активным илом осуществляется аэробное разложение содержащихся в сточных водах органических веществ при помощи взвешенных микроорганизмов (см. также *Методика биопленки*).

Очистное сооружение

1. Установка, в которой сточные воды очищаются физически, биологически и (или) химически.
2. Сооружение для очистки коммунальных, производственных или промышленных сточных вод.

Пакетный реактор Пакетный реактор имеет постоянный объем. У него нет ни подачи, ни отвода, поэтому речь идет о закрытой системе (исключая газообмен). Типичные пакетные реакторы — это пробирки в лаборатории.

Паразит Организм, живущий на других организмах и получающий питание или другие продукты без равноценного замещения для своего хозяина. Он может повредить хозяина нарушением функционирования его органов, разрушением клеток и лишением его важных питательных веществ, но обычно не убивает его. Получение питания от другого организма называется паразитизмом.

Пастеризация Методика нейтрализации микроорганизмов, особенно возбудителей заболеваний, или снижения их концентрации ниже определенного значения при помощи воздействия повышенных температур на протяжении достаточного времени.

Первичный осадок Осадок сточных вод, который выпадает при удалении большей частью нерастворимых веществ на механическом этапе обработки под воздействием силы тяжести (после решетки и песколовки) (осадок предварительной очистки). Он собирается при предварительной очистке после удаления в зумпфе насоса и, как правило, перемещается напрямую в метантенк. Первичный осадок состоит большей частью из органических веществ, например фекалий, овощей, фруктов, тканей, бумаги и т. п. Консистенция у него кашеобразная, с долей воды от 93 до 97%.

Песколовка

1. Сооружение для отделения мелкого щебня, песка и подобных минеральных твердых веществ из сточных вод.
2. Часть механической очистки сточных вод для удаления песка из сточных вод. Скорость потока сточных вод может составлять не более 0,3 м/с (=1,1 км/ч), чтобы могли осаждаться зерна песка и прочие материалы ($d > 0,2$ мм). Седиментация достигается сокращением скорости потока. Более легкие вещества переносятся дальше потоком. Песколовки располагаются перед насосными агрегатами и в отстойниках для предотвращения сгущений и нежелательного скопления песка.

Пиролиз

1. Физико-химический процесс, при котором органические вещества под воздействием высоких температур переводятся из твердого или жидкого состояния в газообразное. В рамках современной терминологии — без подачи кислорода (=дегазация) с целью получения пригодных для применения газов.
2. Преобразование органического материала при помощи тепла, при отсутствии кислорода или при ограниченной подаче кислорода. Методом пиролиза получают горючий газ, масло, смола и остатки твердого вещества в количествах, которые зависят от имеющегося количества воздуха, времени реакции и температуры.

Питание [греч. *trophe* — питание]. Также пропитание. Получение пищи, поступление питательных веществ, интенсивность первичного производства; биомасса и обмен автотрофных организмов.

Питательное вещество Все органические и неорганические вещества, необходимые для питания организмов, например, С, О, Н, N, S, Р и питательные соли.

Питьевая вода

1. Вода, предназначенная для потребления и использования человеком, должна соответствовать своими характеристикам качеству, определенным законами и прочими правовыми нормами. Питьевая вода является важнейшим продовольственным продуктом. Она не может быть чем-либо заменена. Основные требования к безупречной питьевой воде: отсутствие возбудителей заболеваний, отсутствие вредных для здоровья свойств, малое количество микроорганизмов, аппетитность, бесцветность, прохладность, отсутствие запаха, отсутствие неприятного привкуса, небольшое

содержание растворенных веществ. Кроме того, питьевая вода не должна вызывать чрезмерного коррозионного повреждения трубопроводной сети и должна постоянно быть доступна в достаточном количестве под достаточным давлением.

Плавающие загрязнения Отделенные от сточных вод или осадка и всплывшие твердые вещества.

1. [греч. *planktos* — блуждать]. Все мелкие живущие в воде животные (зоопланктон) и растения (фитопланктон), висящие в т. ч. при помощи движений жгутиков, специальных плавательных ложноножек или вакуолей газа. Находящийся на свету ассимилирующий фитопланктон (прежде всего, мельчайший нанопланктон размером менее 0,05 мм) является постоянной пищей для зоопланктона, а он, в свою очередь, для многих других водяных животных. 1 л морской воды содержит 3000-100 000 организмов планктона.

2. Живое сообщество пелагической области: свободно парящие в воде организмы, собственное движение которых, как правило, невелико по сравнению с движением воды, так что они пассивно сносятся течением.

Плотностный поток Поток, который по причине разницы плотностей (например, обусловленной температурой, содержанием в т. ч. взвешенных веществ, соли) возникает в воде, например, в отстойнике.

Поверхностно-активные Моющие вещества (включая мыла), которые уменьшают поверхностное натяжение воды *вещества (ПАВ)* и способствуют растворению грязи. ПАВ применяются во многих хозяйственных областях. Содержавшиеся в 50-е гг. в моющих средствах ПАВ по причине их небольшой первичной расщепляемости приводили к образованию пены в водоемах, в чрезвычайных случаях даже к пенистости питьевой воды. С момента принятия закона о детергентах (1961 г.) эта проблема решена. Однако жесткие ПАВ лишь в недостаточной мере подвержены биологическому расщеплению.

Погружной биофильтр Другое наименование вращаемого погружного биофильтра или затопляемого биофильтра.

Подача Подаваемый объем воды в емкость за единицу времени.

Обозначение в формулах: единица измерения: м³/с или л/с.

Показатель рН

1. Показатель рН является отрицательным десятичным логарифмом числового значения активности ионов водорода, представленного в моль на литр. Активность ионов водорода по причине ионного взаимодействия несколько меньше, чем концентрации. При 23 °С сумма показателя рН и показателя рОН всегда составляет 14. При таком же показателе рН и рОН, когда рН = 7, раствор нейтрален. У кислот рН < 7, у оснований рН > 7.

2. Мера концентрации ионов водорода и, следовательно, концентрации кислот в водных растворах (кислота — это вещество, которое способствует образованию ионов водорода в водном растворе). Чем меньше значение рН, тем кислее раствор.

Пример: вода с концентрацией ионов водорода 10^{-4} моль/л (либо 10^{-4} г/л) имеет показатель рН 4; с концентрацией ионов водорода 10^{-5} моль/л вода имеет показатель рН 5.

Чистая вода имеет показатель рН 7 (нейтральная точка); при более высоких показателях рН вода имеет основное соотношение (щелочь). Шкала значений рН составляет от 0 до 14. Вредное воздействие многих веществ во многом основано на их показателе рН.

Полисапробный Сильно загрязненный органическими, поглощающими кислород веществами.

Посторонняя вода Нежелательный приток в канализационной системе, например, проникающая вследствие негерметичности грунтовая вода, попадающая из-за неверного соединения дренажная или дождевая вода, либо дождевая вода, проникшая в канал сточных вод через люки.

Потеря при прокаливании

1. Массовая доля, теряющаяся после накаливания предварительно высушенных до сухой массы при 105 °С проб; соответствует органической доле сухой массы.

2. Потеря массы сухого твердого вещества после сгорания.

Потребление кислорода Расход кислорода при окислении органических примесей микроорганизмами в водоеме. Единица измерения: мг/л. См. *Биохимическое потребление кислорода*, *Химическое потребление кислорода*.

Предприятие с прямым сбросом Мелкие производства и промышленные предприятия, которые сбрасывают свои сточные *сбрасыванием сточных вод* через свою канализацию непосредственно в водоем. Для этого по Закону о регулировании водного режима требуется

разрешение органа водного надзора. Противоположность: предприятия, которые сбрасывают свои сточные воды сначала в канализацию, а затем «не напрямую» в водоем, (см. также *Предприятие с непрямым сбросом сточных вод*).

Прибрежные воды

1. Воды между береговой линией и континентальным побережьем или морская граница наземного водоема с одной стороны и граница территориальных вод (граница открытого моря) с другой.

2. Наземные воды по стороне суши от линии, на которой каждая точка находится в одной морской миле от ближайшей точки основной линии, от которой измеряется ширина территориальных вод, в некоторых случаях до внешней границы промежуточных вод.

Производственные сточные воды Сточные воды мелких предприятий (см. также *Промышленные сточные воды*).

Промывочный резервуар Земляной резервуар для окончательной обработки очищенных сточных вод, например, путем седиментации мельчайших частиц. Улучшение касается органической остаточной нагрузки, удаляемых веществ, гигиенических характеристик, в небольшом объеме удаляются питательные вещества.

Промышленные сточные воды

1. Сточные воды промышленных предприятий

2. Промышленные сточные воды с преимущественно разлагаемыми органическими примесями (например, многочисленных отраслей производства и (или) переработки продуктов питания и напитков) могут хорошо обрабатываться в биологических очистных сооружениях, а при высоких концентрациях загрязняющих веществ также в многоступенчатых системах со степенью распада до 99%. Трудно разлагаемые органические примеси (например, в сточных водах химической промышленности или переработки минеральных масел) также могут разлагаться в рассматриваемом объеме в биологических высокоэффективных очистных сооружениях, в том числе в сочетании с другими методами очистки сточных вод (например, коагуляция и осаждение, фильтрация, флотация). Особенно сильно загрязненные органическими веществами промышленные сточные воды или частичные потоки сточных вод могут обрабатываться аэробным методом (в биогазовых установках) или термически; при этом органическое

загрязнение используется для получения электроэнергии. Сточные воды с преимущественно неорганическими примесями (например, машиностроение, в т. ч. транспортное, добыча и переработка металлов, обработка металлических поверхностей) могут подвергаться химико-физическим методам обработки, при этом можно многократно восстанавливать ценные примеси, например металлы. Во многих случаях вредность и количество промышленных сточных вод можно сократить путем введения методик производства, требующих малого количества воды и, соответственно, образующих малое количество сточных вод или не образующих их, а также путем рециркуляции воды. Тепловые электростанции общественной системы энергоснабжения сбрасывают в водоемы большие объемы воды для охлаждения, как правило, напрямую.

Проточный водоем

1. Наземный водоем с постоянно или время от времени протекающей водой. *Примечание.* Общее понятие для ручьев, рек, протоков, каналов и т. п.
2. Постоянно или время от времени протекающий в русле естественный или искусственный водоем на суше.

Разбавление Смешение загрязненной воды с дождевой водой. Снижение концентрации химических веществ, которые находятся в жидкости, например, снижение концентрации загрязнений в воде при переходе через донный фильтр.

Разрешение Общее, предусмотренное Законом о регулировании водного режима одобрение на использование водоема или его частей. Отзываемый административный акт, обычно с обозначениями обязательств и срока. Отзыв должен быть обоснован и подлежит судебной проверке.

Растворенный кислород Кислород, свободно доступный в воде. Количество кислорода, растворенного в потоке, реке или озере, является признаком здорового состояния воды и ее способности поддерживать равновесную водную экологическую систему. Растворимость кислорода в воде зависит от температуры и давления.

Растворимость 1. Максимальное количество вещества, которое при определенном давлении и температуре может быть принято определенным количеством воды с образованием насыщенного раствора. 2. Разложение комплексных органических соединений на простые молекулы или ионы путем физических, химических и

(или) биологических процессов.

2. Химия: разложение органических соединений, состоящих из многих атомов на более простые при помощи биологических (например, энзимами или микроорганизмами), химических (например, длительное окисление, сжигание, преобразование) или физических (например, УФ-излучение) воздействий.

3. Биология: расщепление органических веществ при помощи микроорганизмов и мелких животных в ходе биотических процессов в присутствии (аэробное) или отсутствии (анаэробное) кислорода, либо в ходе абиотических процессов (например, гидролиз или окисление).

Редуцент

1. [destruere лат. — разрушать]. «Сократитель, минерализатор»: организм, который расщепляет органические вещества до неорганических соединений.

2. Организмы (бактерии), которые разлагают мертвое органическое вещество и продукты выделения на простые химические составляющие (минерализуют).

Резервуар предварительной очистки Отстойник, в котором от необработанных или предварительно обработанных сточных вод путём седиментации отделяется большая часть отделяемых веществ.

Рециркуляция ила Активный ил, отделенный при очистке активным илом из смеси сточной воды и активного ила во вторичном отстойнике и возвращенный в аэротенк.

Решетка Механическое устройство для задержания грубой массы веществ параллельно расположенными прутьями в очистных сооружениях. Отделяемые вещества называются содержимым решетки или сита. Различаются мелкие решетки (расстояние между прутьями 15-40 мм) и крупные решетки (расстояние между прутьями более 40 мм).

Ртуть

1. Тяжелый металл, в определенных концентрациях имеющий токсическое воздействие, учитывается при определении единиц вредности по Закону о налогах на сточные воды. По предписанию об осадке сточных вод как примесь в осадке сточных вод ограничивается при определении пригодности в сельском хозяйстве. Предельное значение — 8 мг/кг СВ.

2. Единственный жидкий при комнатной температуре металл,

имеющий меньшую электрическую проводимость, чем большинство остальных металлов. В чистом состоянии имеет металлический серебристый блеск. Пары металла вредны для здоровья (при длительном воздействии вызывают хронические нарушения: бессонницу, изменения характера, беспокойство, дрожание рук, т. н. ртутный тремор, при особенно долгих воздействиях — повреждение почек). Если не произошло существенного нарушения работы почек, то все состояния обратимы. Ртуть (Hg) при образовании амальгамы растворяет ряд металлов (ртутная амальгама). Ртуть применяется во многих областях (физические измерительные приборы, выпрямители, металлические катоды при электролизе и т. п.).

Самоочистка Процедура, при которой примеси воды отделяются или так изменяются посредством биологических, химических или физических процессов, что снижается их неблагоприятное воздействие на качество воды.

Сапробная система Способ классификации водоемов с биологической точки зрения, которая служит для оценки качества воды. В зависимости от степени загрязнения возникают характерные живые сообщества; каталог, который служит для представленных там организмов как критерий оценки для разделения водоемов по классам качества.

Сапробы [*sapros* греч. — гниющий; *bios* греч. — жизнь]. Определенные организмы, живущие в загрязненных водоемах, например, простейшие, бактерии и грибы. Сапробы постепенно разлагают органические примеси воды (минерализация) и действуют как механизм биологической самоочистки водоема.

Сельскохозяйственные загрязненные воды Загрязненные воды сельскохозяйственных предприятий.

Сжигание осадка сточных вод

1. Высокотемпературное окисление органических компонентов осадка.
2. Методика обработки осадка с целью сокращения объема и массы. Путем сжигания органическая составляющая осадка сточных вод почти полностью минерализуется, содержащиеся в осадке вредные вещества разрушаются, а неорганические вредные вещества концентрируются в остатке после сжигания и в выделяющемся газе. Различаются отдельное и совместное сжигание,

при которых осадок сточных вод сжигается вместе с остающимися отходами или с другими горючими веществами.

Система очистки сточных вод Система для очистки сточных вод, при необходимости сочетаемая с другими типами обработки сточных вод, охлаждением или нейтрализацией (см. *Очистное сооружение*).

Скорость осаждения

1. Скорость, с которой твердые вещества движутся в вертикальном направлении Обозначение в формулах: v_s , единица измерения: м/с.

2. Скорость оседания частицы в воде (м/ч или м/с) под влиянием гравитационного поля.

Скорость расщепления Время, необходимое для расщепления веществ; в зависимости от проведения испытаний оно указывается в часах или сутках. Оно может определяться в лабораториях путем испытаний на расщепление и важно для проектирования очистных сооружений.

Скорость фильтрации Объемный поток фильтрата относительно фильтрующей площади.

Сопrotивление фильтра Потеря давления, вызванная нагружением фильтрующей среды во время процесса фильтрации

Сорбция Прием одного вещества другим, с которым оно находится в соприкосновении, или прием растворимого вещества другим твердым или жидким веществом.

Стабилизация Методика перевода растворенных или отделяемых веществ в неорганические и в очень долго разлагаемые органические вещества.

Стабилизация осадка Методика обработки осадка, применяемая особенно для эффективного сокращения количества пахнущих примесей и органических твердых веществ в осадке. Желательными дополнительными целями могут быть повышение водоотделения и сокращение количества возбудителей заболеваний. Различаются аэробная и анаэробная стабилизация (гниение).

Стабилизация осадка Методика обработки осадка для эффективного разложения примесей осадка, снижения *сточных вод* количества возбудителей заболеваний либо увеличения гигиеничности и для снижения образования пахнущих веществ. Различаются методики биологической аэробной стабилизации осадка (например, компо-

стирование осадка сточных вод), биологической анаэробной стабилизации осадка (гниения) и методика двойной биологической стабилизации (аэробно-анаэробная или анаэробно-аэробная); прочие термические (сжигание, газация, пиролиз) и химические (самонагревание за счет добавления извести) методики.

Стабилизированный осадок

1. Разложенный микроорганизмами до пригодного к хранению состояния осадок сточных вод.
2. Осадок, обработанный таким образом, что достигается как минимум одна из двух основных целей стабилизации осадка.

Сточные воды

1. Вода, состоящая из какого-либо сочетания отводимой воды домашних хозяйств, промышленных и коммерческих предприятий, поверхностного стока и неучтенного притока посторонних вод.
2. Вода, изменившая свои свойства вследствие бытового, промышленного, сельскохозяйственного или другого потребления и стекающая при сухой погоде (загрязненная вода), а также стекающая и собираемая вода осадков, выпадающих на застроенных или покрытых твердым покрытием площадях (дождевая вода) (§ 2 Закона о налогах на сточные воды).

Сточные воды могут содержать множество загрязнений. Они могут быть разделены на следующие группы по нагрузке и содержанию вредных веществ:

- легкоразлагаемые органические вещества;
- трудно разлагаемые органические вещества;
- удобрения;
- соединения тяжелых металлов;
- соли и отходы тепла.

Чтобы защитить воды, необходимо путем очистки сточных вод и других мер максимально эффективно сокращать содержание вредных веществ.

3. В узком смысле загрязненная вследствие бытового, коммерческого и промышленного потребления вода, количество и состав которой сильно колеблется, а также стекающая с застроенных участков (крыши, улицы) дождевая вода, содержащая растворенные, коллоидные и твердые загрязнения. Количество сточных вод в городах колеблется в широких пределах между 50-400 л на жителя в день, потребность в пространстве для полноценного очистного сооружения колеблется между 0,5 и 2,0 м² на жителя.

Сухое вещество Вещества после удаления воды сушкой при 105 °С до постоянства массы (см. также *Сухая масса*).

Сухой остаток Доля сухой массы в общей массе осадка. Является относительной величиной. Единицы измерения: кг/кг. В противоположность содержанию сухого вещества, здесь сухой остаток считается по массе.

Сушка осадка сточных вод Методика обработки осадка для удаления из машинно обработанного осадка содержащейся в нем остаточной воды путем выпаривания и выветривания. Цель сушки — это сокращение объема и повышение теплоты сгорания для последующей термической ликвидации (сжигание осадка сточных вод). Различаются методики полной и частичной сушки, при помощи которых можно сократить содержание воды до 5-15%. Полностью высушенный осадок сточных вод может достигать теплоты сгорания 9-12 МДж/кг, что соответствует теплоте сгорания бурого угля.

Техническая вода

1. Дождевая вода или регенерированная сточная вода для использования в сливных устройствах, стиральных машинах, для орошения (не питьевая вода).
2. Сырая вода, например грунтовая или наземная вода, подготовленная различными способами согласно цели применения (например, вода для охлаждения, котельная вода).

Технологии очистки сточных вод Общее понятие для технологий, служащих для очистки сточных вод. Коммунальные сточные воды многих отраслей промышленности, которые, как правило, содержат органические примеси, в настоящее время должны подвергаться как минимум полной биологической очистке. Если сточные воды загрязнены особенно сильно или если они сбрасываются в небольшие водоемы, то полных биологических методик недостаточно. Сточные воды должны в этом случае проходить обработку в системах «комплексной очистки сточных вод».

Тип сточных вод Сточные воды разделяются по своему происхождению:

- на бытовые сточные воды;
- промышленные и коммерческие сточные воды;
- ливневые.

Токсичность Ядовитость веществ или их смесей (см. также *Опасные вещества*).

Третичный осадок Осадок, возникающий на третьей ступени очистки водоочистной станции, например, при дополнительном химическом осаждении примесей сточных вод (осаждении фосфора).

Тяжелый металл Металлы с плотностью $>4,6 \text{ г/см}^3$ либо с удельным весом >5 . Такие тяжелые металлы, как хром, никель, медь, цинк, кадмий, ртуть, свинец, находятся в окружающей среде повсеместно. С биохимической точки зрения, они частично относятся к микроэлементам. Некоторые тяжелые металлы являются важными питательными веществами для растений, например медь, цинк, марганец; другие известны только как вредные вещества, например кадмий, ртуть, свинец. Тяжелые металлы становятся проблемой для окружающей среды, если они загрязняют ее с мусором, сточными водами и отработанным воздухом.

Углеводород 1. Органические соединения, которые состоят полностью из углерода и водорода; с технической точки зрения, часть их имеет большое значение как топливо. С биологической точки зрения, частично являются трудно- или неразлагаемыми или опасными для здоровья (канцерогенными).

2. Сокращение: УВ, химическое обозначение: C_xH_y ; органическое соединение, состоящее из углерода и водорода; являются основой для всех органических соединений; низшие звенья являются не имеющими запаха горючими газами, средние — преимущественно подобные бензину и нефти жидкости, высшие — твердые вещества; различаются алифатические, ациклические и ароматические соединения. Углеводороды имеют большое значение в т. ч. как топливо или горючие вещества (природный газ, пропан, бензин, мазут и т. п.). Углеводороды применяются как сырье для химической промышленности.

Удаление фосфатов По сути, удаление фосфатов основывается на обработке осадка или на биологическом удалении фосфатов из сточных вод. Фосфаты выпадают, например, с сульфатом алюминия, хлоридом железа (III) или известью. Удаление фосфатов может проводиться одновременно с биологической очисткой сточных вод на станции аэрации (так называемое одновременное осаждение), как предварительное осаждение или в специальных резервуарах для осаждения и вторичного отстаивания (третья ступень очистки). Основа для биологического удаления фосфатов — это способность определенных штаммов бактерий принимать при

клеточном росте необходимое количество фосфора и накапливать его в форме полифосфатов. Бактерии усиленно забирают фосфор тогда, когда они подвержены быстрой смене анаэробного и аэробного состояний.

Удаление фосфора

1. Методика, при которой для удаления фосфата из сточных вод используется способность определенных строго аэробных бактерий к значительному накоплению фосфатов. Для получения энергии во время пребывания в анаэробной среде строго аэробные бактерии могут развивать способность накапливать при аэробных условиях полифосфаты в больших количествах. При анаэробных условиях эти полифосфаты снова переходят в раствор (получение энергии), и при этом скорость растворения повышается за счет присутствия (легко) разлагаемых органических веществ.

2. Во многих случаях фосфор является минимальным фактором для водоемов. Это означает, что любое увеличение количества фосфора в водоеме приводит к соответствующему увеличению биомассы. Снижением сброса фосфора в водоем можно эффективно контролировать эвтрофирование.

Снижение количества фосфора в стоках очистных сооружений имеет большое значение. Снижение концентрации фосфора достигается следующими способами:

- связыванием в биомассе и отводом избыточного ила;
- накоплением полифосфата в клетках бактерий и выводом с избыточным илом (биологическое удаление фосфора);
- химическим осаждением и отделением выпавшего осадка из сточных вод (химическое удаление фосфора).

Испытания на расщепление при помощи УФ-излучателей показали, что фосфоновые кислоты (также *Комплексообразователь*) удаляются путем фоторазложения (с железом и без него), особенно путем фотоокисления методом Фентона. Удаление также наблюдается при адсорбции. См. также *Удаление фосфатов*.

Уплотнение осадка Первая ступень методики для повышения концентрации твердого вещества в осадке путем отделения воды, например, под действием силы тяжести.

Уплотнение осадка сточных вод Методика обработки осадка для концентрации твердых веществ в осадке либо разделения твердых и жидких веществ. Применяется для сокращения объема осадка, увеличения стабильности процесса для последующих

процедур обработки осадка, а также для оптимизации затрат (меньшие емкости, насосы, транспортные расходы и т. д.). Методики уплотнения основываются на использовании естественного поля тяготения (например, статические уплотнители, ситовые реакторы, экструдеры, полосовые уплотнители, напорная флотация) или на обеспечении искусственного поля тяготения (центрифуги/декантаторы). В зависимости от методики содержание воды можно сократить до 85%.

Установка для очистки

1. Предназначена для биологической очистки сточных вод. Разлагающие загрязнения *сточных вод активным* бактерии и микроорганизмы образуют свободно висащие в воде хлопья. В этих установках в минимальном пространстве путем перемешивания и аэрации удерживается во взвешенном состоянии и обеспечивается кислородом большое количество активного ила, благодаря чему достигается быстрая очистка сточных вод путем адсорбции в хлопья активного ила и отчасти путем биохимического расщепления.
2. Установка по биологической очистке сточных вод активным илом, состоящая из аэротенков и вторичных отстойников.

Установка поверхностной аэрации Сооружение водоочистной техники для аэрации аэротенка. Приток воздуха осуществляется при помощи вращающихся, расположенных перпендикулярно к поверхности резервуара центробежных аэраторов (вращение по вертикальной оси) или расположенных горизонтально валиков, оснащенных лопастными колесами (вращение по горизонтальной оси).

Фауна Животный мир.

Фекальный осадок Возникающий при обработке сточных вод в небольших (домашних) очистных сооружениях осадок.

Фильтрация Удаление веществ из воды при переходе через зернистые или пористые материалы.

Фитопланктон Растительный, фотоавтотрофный планктон, состоящий преимущественно из микроскопически малых водорослей и бактерий.

Флокуляционный агент Вещества, при добавлении которых удаляются растворенные или очень мелко распределенные вещества.

Флокуляция При флокуляции соединяется много маленьких частиц с большими частицами при помощи длинноцепных органических

молекул. Вещества, которые вызывают подобную флокуляцию, называются вспомогательными средствами для флокуляции.

Флотация Всплывание взвешенных веществ в жидкостях при помощи прилипающих к ним пузырьков газа.

Фосфор Важный для жизнедеятельности как строительный элемент клеток, участвующий в обмене веществ. Химический символ Р, атомная масса 30,97. Фосфор является важным питательным веществом, управляющим эвтрофированием в водоемах. С коммунальными сточными водами или сельскохозяйственными включениями (жидкий навоз) он может попасть в водоемы в избыточном количестве.

В сточных водах большая часть всего фосфора находится в неорганической растворенной форме и в основном состоит из соли ортофосфорной кислоты. Помимо этого, небольшая часть фосфора представлена в виде органически связанного в растворимой и нерастворимой форме. Конденсированные фосфаты и органические фракции фосфора уже в канализационной сети и во время очистки сточных вод в значительной мере преобразуются в соль ортофосфорной кислоты.

Фосфор выделяется, прежде всего, из фекалий, а также из моющих средств в сточных водах. Благодаря законодательному ограничению содержания фосфатов в моющих средствах было достигнуто значительное снижение доли фосфора и, как следствие, концентраций фосфора в необработанных сточных водах. В настоящее время удельная доля фосфора на одного жителя составляет около 2,5 г/чел.·сут.

Химическое потребление кислорода

1. Количество растворенного кислорода (мг/л или г/м³), которое необходимо для полного окисления ХПК содержащихся в воде органических веществ. Как химический окислитель обычно применяется бихромат калия (K₂Cr₂O₇).

Для бытовых сточных вод ХПК примерно в 2 раза превышает БПК₅ (биохимическую потребность в кислороде) той же исследуемой пробы воды. Более значительные соотношения указывают на трудно расщепляемые органические вещества в сточных водах. ХПК служит также для установления налогов в соответствии с Законом о налоге на сточные воды.

2. Значение суммы всех органических веществ в воде, включая

трудно расщепляемые. ХПК указывает, сколько кислорода необходимо для полного окисления органических веществ химикатами.

Хлопьеобразование

1. Образование отделяемых хлопьев добавлением мелких частиц; процесс обычно осуществляется при помощи механических, физических, химических или биологических средств.
2. Методика подготовки питьевой воды и очистки сточных вод.
3. К воде добавляется флокуляционный агент, который образует отфильтровываемые или осаждаемые хлопья. При этом в хлопья включаются или связываются на поверхности хлопьев (адсорбируются) растворенные или очень тонко распределенные вещества.

Хлопья активного ила Образуются при очистке активным илом хлопья ила.

Хозяйственное использование водоема Все меры по предотвращению неблагоприятных изменений экологического и химического состояния водоема, а также по поддержанию и восстановлению хорошего экологического и химического состояния водоема.

Хром

1. Хром (Сг) является относительно часто встречающимся элементом и имеется в земной коре в средней концентрации 200 мг/кг. В почвах находится, как правило, от 10 до 90 мг/кг.
2. Трехвалентный хром является важным микроэлементом для человека и животных. Шестиатомные соединения хрома являются причиной аллергических и астматических реакций и являются канцерогенами.
- 3 Хром применяется в т. ч. в гальванической промышленности для отделки металлических поверхностей. Также он применяется для легирования металлов, изготовления цветных пигментов, как катализатор, для пропитки дерева и как дубильное вещество при обработке кожи.
4. Хром и соединения хрома попадают в наземные водоемы, в основном, со сточными водами хромо перерабатывающей промышленности, гальванических предприятий и кожевенных заводах. В водоемах хром находится в трех- и шестивалентной форме. При аэробных условиях хром (VI) стабилен. При анаэробных условиях он сокращается до хрома (III). При условиях окисления

также возможно преобразование хрома (III) в хром (VI). По причине образования труднорастворимых соединений хрома (III) и адсорбции хрома взвешенными веществами большая часть хрома частично связана.

5. ХПК является параметром степени загрязнения водоемов и сточных вод органическими примесями. Значение ХПК соответствует количеству кислорода, которое требуется для полного окисления содержащихся в воде органических веществ.

Хроматография Физическая и физико-химическая методика отделения и определения для качественного и количественного анализа веществ в смеси.

Цветение воды Обусловленный эвтрофированием, сильно увеличившийся рост водорослей в водоемах. Увеличение массы синезеленых, диатомовых, зеленых водорослей и т. п. в природном водоеме. Оно является следствием предшествовавшего сброса сточных вод и образования и отвода в ходе биологической очистки при минерализации органических загрязнений большого количества неорганических питательных веществ для растений, например: нитратов, сульфатов и фосфатов. Этому способствуют также высокие температуры и повышенное световое облучение. Выделения некоторых типов водорослей ядовиты, в частности, для рыб. Может быть ухудшена применимость подобного водоема для получения питьевой воды или для купания.

Центрифуга Прибор для обезвоживания осадка, в котором разделение воды из осадка и твердых веществ осуществляется под действием центробежной силы.

Циклон Прибор для очистки газа или удаления пыли из потока отходящих газов, состоящий из вертикального цилиндра, в который по касательной подается газ или воздух, так, что образуется завихрение. Крупные и мелкие частицы пыли подвергаются центробежной силе и переносятся вниз, в то время как воздух вытекает вверх. Синоним: центробежный пылеотделитель.

Число Рейнольдса Число Рейнольдса дает возможность определить параметры перехода от слоистого к вихревому потоку. Числом Рейнольдса в форме кинематической вязкости выражены гидравлически значимые свойства текущего вещества. Обозначение в формулах: Re ; единица измерения: отсутствует.

Щелочность Способность вещества нейтрализовать кислоты благодаря своему содержанию двууглекислых солей или содержанию гидроокисей. Обычно оно выражается в миллиграммах на литр в эквиваленте карбоната кальция.

Эвтрофирование

1. Обогащение как пресной, так и соленой воды питательными солями, особенно соединениями фосфора и азота, благодаря чему ускоряется рост водорослей и высших растений.
2. Обогащение питательными веществами водоема и связанный с этим чрезмерный рост водяных растений (например, водорослей, рдеста). Со сточными водами (содержащими, например, остатки моющих и чистящих средств, фекалии) и воды с сельскохозяйственных площадей (с удобрениями) в водоем могут попасть большое количество питательных веществ (прежде всего, фосфатов и нитратов) и ускорить рост водяных растений. Из-за усиленного отмирания растений при последующем разложении потребуется крайне много кислорода. Если содержание кислорода в воде ниже определенного минимального количества, то расщепление органических загрязнений аэробными бактериями прекращается. При возникающих затем благодаря анаэробным бактериям процессах разложения могут образовываться ядовитые вещества, например сероводород, аммиак или метан. Водоем начинает «приходить в упадок» (вымирание рыб и постоянный запах). Очистные сооружения прогрессивной очистки (третья ступень очистки) могут существенно сократить количество питательных веществ в водоеме.

Экосистема

1. Охватывает ограниченное в объеме жизненное пространство (например, реку или болотистую местность) и населяющее его живое сообщество (например, растения, животных).
2. Живые и неживые компоненты экосистемы связаны друг с другом всесторонне. Экосистемы обладают определенной способностью к регуляции (например, способность водоема к самоочистке); при бедствиях общий характер экосистемы меняется, ее части или вся она разрушается (например, эвтрофирование).
3. Система растений, животных и микробов с их неорганической средой и с взаимными влияниями. Экосистема является конкретной единицей с четкой структурой и функциями.

4. Функциональная единица биоценоза и биотопа, характеризующаяся вещественными, энергетическими и информационными соотношениями и обратными связями как между организмами, так и между организмами и окружающей средой.

5. Функциональная единица разных размеров, в которой организмы и их сообщества находятся во взаимной связи по природным законам со всеми факторами неживой среды. Сообщество неживых объектов, которые находятся во взаимосвязи друг с другом.

Эмиссия

1. [лат. *emittere* — выпускать, выбрасывать]. Исходящие от источника (эмитента) загрязнения воздуха, почвы и воды, шумы, вибрации, тепло, излучения и подобные явления. В толковании Федерального закона о защите от вредных выбросов — это исходящие от каких-либо устройств загрязнения воздуха, шумы, вибрации, свет, тепло, излучение и подобные явления.

2. Как эмиссии обозначаются свободно находящиеся в атмосфере вещества. Выбросы парникового газа, как правило, указываются как норма эмиссии (т/год). Эмиссии могут происходить от естественных (извержения вулканов, океаны, бури и т. п.) или антропогенных (обусловленных человеком) источников. Дополнительный парниковый эффект обусловлен эмиссиями из антропогенных источников.

Эндогенное дыхание Потребление кислорода организмами без добавления субстрата.

Эндокринное вещество Химикаты, воздействующие на гормональную систему людей и животных. Как эндокринные эффекты, например, можно рассматривать:

- изменение концентрации гормонов;
- изменение деятельности или стимулируемости эндокринных желез (эпифиза, гипофиза, поджелудочной, щитовидной, надпочечных желез и мозгового вещества надпочечников, половых желез);
- возникновение или подавление специфических гормональных воздействий. Вещества, действие которых на эндокринную систему проявляется лишь как вторичное или неспецифическое последствие других токсических воздействий, либо воз-

никают только в сочетании с другими токсическими негормональными воздействиями, не классифицируются как действительно эндокринные.

Энзимы

1. Образуемое живой клеткой органическое соединение каталитического действия, которое управляет обменом веществ в организме.

2. Ферменты, белковые вещества, которые действуют в организме как катализаторы почти всех химических преобразований, т. е. процессами обмена веществ, причем они снижают количество энергии, необходимое для проведения какой-либо реакции, и таким образом ускоряют реакцию или делают ее возможной (например, при температуре тела). Многие из 700 известных энзимов являются сложными белками с высочайшей специфичностью действия. Энзимы обычно имеют систематические названия с окончанием -аза. Первая часть названия указывает на действие энзима (например, дегидрогеназа) или обозначает гидролитически расщепляемое основание (например, амилаза).

3. Различаются основные классы:

- оксидоредуктазы;
- трансферазы;
- гидролазы;
- лиазы;
- изомеразы и лигазы.

Эффективная очистка сточных вод Методика очистки сточных вод, которая применяется дополнительно к общепринятым на сегодня механическим и биологическим этапам очистки для последующего удаления вредных веществ из сточных вод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Законодательная база

1. Федеральный закон от 10 января 2002 года №7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
2. Федеральный закон от 7 декабря 2011 года №416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении».
3. ГОСТ Р 59418-2021 «Очистка сточных, технических, поверхностных вод и фильтратов полигонов твёрдых коммунальных отходов на основе обратного осмоса».
4. ГОСТ Р 72005-2025 «Канализационные очистные сооружения. Эксплуатация. Технологический регламент эксплуатации».
5. СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. (СНиП 2.04.03-85). Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения – М.: ГУП ЦПП, 2020.
6. Справочное пособие к СНиП 2.04.03.– 85. Проектирование сооружений для очистки сточных вод // М.: Стройиздат. 1990.
7. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности // М.: Стройиздат, 1982
8. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений (СанПиН 4630-88) // М.: Минздрав СССР, 1988
9. Правила приема производственных сточных вод в систему канализации на селенных пунктах МЖКХ РСФСР. // М.: 1989
10. Правила пользования системами коммунального водоснабжения и канализации в Российской Федерации. // М.: Минстрой РФ, 1995.

Российские источники

11. Лондонг, Й Очистка промышленных сточных вод / Й Лондонг , К. Х. Розенвинкель // Веймарский университет (герм.), пер. с нем. ООО "Новый журнал"; общ. ред. Ф. В. Кармазинова, Санкт-Петербург : Новый журнал, 2012, X, 373 с. : ил. ; 29 см, ISBN 978-5-901336-16-8
12. Яковлев, С.В. Канализация / С.В. Яковлев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1987.

13. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / под ред. В.Н. Самохина. – М.: Строй издат, 1981.
14. Лукиных, А.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского / А.А. Лукиных, Н.А. Лукиных. – М.: И.Д. «БАСТЕТ», 2011.
15. Водоснабжение и сантехника. – М.: Стройиздат, 1976.
16. Алымов, В.А. Проектирование очистных сооружений городской канализации: методические указания / В.А. Алымов. – Пенза: ПИСИ, 1983.
17. Калицун, В.И. Водоотводящие системы и сооружения / В.И. Калицун. – М.: Стройиздат, 1987.
18. Курганов, А.М. Справочник. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – Л.: Стройиздат, 1986.
19. Ласков, Ю.М. Примеры расчетов канализационных сооружений / Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун. – М.: Стройиздат, 1987.
20. Ливчак, И.Ф. Охрана окружающей среды / И.Ф. Ливчак, Ю.В. Воронов. – М.: Стройиздат, 1988.
21. Лапицкая, М.П. Очистка сточных вод (примеры расчетов) / М.П. Лапицкая и др. – Минск: Высшая школа, 2007.
22. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – М.: АСВ, 2006.
23. Демура, М.В. Проектирование тонкослойных отстойников / М.В. Демура. – Киев: Будівельник, 1981.
24. Саломеев, В.П. Реконструкция инженерных систем и сооружений водоотведения / В.П. Саломеев. – М.: АСВ, 2009.
25. Водный кодекс Российской Федерации. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007.
26. Воронов, Ю.В. Водоотведение / Ю.В. Воронов [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2012.

27. Кичигин, В.И. Обработка и утилизация осадков природных и сточных вод / В.И. Кичигин, Е.Д. Палагин – Самара: Самарский ГАСУ, 2008.
28. Благоразумова, А. М. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2014. 208 с.
29. Ветошкин, А. Г. Инженерная защита водной среды: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2014. 416 с.
30. Ветошкин, А. Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2016. 304 с.
31. Емцев, В. Т., Мишустин Е. Н. Микробиология: учебник для бакалавров. М.: Юрайт, 2016. 445 с.
32. Защита поверхностных и подземных вод от загрязнения путем создания биогеохимических барьеров / А. С. Овчинников др. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2013. 472 с.
33. Зуева, С. Б., Зарцына С. С., Щербаков В. И. Экозащитные технологии систем водоотведения предприятий пищевой промышленности: учеб. пособие для вузов. СПб.: Проспект науки, 2012. 328 с.
34. Контроль состояния окружающей среды и защита от антропогенных загрязнений: учеб. пособие / Л. А. Коваленко и др.+. М.: МЭИ, 2010. 448 с.
35. Ласков, Ю. М. Примеры расчетов канализационных сооружений: учебное пособие для вузов / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун // М.: Альянс, 2014. 256 с.
36. Методология установления нормативов допустимых сбросов (НДС) вредных веществ и микроорганизмов в водный объект: монография / С. В. Косенкова и др. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2018. 128 с.
37. Москвитин, Б. А. Оборудование водопроводных и канализационных сооружений: учебник для вузов / Б. А. Москвитин и др. М.: БАСТЕТ, 2011. 296 с.

38. Овчинников А. С. Экологические основы и эффективность возделывания сельскохозяйственных культур с применением нетрадиционных органических удобрений в условиях орошения: монография. Волгоград: Нива, 2009. 236 с.
39. Павлинова, И. И. Водоснабжение и водоотведение: учебник для бакалавров / И. И. Павлинова, В. И. Бажено, И. Г. Губий // М.: Юрайт, 2013. 472 с.
40. Условия формирования поверхностного стока. Прогноз причиняемого ущерба. Компенсационные мелиоративные мероприятия: монография / В. Н. Щедрин и др. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 450 с.
41. Хлопонин, Г. В. Методы санитарных исследований. Т. I: Анализ питьевых, сточных и минеральных вод. Л.: НХТИ НТУ ВСНХ, 1928. 570 с.
42. Белов, С. В. Охрана окружающей среды / С.В. Белов // М., 1991.
43. Василенко, Л. В. Методы очистки промышленных сточных вод / Л.В. Василенко. Екатеринбург, 2000.
44. Кульский, Л. А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды / Л. А. Кульский // Киев, 1980, 336 с.
45. Липунов, И. Н. Охрана окружающей природной среды / И. Н. Липунов, Л. В. Василенко, И. Г. Первова. Екатеринбург, 2001.
46. Максимов, В. Ф. Очистка и рекуперация промышленных выбросов / В. Ф.Максимов // М., 1985, 240 с.
47. Никифоров, А. Ф. Природопользование и охрана окружающей среды / А. Ф. Никифоров, И. Н. Липунов, Л. В. Василенко // Екатеринбург, 2007.
48. Малкин, В. П. Электрохимические методы очистки промышленных сточных вод / В.В. Малкин // М., 2002, 120 с.
49. Никифоров, А. Ф. Теоретические физико-основы химических процессов очистки воды / А. Ф. Никифоров, И. Г. Первова, И. Н. Липунов, и др. // Екатеринбург, 2008.
50. Родионов, А. И. Очистка и рекуперация промышленных выбросов / А.И. Родионов. М., 1989.

51. Родионов, А. И. Технологические процессы экологической безопасности / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, В. Г. Систер. Калуга, 2000.
52. Родионов, А. И. Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов: уч. пособие/ А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, В.В. Зенков, Г.С. Соловьев. М., 1985.
53. Черкинский, С. Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы учебник / С. Н. Черкинский. М., 1977.
54. Хенце, М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. М., 2004.

Зарубежные источники

55. A. Koppe und A. Stozek. Kommunales Abwasser. Vulkan Verlag, Essen, 1993.
56. D. Moser. Interpretation von chemischen Analysedaten und Überprüfung ihrer Plausibilität. Wiener Mitteilungen, Band 110, 1993.
57. P. J. Roeleveld und J. Kruit. Richtlinien für die Charakterisierung von Abwasser in den Niederlanden. Korrespondenz Abwasser, 45. Jhrg. (Heft 3), 1998.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хенце, М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. М., 2004.
2. Халтурина, Т. И. Очистка сточных вод промышленных предприятий / Т. И. Халтурина ; Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2014, 128 с.
3. Василенко, Л. В. Методы очистки промышленных сточных вод / Л. В. Василенко. Екатеринбург, 2000. 160 с.
4. Лондонг, Й. Очистка промышленных сточных вод : монография / Й. Лондонг, К. Х. Розенвинкель ; Веймарский ун-т (герм.) ; пер. с нем. ООО "Новый журнал" ; общ. ред. Ф. В. Кармазинова. – СПб. : Новый журнал, 2012. 373 с. ISBN 978-5-901336-16-8.

Учебное электронное издание

БОРИСОВ Борис Никитович
МАРКОВ Никита Алексеевич
СТАРИКОВ Альберт Николаевич

МЕТОДОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Системные требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader; дисковод DVD-ROM.

Тираж 9 экз.

Издательство Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.