

### 17.10.5. Разрешение на сброс очищенной воды без обеззараживания

Число ситуаций, в которых выдается разрешение на сброс очищенных стоков без обеззараживания, весьма ограничено. Каждый такой случай рассматривается отдельно. Любая заявка на разрешение сброса без обеззараживания рассматривается особо, и разрешение выдается в зависимости от места сброса, качества очищенных стоков, вероятности контакта человека со сбросами предприятия и многих других факторов.

## 17.11. Третичная очистка (доочистка) сточных вод

Передовые технологии водоочистки — это методы и процессы, позволяющие удалять из сточных вод большее количество загрязнителей (взвешенных и растворенных) по сравнению с количеством, удаляемым с помощью традиционной биологической очистки. Иначе говоря, передовые технологии водоочистки — это системы и процессы, следующие за вторичной обработкой или включающие удаление фосфора либо нитрификацию в технологию традиционной вторичной обработки.

Передовые технологии водоочистки дополняют традиционную вторичную обработку, поскольку она, как правило, позволяет снижать БПК и суммарные взвешенные твердые вещества (*TSS*), содержащиеся в неочищенных канализационных стоках, лишь на 85–95%. Обычно это означает, что БПК и *TSS* во вторичном очищенном потоке не превышают 30 мг/л. Этот уровень БПК и *TSS* в сточной воде, прошедшей вторичную очистку, не всегда обеспечивает соответствие высоким стандартам качества воды, и предприятие может не получить разрешения на сброс таких очищенных стоков. В этом случае для дополнительного удаления загрязнителей из очищенных стоков применяются технологии третичной очистки (доочистки сточных вод).

Кроме задачи обеспечения соответствия стандартам качества воды, предприятия доочистки прибегают к третичной очистке и по другим причинам. Например, иногда традиционной вторичной обработки стоков оказывается недостаточно для того, чтобы защитить водную среду. Так, в ручьях при периодических колебаниях потока, обусловленных погодными явлениями, степень разведения сбросов оказывается недостаточной для поддержания уровня растворенного кислорода, необходимого для выживания водных организмов.

У вторичной очистки есть ряд ограничений. Она не позволяет существенно снижать концентрации азота и фосфора (важные биогены, необходимые для питания растений) в очищенных сточных водах. Избыточное количество биогенов может стимулировать чрезмерное разрастание растений и водорослей в резервуарах предприятия водоочистки, что приводит к снижению качества воды. Если такие стоки сбрасывают, например, в озера, это может вызвать цветение воды и ускоренную эвтрофикацию. Кроме того, азот, содержащийся в сточных водах, может присутствовать большей частью в форме аммонийных соединений, а в достаточно высоких концентрациях соединения аммония токсичны для водных организмов. Еще одна проблема заключается в том, что эти соединения по мере превращения в нитраты придают сточным водам такое свойство, как *потребность в азотистом кислороде*. Этот процесс называется *нитрификацией*.

**Примечание.** Термин «третичная обработка» используется обычно как синоним термина «доочистка сточных вод», тем не менее, эти понятия не вполне идентичны. Третичная очистка подразумевает третий этап обработки, проводимый после первичной и вторичной очистки.

Доочистка сточных вод позволяет удалить из необработанных отходов более 99% загрязнителей и получить очищенный поток, близкий по качеству к питьевой воде. Однако, очевидно, что доочистка — дорогостоящее мероприятие. Стоимость доочистки — эксплуатации и технического обслуживания оборудования с учетом модификации традиционных технологий — очень высока (иногда она вдвое превышает стоимость вторичной обработки). Намерение внедрить технологию доочистки должно быть серьезно обосновано, так как соотношение пользы и затрат не всегда оправдывает дополнительные расходы.

Даже с учетом стоимости технологий применение некоторых видов третичной обработки не является редкостью. Процесс обработки может быть физическим, химическим или биологическим. Выбор конкретной технологии зависит от цели обработки и желательного качества очистки стоков.

### 17.11.1. Химическая обработка

Целью химической обработки является снижение уровня (удаление):

- 1) биохимической потребности в кислороде (БПК);
- 2) суммарного содержания взвешенных твердых частиц (*TSS*);
- 3) фосфора;
- 4) тяжелых металлов;
- 5) других веществ, которые можно химическим путем преобразовать в осаждаемые твердые вещества.

Химическая обработка зачастую проводится в дополнение к очистке в существующих системах или при помощи специального оборудования, предназначенного для обработки химическими реагентами. Во всех случаях основная технология, направленная на достижение желательных результатов, остается одинаковой в основном, а именно:

- 1) химические реагенты тщательно смешивают со сточными водами;
- 2) в ходе химических реакций образуются твердые вещества (коагуляция);
- 3) твердые вещества перемешивают для увеличения размеров частиц (флокуляция);
- 4) твердые вещества выводятся путем осаждения или фильтрации.

Выбор конкретного химического реагента определяется природой удаляемого загрязнителя и характеристиками сточной воды. Можно использовать следующие химикаты:

- 1) известь;
- 2) алюм (сульфат алюминия);
- 3) соли алюминия;
- 4) соли двух- или трехвалентного железа;
- 5) полимеры;
- 6) биологические добавки.

#### **Оперативные наблюдения, проблемы и поиск неисправностей**

Управление процессом и порядок наблюдения за эффективностью очистки зависят от удаляемого загрязнителя и схемы водоочистки. Оперативные проблемы, возникающие

в процессе третичной химической очистки, обычно связаны с образованием флокулятов, параметрами оседания, удалением осадка из резервуара-отстойника и появлением у активного ила (в резервуаре-отстойнике) анаэробных свойств. Для коррекции этих нарушений оператор должен уметь распознавать проблемы по соответствующим индикаторам в ходе тщательного наблюдения. В табл. 17.11 перечислены основные признаки сбоев процесса вместе с возможными причинами нарушений и корректирующими действиями.

Таблица 17.11

**Признаки и причины проблем, возникающих в процессе химической обработки, и корректирующие действия**

Признак	Причина	Корректирующие действия
Неэффективная флокуляция и плохое оседание	Недостаточное поступление химического реагента при перемешивании	Увеличить скорость перемешивания
	Избыточное время удерживания в блоке быстрого перемешивания	Сократить время удерживания до 15–60 с
	Неправильное дозирование коагулянта	Отрегулировать дозирование (подобрать в процессе лабораторного испытания)
	Избыточная скорость перемешивания	Уменьшить скорость перемешивания
Хорошее образование флокулятов при затрудненном удалении их из резервуара-отстойника	Избыточная скорость процесса между флокуляцией и осаждением	Снизить скорость до приемлемого уровня
	Сбой в работе резервуара-отстойника	Отрегулировать процессы в резервуаре-отстойнике
Среда в резервуаре-отстойнике становится анаэробной	Образование слоя взвешенного активного ила (иловой подушки) в отстойнике	Повысить скорость откачки ила из отстойника
	Избыточное поступление органических веществ из потока после вторичной очистки	Отрегулировать технологические операции вторичной очистки

### 17.11.2. Микрофльтрация

*Микрофльтрация* — технология доочистки, применяемая для уменьшения содержания взвешенных частиц. Фильтрующим материалом в микрофилт্রে является тканая сетка, изготовленная из стальной проволоки с особым переплетением, размещенная по периметру большого вращающегося барабана. Стальная ткань представляет собой тонкую фильтрующую перегородку с отверстиями размером 20 мкм. Такие отверстия достаточно малы для того, чтобы отделять микроскопические организмы и фрагменты мусора. Вращающийся барабан частично погружен во вторичный фильтрат, который попадает в барабан и вытекает через сетчатый микрофилтър. При вращении барабана захваченный твердый осадок смывается компактной струей воды в отводной желоб или поддон, установленный на полой оси барабана. Твердый осадок после обратной промывки возвращается в поток воды, поступающей на очистку. Такие модули нашли широкое применение при

обработке промышленных стоков и доочистке потоков очищенных сточных вод. Ожидаемая эффективность процесса удаления взвешенных твердых частиц составляет от 95 до 99%, однако типичный уровень удаления взвешенных частиц в модулях такого типа составляет около 55%. Нормальный диапазон составляет от 10 до 80%.

Согласно [Metcalf & Eddy, 2003], при разработке конструкции модуля микрофильтрации следует принимать во внимание следующие соображения: 1) модуль должен соответствовать характеристикам взвешенных частиц (концентрации и степени флокуляции); 2) параметры конструкции должны обеспечивать не только пропускную способность фильтра, соответствующую максимальным гидравлическим нагрузкам при критических характеристиках твердых частиц, но и желательную эффективность очистки в ожидаемом диапазоне гидравлических нагрузок и нагрузок по содержанию твердых веществ; 3) для сохранения производительности необходимо установить приспособления для обратной промывки и очистки микрофильтра.

#### **Оперативные наблюдения, проблемы и поиск неисправностей**

В обязанности операторов установок для микрофильтрации входит отбор и анализ проб на содержание *TSS* во входящих и очищенных потоках и мониторинг работы установки для микрофильтрации. Проблемы функционирования установки, как правило, заключаются в постепенном снижении пропускной способности установки, наличии протечек на входе и выходе из барабана, снижении производительности фильтра, разогреве или избыточном шуме системы приводов, нарушении вращения барабана и неожиданном повышении содержания твердых веществ в очищенном стоке (табл. 17.12).

Таблица 17.12

#### **Признаки и причины проблем, возникающих при микрофильтрации, и корректирующие действия**

Признак	Причина	Корректирующие действия
Снижение пропускной способности (из-за образования слизи)	Неправильная очистка	Увеличить давление при обратной промывке (60–120 <i>psi</i> ); добавить в поток гипохлорит
	Засорение распылительной насадки	Прочистить насадку
Снижение эффективности из-за протечек в барабане	Дефекты (протечки) в модуле	Усилить уплотнение на герметизирующих прокладках; заменить герметизирующие прокладки при необходимости приложения дополнительного напряжения
Снижение пропускной способности фильтра после простоя	Засорение фильтра	Очищать фильтр перед отключением; очистить фильтр гипохлоритом
Разогрев или избыточный шум приводной системы	Неправильная смазка	Заполнить до требуемого уровня рекомендуемым маслом
Колебания скорости вращения барабана	Неправильная отладка приводных ремней	Отрегулировать напряжение (натяжение) приводных ремней до рекомендуемого уровня
	Износ приводных ремней	Заменить приводные ремни

Окончание табл. 17.12

Признак	Причина	Корректирующие действия
Внезапное повышение содержания твердых веществ в фильтрате	Отверстие в металлической сетке	Заменить металлическую сетку
	Ослабление гаек, закрепляющих металлическую сетку	Затянуть гайки
Снижение эффективности микрофильтрации после промывки под высоким давлением	Перелив потока, содержащего скопившиеся частицы	Снизить скорость входящего потока
	Образование пленки окислов марганца и железа на металлической сетке микрофильтра	Очистить микрофильтр ингибированным кислотным очистителем; следовать указаниям производителя

### 17.11.3. Фильтрация

*Фильтрация* в процессе доочистки предназначена удалять взвешенные твердые вещества. Операции, связанные с конкретной системой фильтрации, зависят от задействованного оборудования. Далее представлено общее описание процесса.

#### Описание процесса фильтрации

Поток сточных вод попадает на фильтр (под действием гравитации или под давлением). Наполнитель фильтра может быть однокомпонентным, двухслойным или многослойным. Сточные воды просачиваются через фильтрующую среду, при этом происходит отделение твердых веществ, которые остаются на фильтре. При периодической обратной промывке фильтра происходит удаление захваченных твердых частиц. Затем твердые частицы, удаленные с фильтра при обратной промывке, возвращаются на водоочистные сооружения для обработки. Технология позволяет удалять от 95 до 99% взвешенных материалов.

#### Оперативные наблюдения, проблемы и поиск неисправностей

Операторы ведут рутинный мониторинг работы фильтра для достижения оптимальной эффективности процесса и выявляют сбои с помощью различных признаков неисправности оборудования и недостаточной эффективности технологии. Типичные проблемы, возникающие при использовании фильтров, перечислены в табл. 17.13

Таблица 17.13

#### Признаки и причины проблем, возникающих в процессе фильтрации, и корректирующие действия

Признак	Причина	Корректирующие действия
Высокая мутность фильтрата	Необходима обратная промывка	Провести обратную промывку как можно быстрее
	Неадекватная предварительная химическая обработка	Отрегулировать дозирование химических реагентов и строго его контролировать
Высокая потеря напора при прохождении жидкости через фильтр	Необходима обратная промывка	Провести обратную промывку как можно быстрее

## Продолжение табл. 17.13

Признак	Причина	Корректирующие действия
Высокая потеря напора при прохождении жидкости через фильтр после обратной промывки	Недостаточная длительность цикла обратной промывки	Увеличить длительность цикла обратной промывки
	Не работала система воздушной и поверхностной промывки	Отремонтировать промывочную газодувку или систему поверхностной промывки
Расход воды на обратную промывку превышает 5%	Избыточное содержание твердых веществ в подаваемом на фильтр потоке	Улучшить обработку, предшествующую фильтрации
	Избыточное количество вспомогательного фильтрующего материала	Снизить количество вспомогательного фильтрующего материала и затем его контролировать
	Не работает система воздушной и поверхностной промывки	Устранить механическую проблему
	Недостаточная длительность работы системы воздушной и поверхностной промывки в течение цикла обратной промывки	Увеличить длительность цикла поверхностной промывки
	Избыточная длительность цикла обратной промывки	Отрегулировать длительность цикла обратной промывки
Засорение поверхности фильтра	Недостаточная очистка на предыдущем этапе (однослойный фильтр)	Усилить очистку на предыдущих этапах; заменить однослойный фильтр двухслойным или смешанным фильтром
	Избыточное количество вспомогательного фильтрующего материала (двухслойный или смешанный фильтр)	Уменьшить количество вспомогательного фильтрующего материала или отказаться от его применения
	Неадекватная поверхностная промывка	Отрегулировать операцию поверхностной промывки
	Неэффективная обратная промывка	Отрегулировать цикл обратной промывки
Короткий цикл работы фильтра	Большая потеря напора	См. «Засорение поверхности фильтра»
Быстрое возрастание мутности фильтрата	Недостаточное количество вспомогательного фильтрующего материала	Увеличить дозу химического реагента
	Механическая неисправность системы фильтрования	Отремонтировать систему
	Изменилась потребность во вспомогательном материале	Подобрать правильную дозу вспомогательного фильтрующего материала (в лабораторном испытании)

Окончание табл. 17.13

Признак	Причина	Корректирующие действия
Образование глинистых шариков	Неэффективная обратная промывка	Увеличить скорость обратного потока до рекомендуемого уровня
	Неэффективная поверхностная промывка	Увеличить длительность цикла поверхностной промывки
Вымывание гравия	Попадание воздуха в подстилающий слой фильтра во время обратной промывки	Контролировать объем воды при обратной промывке; контролировать напор при обратной промывке; заменить фильтрующую среду (при значительном вымывании)
Вымывание фильтрующей среды	Избыточная скорость потока при обратной промывке	Снизить скорость потока
	Избыточная вспомогательная промывка (продувка)	Остановить вспомогательную промывку (продувку) за несколько минут до окончания цикла обратной промывки
	Прикрепление пузырьков воздуха к элементам фильтрующей среды, вызывая их всплытие	Увеличить частоту обратных промывок для предотвращения образования пузырьков воздуха и/или поддерживать максимальную рабочую глубину слоя воды над фильтрующей поверхностью
Неэффективность обратной промывки в теплую погоду	Снижение вязкости из-за высокой температуры	Увеличить скорость обратного потока до достижения требуемого расширения фильтрующей подушки
Ранняя потеря напора из-за закупорки воздухом	Образование пузырьков воздуха при давлении меньше атмосферного в потоке с высоким содержанием растворенного кислорода	Увеличить частоту обратных промывок
	Падение давления при переходе к циклу обратной промывки	Поддерживать максимальную рабочую глубину водного слоя

#### 17.11.4. Биологическая нитрификация

Биологическая *нитрификация* — первый основной этап процесса *биологической нитрификации–денитрификации*. В процессе нитрификации вторичный эфлюент поступает в другой аэротенк, на капельный или дисковый биологический фильтр. Поскольку большая часть углеродного БПК уже удалена, в процессе доочистки участвуют нитрифицирующие бактерии *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. При нитрификации аммонийный азот превращается в нитратный, в результате образуется *нитрифицированный эфлюент*. В этой точке процесса азот еще не удален, а только переведен в форму, нетоксичную для водных организмов и не вызывающую повышение потребления кислорода. Эффективность нитрификации может быть ограничена щелочностью водной среды (требуется 7,3 части щелочности на 1,0 часть аммонийного азота), pH, доступностью растворенного кислорода, токсичностью (наличием аммония или других токсичных материалов),

а также временем удерживания ила в резервуаре (усредненным временем пребывания). Общей закономерностью является повышение эффективности биологической нитрификации и достижение более высокого уровня очистки в теплое время года.

#### **Оперативные наблюдения, проблемы и поиск неисправностей**

В обязанности оператора входит мониторинг процесса нитрификации и внесение соответствующих корректив. Оператор должен уметь распознавать такие типичные проблемы, как вынос твердых веществ из резервуара-отстойника, из вращающегося биологического контактора (*RBC*) или из капельного биофильтра, и предпринимать корректирующие действия. Чтобы принять правильное решение в такой ситуации, оператор должен знать устройство и принципы функционирования систем очистки активным илом, контакторов *RBC* и капельных биофильтров. Также оператор должен распознавать другие проблемы, возникающие в процессе нитрификации, и вносить соответствующие коррективы в ход процесса. Типичные проблемы и рекомендуемые корректирующие действия перечислены в табл. 17.14.

Таблица 17.14

#### **Признаки и причины проблем, возникающих в процессе биологической нитрификации, и корректирующие действия**

Признак	Причина	Корректирующие действия
Снижение pH и скорости нитрификации	Недостаточна щелочность, необходимая для течения процесса	Если щелочность меньше 30 мг/л, добавить известь или гидроксид натрия для обработки входящего потока
	В обрабатываемый поток попали кислотные отходы	Выявить источник и контролировать попадание кислотных отходов
Неполная нитрификация	Процесс лимитирован содержанием растворенного кислорода и температурой реакционной среды	Увеличить скорость аэрации
	Возросла нагрузка по азоту во входящем потоке	Снизить нагрузку по азоту; увеличить популяцию нитрифицирующих бактерий; запустить дополнительные модули обработки; модифицировать технологические операции для увеличения уровня удаления азота
	Снизилась популяция нитрифицирующих бактерий в технологической среде	Снизить скорость удаления отходов или твердых частиц; добавить сырой сточной воды после осаждения в модуль нитрификации для увеличения количества биологических твердых отходов
Очень высокое значение <i>SVI</i> нитрифицированного ила (> 250)	Часовые максимумы концентраций аммония превышают поступление доступного кислорода	Увеличить подачу кислорода; установить систему уравнивания расхода для минимизации пиков
	Нитрификация происходит на первой стадии (снижение БПК)	Переместить ил с первой стадии на вторую; проводить первую стадию процесса при более низком отношении <i>MCRT/SRT</i> (среднее время удерживания частиц/время удерживания ила)



### 17.11.5. Биологическая денитрификация

В процессе *биологической денитрификации* происходит удаление азота из сточных вод. Когда бактерии вступают во взаимодействие с нитрифицированными веществами в отсутствие кислорода, они восстанавливают нитраты до газообразного азота, который выделяется из стоков. Процесс денитрификации проводится либо в системе очистки активным илом в условиях дефицита кислорода (в реакторе с суспензионной культурой) или в реакционной колонне (с фиксированной культурой). Денитрификация позволяет удалить более 85% азота. После эффективной биологической обработки в очищенных стоках, поступающих на этап денитрификации, остается лишь небольшое количество веществ, обуславливающих потребление кислорода. Денитрификация произойдет лишь в той системе, где существует потребность в кислороде при отсутствии растворенного кислорода в водной среде. Обычно для быстрого восстановления нитратов в систему вводят источник потребления кислорода. Чаще всего таким источником являются растворимые вещества, обладающие БПК, или метанол. На каждый 1 мг/л нитратного азота добавляют приблизительно 3 мг/л метанола. В реакторах денитрификации с суспензионной культурой перемешивание осуществляется механически с интенсивностью, достаточной лишь для того, чтобы предотвратить оседание биомассы, — без добавления нежелательного кислорода. Для денитрификации также можно использовать погружные фильтры с различными наполнителями. Иногда для денитрификации с одновременной фильтрацией стоков используют фильтры тонкой очистки нисходящего потока. Кроме того, существуют технологии с применением псевдоожиженного слоя песка, где поток сточных вод движется вверх через слой фильтрующей среды, состоящей из песка или активированного угля со скоростью, достаточной для достижения псевдоожиженного состояния фильтрующего слоя. На среде разрастаются колонии бактерий денитрификации.

#### Оперативные наблюдения, проблемы и поиск неисправностей

Оператор ведет мониторинг процесса денитрификации, отслеживая значения различных параметров, которые могут указывать на сбой в ходе процесса или недостаточную эффективность, требующую корректирующих действий. В табл. 17.15 перечислены некоторые признаки, свидетельствующие о снижении эффективности процесса, их возможные причины и корректирующие действия.

Таблица 17.15

#### Признаки и причины проблем, возникающих в процессе биологической денитрификации, и корректирующие действия

Признак	Причина	Корректирующие действия
Внезапное увеличение БПК <sub>5</sub>	Повышенное содержание метанола или других органических соединений	Уменьшить дозу метанола; установить автоматизированную систему контроля содержания метанола; установить модуль аэрационной стабилизации для удаления избытка метанола
Внезапное увеличение концентрации нитратов в очищенном потоке	Неадекватный контроль содержания метанола	Идентифицировать и отрегулировать систему контроля

Окончание табл. 17.15

Признак	Причина	Корректирующие действия
	pH реакционной среды в процессе денитрификации выходит за границы требуемого диапазона (7,0–7,5)	Отрегулировать pH в процессе нитрификации; отрегулировать pH во входящем потоке; отрегулировать возврат денитрифицированного ила; увеличить скорость выхода отработанного ила; уменьшить скорость выхода отработанного ила
	Неисправность насоса приводит к потере твердых веществ из модуля денитрификации	Переместить ил из модуля обработки углем в модуль денитрификации
	Чрезмерная интенсивность перемешивания приводит к введению в систему растворенного кислорода	Снизить скорость перемешивания; отключить несколько смесителей
Высокая потеря напора (нитрификация в фильтрующем слое)	Избыточное количество твердых веществ в модуле	Обратная промывка в течение 1–2 минут, затем продолжение работы
	В модуле накапливается газообразный азот	
Агрегация фильтрационного слоя в остановленном модуле	В период отключения над фильтрующим слоем плавали твердые вещества	Обратная промывка модулей перед запуском после сервисного обслуживания и непосредственно перед передачей на техническое обслуживание

### 17.11.6. Адсорбция активированным углем

Основная цель *адсорбции активированным углем* — удаление органических веществ, не поддающихся биологическому разложению (не связанных с БПК<sub>5</sub>), и растворимых органических материалов, которые трудно удалить путем биологической или физико-химической очистки. В процессе адсорбции активированным углем поток сточных вод перемещается через контейнер, заполненный угольным порошком или угольной суспензией. Органические вещества поглощаются поверхностью угля (т. е. связываются с его поверхностью и удерживаются на ней) при достаточном времени контакта. Система угольной адсорбции обычно включает несколько колонн или резервуаров-контакторов. Большинство контактных камер являются открытыми герметичными системами гравитационного типа, изготовленными из бетона или стали, способными функционировать в режиме восходящего и нисходящего потоков. Со временем адсорбционная емкость угля снижается. После этого необходимо провести регенерацию угля или заменить отработанный уголь свежим. При нарастании потери напора в угольных контакторах их очищают методом обратной промывки чистым фильтратом — в основном так же, как очищают обычные проточные фильтры. Уголь, используемый в процессе, должен быть гранулированным или порошкообразным.