

. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Целесообразность биологической очистки производственных сточных вод определяется наличием в них загрязняющих веществ, способных к биохимической деструкции. В отличие от бытовых сточных вод, для которых при полной биологической очистке стабилизируются органические вещества, при очистке производственных сточных вод параллельно решаются вопросы биохимической деструкции неорганических примесей.

Самым простым критерием оценки биоокисляемости органического вещества служит экспериментальное определение ВПК. Если ВПК определена (т. е. происходило потребление кислорода), вещество относят к категории окисляемых, если же ВПК оказывается равной нулю (за длительный период инкубации проб - более 5 сут) - к категории биологически неокисляемых. Однако более достоверные данные могут быть получены только в результате прямого эксперимента, проводимого в модели очистного сооружения, условия работы которого максимально моделируют натурное сооружение. В технике очистки сточных вод к категории биологически неокисляемых отнесено большое число веществ, но это не всегда означает принципиальную невозможность микробиологического окисления. Много чаще биологическое окисление оказывается возможным, но проходит с такими ничтожно малыми скоростями и требует столь длительной адаптации, что практически в условиях работы очистных сооружений окисление не наблюдается.

Все вещества биологического происхождения могут быть окислены, и каким бы сложным ни было вещество, в природе всегда найдется микроорганизм, способный его расщепить полностью или частично. В связи с этим биологическое окисление примесей бытовых сточных вод (за исключением некоторых ПАВ), несмотря на их сложность, естественным образом включено в общий биологический круговорот биосферы. И задачей в очистке бытовых сточных вод является лишь интенсификация окислительных процессов, доступных природным механизмам биосферы. В отличие от бытовых сточных вод, имеющих достаточно постоянный состав, характер загрязнений в производственных сточных водах чрезвычайно разнообразен. Микроорганизмы очистных сооружений не всегда могут справиться с производственными загрязнениями новых видов, особенно если эти загрязнения по составу слишком отличаются от естественных. В этом случае надежда возлагается на мощные адаптационные свойства биоценозов сооружений. Многие виды бактерий способны индуцировать новые специфические ферментные системы, что позволяет расширить круг веществ, вовлекаемых в окислительные процессы.

Для оценки степени загрязненности производственных сточных вод применяют те же показатели (ХПК и БПК), что и для оценки загрязненности бытовых вод. Однако в дополнение к ним определяют и отдельные вещества или группы веществ, являющиеся специфическими примесями тех или иных производственных сточных вод. К числу их относятся, например, фенолы, СПАВ, нефтепродукты, летучие жирные кислоты и т. д.

Одним из основных показателей производственных сточных вод является отношение БПК/ХПК. Для бытовых сточных вод это отношение составляет примерно 0,86, а для производственных оно изменяется в очень широких пределах: от 0 до 0,9. Сточные воды с низким отношением БПК/ХПК, как правило, содержат токсичные примеси, предварительное извлечение которых может повысить это отношение, т. е. обеспечить возможность биохимического окисления. Для некоторых видов сточных вод предварительное отстаивание и реагентная обработка могут значительно изменить соотношение этих величин. Например, для сточных вод от мокрых пылеуловителей заводов первичной обработки льна отстаиванием с коагуляцией удается повысить отношение БПК₅/ХПК с 0,18 до 0,37.

Производственные сточные воды существенно отличаются от бытовых и диапазоном концентраций органических веществ: от десятков миллиграммов до десятков граммов на 1 л.

Особенностью многих видов производственных сточных вод является наличие в них веществ с резко различающимися скоростями окисления. При этом в зависимости от характера этих веществ окисление их может происходить одновременно или последовательно. В первом случае время окисления зависит от скорости деструкции медленно окисляющегося вещества во втором - от суммарной продолжительности окисления каждого вещества. В реальных условиях, когда в сточных водах присутствуют многие вещества, обычно наблюдаются оба варианта окисления и продолжительность окисления зависит от суммарного времени, необходимого для каждой группы веществ, и от соотношения концентраций и скоростей окисления отдельных веществ в каждой группе.

Биологическая очистка производственных сточных вод принципиально не отличается от очистки бытовых, но имеет ряд особенностей, обусловленных составом и режимом отведения производственных стоков.

Первое отличие связано с необходимостью предварительной подготовки сточных вод с целью усреднения их состава и расхода, нейтрализации, повышения отношения БПК/ХПК, биогенной подпитки. Второе отличие состоит в необходимости применения

двух, а иногда и многоступенчатых схем биологической очистки, что обусловлено высокими концентрациями загрязняющих веществ и разными скоростями окисления компонентов производственных сточных вод.

Кроме того, при очистке производственных сточных вод гораздо чаще, чем для бытовых и городских сточных вод, наблюдается вспухание активного ила. В связи с наличием в производственных стоках различных примесей, снижающих поверхностное натяжение жидкости, аэрация часто приводит к пенообразованию.

Биологический метод применяют и для очистки производственных сточных вод от неорганических примесей, главным образом аммиака, нитритов, сульфидов. Автотрофное окисление аммиака и нитритов в процессе нитрификации обычно используют в совокупности с последующим гетеротрофным восстановлением нитратов в процессе денитрификации.

Сероводород и сульфиды достаточно легко окисляются тионовыми бактериями различных видов и серобактериями до сульфатов, но являются токсичными соединениями для других групп микроорганизмов. В силу этого при очистке сточных вод, содержащих кроме сульфидов другие вещества, подлежащие окислению, концентрация сульфидов должна быть ограничена.

Особую группу составляют производственные сточные воды, не содержащие органических примесей и загрязненные окисленными соединениями азота, хрома, серы, хлора и т. д. На сегодняшний день практическое применение нашли процессы биохимического восстановления нитратов, хроматов и хлоратов с переводом этих соединений соответственно в молекулярный азот, гидроксид Cr^{+3} и хлориды. Процесс восстановления протекает сопряжено с окислением органических субстратов, в качестве которых используют бытовые и производственные стоки или избыточный ил. В результате такого варианта очистки от кислородсодержащих соединений достигается двойной эффект: детоксикация неорганических соединений и окисление органических примесей сточных вод без затрат на подачу кислорода.

На очистных сооружениях промышленных предприятий возможно применение схем с биологической очисткой производственных стоков отдельных цехов, общего стока завода, смеси сточных вод комплекса предприятий. На эти очистные сооружения могут сбрасываться бытовые воды предприятий, но доля их в общем объеме очень невелика.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Эффективность процессов биологической очистки зависит от ряда факторов, одни из которых поддаются изменению и регулированию в широких диапазонах в пределах биологической системы, регулирование же других, таких, например, как состав поступающих на очистку сточных вод, практически исключено.

Структура примесей. На процессы биохимического окисления производственных сточных вод в значительной степени влияет структура их примесей.

На основе большого опыта, накопленного при эксплуатации очистных сооружений, и множества специальных исследований механизма биоокисления чистых веществ сформулирован ряд положений, позволяющих дать ориентировочную оценку возможности биологической очистки в зависимости от химического строения вещества. Так, например, можно, по-видимому, считать достаточно доказанным, что первичные спирты окисляются легче вторичных, а вторичные - легче третичных. Достаточно обосновано также утверждение, что чем выше разветвленность углеродной цепи, тем выше устойчивость к биоокислению.

Легко окисляются низшие органические кислоты с числом углеродных атомов до 10. При большем числе углеродных атомов для окисления требуется определенная адаптация микроорганизмов. Скорость окисления тем ниже, чем длиннее углеродная цепь.

Циклические углеводороды в целом окисляются труднее парафиновых. Из циклоалканов возможность окисления доказана экспериментально для серии веществ, начиная от первого их представителя циклопропана до циклооктана, а также их метил- и этилпроизводных, циклоалкиламинов, пиперидинов, гекса-, гепта- и октаметиленимина. Биологически окисляются гидрохинолины, спирановые гетероциклы. Циклоалканы характерны для случая, когда принципиально биоокисление возможно (оно доказано), но не проходит в очистных сооружениях, вследствие чего эти вещества отнесены к группе биологически неокисляемых.

Некоторые полициклические соединения (стероиды, алкалоиды, терпеноиды, адаманты), имеющие значительно более сложное строение, чем моноциклические, окисляются легко и могут быть окислены до конца, без накопления в среде промежуточных продуктов окисления. Наиболее подробно изучено биологическое разложение стероидных веществ, которое способны осуществлять многие неспецифические виды организмов.

Одним из часто встречающихся загрязнителей производственных сточных вод является бензол и его производные. Бензол разрушается биологическим путем после соответствующей степени адаптации микроорганизмов. Отмечено, что производные бензола окисляются легче бензола.

Достаточно подробно изучалась возможность окисления ПАВ. Среди этой группы соединений имеются как биологически окисляемые, так и неокисляемые. Окисляются алкилсульфаты, частично окисляются алкилбензолсульфонаты, что зависит от длины и степени разветвленности алкильного радикала и места его присоединения, а также от положения бензолсульфонатной группы.

Определение состава промежуточных и конечных продуктов процесса биологического окисления органических веществ - большая и очень сложная проблема, применительно к очистным сооружениям канализации практически не решенная. Сложность проблемы обусловлена колебаниями состава исходного сырья, а также изменчивостью условий работы очистного сооружения. Однако в приложении к процессам, происходящим в очистных сооружениях, можно, по-видимому, говорить о тех же основных путях трансформации органических веществ, какие встречаются в природных условиях и свойственны многим микроорганизмам.

Окисление в сооружениях далеко не всегда проходит до конца, т. е. до образования CO_2 и H_2O . В воде после биологической очистки могут появиться вещества - промежуточные продукты, которых не было в исходной сточной воде, иногда даже менее желательные для водоема, чем первоначальные загрязнения. В связи с этим глубокая расшифровка веществ в очищенной сточной воде - задача первостепенной важности при решении вопроса об их дальнейших превращениях в водоеме (почве).

Токсичные вещества. Токсичным действием на биологические процессы могут обладать органические и неорганические вещества. Токсичное действие может быть и микробостатическим, если задерживается рост и развитие микроорганизмов, и убивающим (микробиоцидным). Большинство веществ проявляет то или иное действие в зависимости от концентрации их в очищаемой смеси.

Следует отметить, что и некоторые элементы, являющиеся необходимыми органогенами клетки, при высоких концентрациях становятся также токсичными. В связи с этим одной из основных задач является установление ПДК для индивидуальных химических веществ, а также выявление возможного действия смеси веществ, одновременно присутствующих в очищаемой сточной воде.

За величину ПДК принимают максимальную концентрацию токсичного вещества, находящегося в воде и не оказывающего заметно отрицательного действия на работу биологических очистных сооружений ($\text{ПДК}_{\text{б.о.с.}}$).

В то же время некоторое микробостатическое действие может проявляться уже при значительно меньших концентрациях, чем $\text{ПДК}_{\text{б.о.с.}}$. Поэтому кроме $\text{ПДК}_{\text{б.о.с.}}$ иногда указывается $\text{ПДК}_{\text{б}}$ - концентрация вещества, при повышении которой может быть

отмечено какое-либо отрицательное действие на процессы биоокисления и на процессы жизнедеятельности клетки.

Неорганические и ряд металлоорганических веществ характеризуются в основном только ПДК_б, поскольку эти вещества, как правило, не влияют на работу биологических сооружений (например, не способствуют пенообразованию, не изменяют растворимости кислорода и т. п.). Наименьшие ПДК_б имеют: тетраэтилсвинец - 0,001 мг/л; соединения бериллия, титана, ртути, хрома шестивалентного (все в пересчете на соответствующий элемент) и оксид углерода - 0,01 мг/л; соединения бора (в пересчете на бор) - 0,05 мг/л; соединения висмута, ванадия, кадмия, никеля (в пересчете на элемент) - 0,1 мг/л; сульфат меди (в пересчете на медь) - 0,2 мг/л; цианистый калий - 2 мг/л и т. д. Наименее токсичными являются соли натрия, лития, магния; их содержание в воде до 10 г/л не оказывает никакого действия. Соли калия имеют ПДК_б от 1 до 560 мг/л в зависимости от вида аниона; самым ядовитым является калий железистосинеродистый, наименее токсичным - калий фосфорнокислый. Соли кальция менее токсичны, чем соли калия, но и они имеют разную ПДК_б в зависимости от того, в виде какого соединения они присутствуют в воде.

Диапазон нагрузок на сооружения биологической очистки производственных сточных вод очень широк и зависит от характера стоков и типа очистного сооружения.

Для аэрационных сооружений наблюдается возрастание отношения ХПК/БПК в очищенной воде при увеличении нагрузки. Для этих сооружений величина нагрузки на активный ил дает возможность предсказать седиментационные свойства ила.

Биогенные элементы. Для нормального процесса синтеза клеточного вещества, а следовательно, и для эффективного процесса очистки сточных вод в среде должна быть достаточная концентрация всех основных элементов питания - органического углерода (БПК), азота, фосфора.

Достаточность элементов питания для бактерий в сточных водах определяется соотношением БПК : N : P (азот аммонийных солей или белковый и фосфор в виде растворимых фосфатов).

Так как прирост биомассы микроорганизмов при окислении различных веществ неодинаков, требуемое количество биогенных элементов зависит от состава производственных сточных вод. Для некоторых видов производственных сточных вод потребность в биогенных элементах определена на основании данных эксплуатации (согласно рекомендациям СНиП 2.04.03-85, при обработке городских сточных вод отношение БПК_{полн} : N : P должно быть не менее 100 : 5 : 1).

Температура. Для аэробных биологических процессов температурный оптимум лежит в пределах 20—30 °С. Однако для некоторых производств характерно образование сточных вод с повышенной температурой. Очистку таких сточных вод можно осуществлять и при более высокой температуре (36—40 °С). Непременным условием является постоянство температуры и предварительная адаптация активного ила к повышенной температуре, которая происходит медленнее, чем к токсичным соединениям. Повышение температуры интенсифицирует обменные процессы в клетках микроорганизмов и приводит к увеличению скорости биохимического окисления примесей сточных вод. Так, окислительная мощность аэротенков, очищающих сточные воды производства капролактама, при температуре этих вод 37—38 °С, увеличивалась на 35 % по сравнению с обычными аэротенками. Следует, однако, учитывать, что повышение температуры ведет к увеличению количества подаваемого воздуха в 1,7-2,2 раза при 37- 40 °С по сравнению с 20 °С. Кроме того, при повышенных температурах чаще наблюдается вспухание ила.

Повышенная минерализация. Многим видам производственных сточных вод свойственна повышенная минерализация. Общая концентрация растворенных солей до 10 г/л практически не влияет на скорость биохимического окисления. При более высоком солесодержании (до 20 г/л) необходима длительная (около 1 мес) адаптация активного ила. Так же как при повышении температуры, повышенная минерализация сточных вод снижает степень насыщения воды кислородом, поэтому ведет к увеличению необходимого для очистки количества воздуха.

Активная реакция среды. Значение pH производственных сточных вод может существенно отличаться от оптимальных для микроорганизмов величин 6,5—8,5. И хотя микроорганизмы способны в ограниченных пределах регулировать pH среды, необходимо корректировать этот параметр перед подачей сточных вод на биологическую очистку.

Повышенные значения pH часто приводят к пенообразованию, особенно при наличии в сточных водах поверхностно-активных веществ, масел, сульфитных и сульфатных щелоков.

МЕТОДЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Для биологической очистки производственных сточных вод могут быть применены все известные методы очистки в естественных и искусственных условиях,

используемые для обработки бытовых и городских сточных вод, в том числе и почвенные. Однако применение почвенных методов связано с рядом ограничений, обусловленных количеством и характером сточных вод, санитарно-гигиеническими требованиями и способами утилизации.

Основные критерии для выбора метода почвенной очистки. Почва - это сложный комплекс органических и неорганических веществ, заселенный большим числом различных микроорганизмов. Число бактерий в 1 г почвы исчисляется сотнями миллионов. В почве отсутствуют благоприятные условия для развития патогенной микрофлоры, паразитирующей в организме человека, вследствие чего почва представляет собой надежный и мощный фактор обезвреживания сточных вод. В результате почвенной очистки одновременно решаются две основные задачи - минерализация внесенных органических веществ и обеззараживание.

По масштабам применимости метод почвенной очистки значительно уступает методам искусственной биологической очистки и, кроме того, очистка на полях орошения и фильтрации использовалась до сего времени только для бытовых и городских (смешанных) сточных вод, а не для чисто производственных. Последнее обстоятельство обусловлено большим абсолютным количеством сточных вод на современных предприятиях, малой пропускной способностью единицы площади полей, непостоянством состава сточных вод и возможным присутствием в них токсичных примесей. Серьезные затруднения возникают при выборе площадки для устройства полей из-за высоких требований в отношении защиты окружающей природной среды, предусматривающих, в частности, полное исключение возможности попадания сточных вод с полей в водоносные слои, используемые в качестве источников водоснабжения. Необходимо также отметить постоянное повышение требований врачей-гигиенистов к сточным водам, поступающим на поля орошения.

Возможность применения почвенных методов очистки вообще, а также применительно к производственным сточным водам решается с учетом гигиенических показателей качества воды, почвенно-климатических условий и технико-экономической оценки. При оценке качества воды и ее пригодности для орошения необходимо рассматривать и учитывать степень минерализации, анионно-катионный состав, степень загрязненности органическими примесями, содержание токсических веществ и удобрительную ценность.

С точки зрения пригодности для орошения все производственные сточные воды разделены на пять групп по признаку возрастания требований к их предварительной очистке перед подачей на поля.

Сточные воды I группы вообще не требуют никакой предварительной очистки, а сточные воды V группы для орошения не пригодны. В частности, к I группе отнесены сточные воды текстильных производств (суконного и коврового производства) и ряда предприятий тяжелой промышленности. Воды I группы можно применять для орошения почв любого типа. Сточные воды пищевой промышленности - крахмальных, сахарных, дрожжевых, консервных заводов и мясокомбинатов — отнесены ко II группе. Эти сточные воды рекомендуется применять на дерново-подзолистых почвах, серых лесных, каштановых и черноземных после предварительного удаления из воды осадков и небольшого разбавления в период вегетационных поливов. Сточные воды химических и химико-фармацевтических производств входят в IV группу и требуют глубокой предварительной очистки с целью снижения степени минерализации, а также для нейтрализации и изъятия органических примесей.

При решении вопроса о применимости сточных вод для орошения серьезное внимание обращается на степень минерализации сточной воды. Пригодной для всех культур считается сточная вода с уровнем засоленности до 300 мг/л. При содержании солей 400-600 мг/л сточная вода может быть использована только на почвах с хорошей структурой, а при концентрации свыше 600 мг/л применение этой воды для орошения уже крайне ограничено.

Сооружения почвенной очистки. По мощности эти сооружения разделяют на малые, средние и крупные с расчетной пропускной способностью 0,5-25 и 25-700, 1400-10 000 и 17 000-80 000, 100 000-280 000 м³/сут.

Малые сооружения имеют много разновидностей: площадки подземного орошения (ППО), площадки подземной фильтрации (ППФ), фильтрующие колодцы (ФК), фильтрующие траншеи с естественным или искусственным слоем грунта (ФТ) и песчано-гравийные фильтры (ПГФ). Малыми сооружениями могут считаться и небольшие поля подземного орошения или подземной фильтрации. Самыми крупными сооружениями являются коммунальные поля орошения (КПО), земельные поля орошения (ЗПО) и поля наземной фильтрации (ПНФ).

Применяют несколько видов систем орошения: сплошной залив, залив по бороздам и полосам, дождевание и подпочвенное орошение. Считают, что из всех способов орошения подпочвенное наиболее удовлетворяет эпидемиологическим, санитарно-техническим, экономическим, эстетическим и водохозяйственным требованиям.

По пропускной способности для очистки производственных сточных вод, наиболее подходят средние сооружения на 1,4—10 тыс. м³/сут и городские на 17—80 тыс. м³/сут. Поэтому наибольший интерес представляют ПНФ, а также КПО и ЗПО.

В систему сооружений предварительной механической очистки с малыми ПНФ входят решетка, песколовка и двухъярусный отстойник. Предусматриваются вывоз и обезвреживание песка, а также обезвреживание осадка из отстойников от патогенной микрофлоры и яиц гельминтов. Как самый доступный метод обезвреживания применяют иловые площадки с длительным хранением на них осадка (не менее 2 лет).

На большие поля орошения сточная жидкость подается после механической очистки. Осадки обрабатываются в метантенках. Вода с полей отводится через дренажную систему.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРУДАХ

Искусственно созданные или естественные водоемы, используемые для очистки сточных вод под воздействием природных процессов самоочищения, называются биологическими прудами. Применяться пруды могут как в качестве самостоятельных сооружений биологической очистки, так и в сочетании с аэротенками или биофильтрами для целей доочистки биологически очищенных в них сточных вод. К достоинствам биопрудов относят сравнительно низкие строительные и эксплуатационные затраты, хорошее качество очистки при условии эффективного илоотделения, высокую стабилизацию ила, буферную способность при залповых сбросах сточных вод, колебаниях рН, температуры, достаточную степень обеззараживания сточных вод и изъятия из нее биогенных веществ. Следует, однако, отметить зависимость работы прудов от климатических условий, сравнительно высокую потребность в заливных площадях, из-за низких скоростей окисления загрязнений, необходимость периодической чистки, затруднения с отделением и отведением ила при высоких на него органических нагрузках.

В процессах, протекающих в биопрудах, наблюдается полный природный цикл разрушения органических загрязнений. Однако воздействие на работу прудов различных факторов (осаждение органических веществ, отмирание и размножение водорослей, сезонные и суточные снижения температур, небольшая глубина проникания солнечных лучей в воду и пр.) существенно затрудняет поддержание равновесия между самоочищающей способностью прудов и поступающей в них массой органических загрязнений, в результате чего в прудах могут создаваться как аэробные, так и аэробно-анаэробные условия. Пруды, постоянно работающие в аэробных условиях, получили название аэрируемых, а пруды с переменными условиями (или при наличии в них аэробных и анаэробных зон) называются факультативными или аэробно

анаэробными. Не следует допускать образования и развития постоянных анаэробных процессов, поскольку при них выделяются неприятные запахи и размножаются комары и мошки.

Аэробные условия в прудах могут поддерживаться либо за счет естественного поступления кислорода из атмосферы и фотосинтеза (естественно аэрируемые пруды), либо за счет принудительной подачи воздуха в воду путем применения той или иной системы аэрации (пруды с искусственной аэрацией).

Конструируются пруды в виде нескольких (от двух до пяти) последовательно работающих секций, из которых последняя в случае искусственной аэрации предназначена для отделения ила, т. е. отстойная секция.

Наиболее целесообразным является их применение для доочистки биологически очищенных сточных вод до остаточной концентрации

$BPK_{полн} = 4-6$ мг/л, а опыт их эксплуатации выявил необходимость введения искусственной аэрации. Поскольку в прудах с естественной аэрацией практически полностью отсутствует перемешивание, даже то незначительное количество кислорода, которое поступает за счет поверхностной реаэрации (0,6—1,3 г на 1 м³ пруда в 1 сут), не потребляется, так как оседающий на дно пруда активный ил практически не участвует в очистке.

Накопление донных осадков в течение холодного периода года и развитие анаэробных условий в них в теплое время являются причиной повышенного выноса взвешенных веществ летом из-за флотации их газообразными продуктами распада.

Вследствие равномерного распределения биомассы побьему сооружения и должного снабжения ее кислородом искусственная аэрация позволяет в 1,5—2 раза повысить скорости изъятия и окисления загрязнений, исключить сезонные колебания в работе прудов, обеспечить постоянное и более высокое качество очистки в течение всего года.

Учет скоростей окисления загрязнений в прудах и количества находящейся в них активной биомассы позволяет не только более обоснованно оценить окислительную способность прудов и осуществить расчет как самих прудов, так и системы аэрации на основе необходимой степени очистки, но и обеспечить технологический контроль за работой прудов.

Опыт показывает, что механические поверхностные аэраторы с вертикальной осью вращения создают хорошие гидродинамические условия в аэрационном бассейне благодаря высокой перекачивающей способности даже при глубине бассейна до 3,5—5

м и исключают образование донных осадков. Однако поддержание в активном состоянии биомассы сравнительно низкой концентрации не требует высоких интенсивностей подачи кислорода и перемешивания на единицу объема пруда. При стационарной установке этих аэраторов в прудах не удастся полностью использовать их окислительную и перемешивающую способность, а их пропускная способность в 15—20 раз превышает потребности в кислороде обслуживаемой ими зоны. В этой связи перемещение аэратора по акватории пруда является экономически целесообразным инженерным приемом устройства аэрируемых биологических прудов.

Число подлежащих установке в пруду аэраторов определяется с учетом окислительной и перемешивающей способности.

МЕТОДЫ И СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Для очистки производственных сточных вод применяют как аэробные, так и анаэробные методы биологической очистки. Последние используют обычно для высококонцентрированных сточных вод на I ступени очистки. Принципиально эти методы не отличаются от методов, принятых на городских очистных сооружениях систем водоотведения.

Специфическим методом очистки некоторых видов производственных сточных вод является так называемый микробный метод. Особенностью предложенного метода является использование специально выращенной монокультуры фенолразлагающих бактерий. Процесс очистки ведется при концентрации фенола до 2 г/л, без рециркуляции биомассы. Скорость притока воды в аэротенки должна обеспечить возможность прироста микроорганизмов, равного выносу их из аэротенков.

Микробный метод нашел применение главным образом для очистки сточных вод коксохимических заводов и газогенераторных станций от фенолов, роданидов и цианидов.

Однако, более перспективной может оказаться направленная селекция микроорганизмов в результате постепенного изменения условий среды, например постепенного увеличения объема стока со специфическими примесями. В активном иле при этом преимущественное развитие получает специфическая микрофлора, в наибольшей степени приспособленная к утилизации именно этих новых примесей.

Интенсификация процесса биологической очистки может быть достигнута повышением концентрации активной биомассы, созданием эффективных систем аэрации, оптимальных гидродинамических условий, применением чистого кислорода и т. д.

Кроме технических приемов повышения пропускной способности сооружений биологической очистки и микробиологических методов, упомянутых выше, широко исследуются пути интенсификации процессов химическим и биохимическим способами.

Химические способы интенсификации заключаются в добавке к сточной воде различных стимуляторов (стероидные соединения, фолиевая кислота и т. д.) или веществ, повышающих концентрацию кислорода.

Перспективным методом интенсификации процессов окисления является биохимический. Здесь имеются два направления: воздействие на внутриклеточные пути окисления, не затрагивая генетическую основу клетки, и направленный мутагенез с созданием культур бактерий с заданными свойствами.

Микробиологическая и микроскопическая характеристика активного ила и биопленки

Самыми важными факторами формирования биоценоза илов очистных сооружений являются состав обрабатываемой воды и величина нагрузки на ил (биопленку). Действие других факторов - температуры, перемешивания, концентрации растворенного кислорода - практически не изменяет качественного состава илов, но влияет на количественное соотношение различных групп микроорганизмов.

Бактериальное микронаселение илов обычно представлено *Pseudomonas*, *Bacterium*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Arthrobacter*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Actinomyces*, *Nocardia*.

Доминирующим родом бактерий в илах, очищающих производственные сточные воды, является род *Pseudomonas*. Для многих видов сточных вод бактерии семейства *Pseudomonaceae* (к нему относится также род *Zoogloea*) составляют 50 — 80%. Это объясняется способностью псевдомонад окислять широкий спектр органических веществ.

В производственных сточных водах встречается до 30 видов *Bacterium*. Эти бактерии усваивают нефть, парафины, нафтены, фенолы и другие соединения. Видовое название бактерий отражает характер усваиваемых соединений: *Bact. aliphaticum*, *Bact. naphthalinicus*, *Bact. benzoli*, *Bact. cyrcoclastes* и др. Из аммонификаторов в сточных водах встречаются *Bact. mycoides*. Процессы аммонификации белковых соединений - важнейшая составная часть процессов очистки сточных вод. Высвобождающийся

аммиак является источником азота, часть его окисляется до нитритов и нитратов. Из групп серобактерий в илах развиваются *Thiobacterium* и *Thiotrix*, окисляющие сульфиды, гипосульфиты, сероводород.

Бактерии *Bacillus*, преобладающие среди микроаэрофильных и факультативно анаэробных форм, окисляют углеводы, фенолы, спирты; *Corynebacterium* и *Arthrobacter* встречаются в сточных водах производства нафтяных и синтетических жирных кислот; *Mycobacterium* - в сточных водах крекинга и риформинга. Бактерии *Micrococcus* усваивают спирты, органические кислоты, альдегиды, бактерии *Sarcina* — фенолы, сахара и т.д.

Наряду с упомянутыми гетеротрофными бактериями в активных илах и биопленке всегда присутствуют автотрофные бактерии. Степень их развития определяется составом сточных вод и глубиной очистки. Нитрифицирующие бактерии родов *Nitrosomonas* и *Nitrobacter* - осуществляют окисление аммонийных солей, тионовые бактерии - окисление сульфидов, железобактерии - окисление солей железа.

В сооружениях с меняющейся нагрузкой на биомассу по ходу движения сточной воды изменяется биоценоз.

В частности, в биофильтрах основная часть микрофлоры, окисляющей химические загрязнения, сосредоточена в верхнем слое — до 0,5 м от орошаемой поверхности сооружений. В более глубоких слоях микронаселение

значительно меньше. Отмечено также, что плотность микробного населения в высоконагружаемом биофильтре в десятки раз превышает плотность, создающуюся в капельном биофильтре.

Интересно отметить, что при очистке одной и той же воды состав бактериального населения активного ила и биопленки идентичен, но различается количественным соотношением отдельных групп бактерий.

Активными деструкторами органических примесей производственных сточных вод являются грибы, развивающиеся преимущественно в биофильтрах. При очистке некоторых видов сточных вод грибы в биопленке могут составлять до 30 % биомассы. Массовое развитие грибов в активном иле нежелательно, так как препятствует осаждению ила. В то же время возможно применение специфических грибных илов для очистки производственных сточных вод, содержащих трудноокисляемые и токсичные примеси.

В биоценозах очистных сооружений присутствуют простейшие четырех классов: *Sarcodina*, *Mastigophora*, *Ciliata*, *Suctoria*. Функция простейших в очистных

сооружениях многопланова: регуляция численности бактерий, осветление воды, санитарная и индикаторная функции. Ту же роль играют и коловратки — Rotatoria.

Установлено, что в илах хорошего качества на 1-16 бактериальных клеток приходится 10—16 видов простейших организмов, в илах среднего качества -5-9 и в илах плохого качества — 1—4. Этот показатель состава ила называют коэффициентом протозойности.

Кроме рассмотренных групп организмов в илах и биопленке развиваются дрожжи, плесени, а в биопленке встречаются также водные клещи, мушки Psychoda.

Важнейшим свойством активного ила является его способность к оседанию. Свойство оседания описывается иловым индексом. При индексе более 150 мг/л ил осаждается плохо. Иногда плохая осаждаемость ила связана с развитием в нем нитчатых бактерий Sphaerotilus natans. Плохая осаждаемость ила влечет за собой повышенный вынос его с очищенной водой и, следовательно, ухудшение качества очистки. Плохо оседает и вспухший ил, однако вследствие весьма развитой поверхности соприкосновения частиц ила с водой он обладает высокой очищающей способностью. Существует мнение, что бороться с вспуханием илов практически невозможно, поскольку нельзя устранить его причины, которые неизвестны. К вспуханию ила могут привести самые разнообразные изменения условий работы системы, обычно не удается зафиксировать какую-либо одну конкретную причину этого явления.

Биоокислители, применяемые для очистки производственных сточных вод

Общность процессов биологической стабилизации примесей бытовых и производственных сточных вод определяет возможность применения для их очистки одних и тех же типов биоокислителей.

Разработка новых типов сооружений, специально предназначенных для очистки производственных сточных вод, связана со стремлением интенсифицировать процессы биоокисления или добиться более полного извлечения из сточных вод трудноокисляемых примесей. К таким сооружениям относятся фильтротенки, окситенки, биосорберы.

В схемы очистки производственных сточных вод значительно чаще, чем для городских сточных вод, включаются биоокислители — в две и более ступени. При этом на разных ступенях очистки используются как однотипные так и разнотипные сооружения. В качестве I ступени для некоторых наиболее концентрированных сточных вод применяют метантенки.

Выбор типа и конструкции биоокислителя в каждом конкретном случае диктуется особенностями состава производственных сточных вод и требованиями к качеству очищенной воды.

Аэротенки. В связи с высокой концентрацией органических примесей по БПК_{полн} в производственных сточных водах и свойственной им большой неравномерностью потребления кислорода в процессе окисления, а также возможным присутствием токсичных веществ и резкими (колебаниями состава воды для их очистки чаще всего применяют аэротенки-смесители.

Аэротенки-вытеснители применяются для очистки производственных сточных вод с БПК_{полн} менее 500 мг/л при отсутствии залповых сбросов токсичных веществ. В двухступенчатых схемах аэротенки-вытеснители используются на II ступени очистки.

В двухкоридорных аэротенках можно осуществить 50 %-ную регенерацию в трехкоридорных — 33- и 67%-ную и в четырехкоридорных -25-, 50- и 75 %- регенерацию.

В последние годы широкое применение нашли аэротенки с рассредоточенным впуском сточной воды, занимающие промежуточное положение между смесителями и вытеснителями.

Разработано очень много конструкций комбинированных сооружений, выполняющих функции аэротенка и вторичного отстойника. Конструкции различаются между собой по системе аэрации — пневматическая, механическая или пневмомеханическая; по расположению аэрационной зоны - в центре, по периферии или смежно с зоной отстаивания; по конструкции отстойной зоны -со взвешенным слоем ила или без него, со скребками или без них, в виде вертикального отстойника; по системе возврата ила в аэрационную зону -побуждение циркуляционного потока системой аэрации, с помощью эрлифта. Выбор конструкции аэротенков-отстойников определяется составом обрабатываемой воды.

В аэротенках-отстойниках удастся поддерживать дозу активного ила до 5 г/л.

Одной из разновидностей комбинированных сооружений являются аэроакселаторы, получившие широкое распространение). Они применяются для очистки различных производственных сточных вод, в том числе вод нефтеперерабатывающих заводов, химкомбинатов, предприятий мясной и молочной промышленности.

Представляет интерес конструкция аэротенка с противоточным движением воды и воздуха, в котором вследствие увеличения длительности контакта двух фаз (газовой и жидкой) повышается процент использования кислорода.

За рубежом нашли применение шахтные аэротенки основными достоинствами которых являются низкие энергозатраты на аэрацию и существенное (в несколько раз) сокращение производственных площадей.

Аэротенки внутренней трубой разделены на зону аэрации и зону циркуляции. Циркуляция иловой смеси обеспечивается эрлифтами или насосами. В аэротенке с насосной циркуляцией воздух подается через эжекторы на глубине около 4 м. В зоне аэрации иловая смесь движется вниз вместе с пузырьками воздуха. Так как глубина аэротенка достигает 20—50 м, за счет повышенного давления обеспечивается эффективное (до 90 %) использование кислорода. В зоне циркуляции иловая смесь поднимается вверх. При этом происходит десорбция растворенного воздуха, чем обеспечивается флотационное разделение иловой смеси.

Аэрация иловой смеси в аэротенках, очищающих производственные сточные воды, осуществляется с помощью пневматических, механических, пневмомеханических, струйных аэраторов. При выборе системы аэрации и ее конструктивного решения опираются на технико-экономические расчеты, но с обязательным учетом особенностей состава производственных сточных вод.

Окситенки. Сооружения биологической очистки, в которых вместо воздуха используется технический кислород или же воздух, обогащенный кислородом, называются окситенками.

Кислород - газ, относительно мало растворяющийся в воде. При температуре 20 °С в воде растворяется около 9 мг/л кислорода. Если применять чистый кислород вместо воздуха, то растворимость его возрастает пропорционально повышению парциального давления кислорода в газовой фазе (по закону Генри).

Влияние повышенных концентраций кислорода в воде на биологическую активность клетки было предметом многих исследований, причем были получены как положительные, так и отрицательные результаты. В частности, в ряде работ было отмечено токсическое влияние концентраций кислорода на жизнедеятельность бактерий. В то же время другими специалистами отмечалось ускорение процессов окисления и снижение прироста биомассы.

Рекомендуемая концентрация ила в окситенке составляет 6-8 г/л, хотя принципиально сооружение может работать и при более высоких концентрациях. Экспериментально получено, что при прочих равных условиях окислительная мощность окситенков в 5-10 раз выше, чем у аэротенков, эффективность использования кислорода составляет 90—95 %.

Конструктивно окситенк выполнен в виде резервуара круглой в плане формы с цилиндрической перегородкой, отделяющей зону аэрации от зоны илоотделения. В средней части цилиндрической перегородки устроены окна для перепуска иловой смеси из зоны аэрации в илоотделитель; в нижней части - для поступления возвратного ила в зону аэрации. Последняя оборудована герметическим перекрытием, на котором установлен электродвигатель турбоаэратора и смонтированы трубопроводы для подачи кислорода и продувки.

Окситенк оборудуется системой автоматики, обеспечивающей подачу кислорода в зону аэрации в соответствии со скоростью его потребления. Система автоматически поддерживает заданную концентрацию растворенного кислорода в иловой смеси окситенка при любых изменениях состава, концентрации или расхода сточной воды.

В настоящее время наиболее перспективно применение окситенков на объектах, которые имеют собственный технический кислород или могут получать его от соседних предприятий (например, заводы по производству синтетического каучука, а также химические, коксохимические, нефтехимические и др.).

Биофильтры. Эти сооружения успешно применяются для очистки сточных вод самых различных производств.

Применение находят и капельные, и высоконагружаемые биофильтры. В последние годы область применения биофильтров значительно расширилась в связи с разработкой новых типов плоскостных загрузок, обладающих очень высокой пористостью. Некоторые типы загрузок. Наблюдения показали, что интенсивность деструкции трудноокисляемых органических веществ в биофильтрах не только не ниже, но в отдельных случаях даже выше, чем в аэротенках.

Биофильтры с плоскостной загрузкой успешно применены за рубежом для очистки сточных вод коксогазовых заводов, сульфатцеллюлозного завода, консервного завода и многих других. Отечественные исследования показали, что биофильтры с плоскостной загрузкой имеют окислительную мощность, намного большую, чем биофильтры с объемной загрузкой. При высоте биофильтра 4 м и степени очистки с 250 до 25 мг/л по БПК_{полн} окислительная мощность составляет примерно 2 кг БПК_{полн} на 1 м³/сут.

Прочие сооружения. К числу прочих сооружений относятся:

Погружные биофильтры. Эти сооружения состоят из вращающегося вала с насаженными на нем дисками и резервуара со сточной водой, в которую диски погружаются на 1/3—1/4 своего диаметра. Диски (пластины) изготавливаются из разного

материала (предпочтительно легкого) и располагаются на расстоянии 10—20 мм друг от друга. Число пластин на валу может быть различным -от 20 до 200. Диаметр дисков 0,5—3 м. Частота вращения вала в среднем около 1 мин^{-1} (рис. 5.24).

Сточная вода протекает по резервуару с разной скоростью в зависимости от желаемой степени ее очистки. Обычно наименьшая продолжительность пребывания воды в резервуаре составляет 70 мин, а при необходимости более высокой степени очистки может достигать 3 ч и более. На дисках нарастает биопленка толщиной до 4 мм.

Попеременно погружаясь в воду и выходя из нее, биопленка извлекает загрязнения и окисляет их с помощью кислорода, который она получает непосредственно из атмосферы. Отмершая часть биопленки попадает в воду и выносится затем с очищенной водой во вторичный отстойник. Поскольку вода в резервуаре находится продолжительное время, то в ней развивается активный ил, доля участия которого в общем эффекте очистки также должна приниматься во внимание. Сточная вода в резервуаре аэрируется вследствие вращения дисков, а сумма вращательного и поступательного движения воды способствует поддержанию активного ила (и всех остальных веществ) во взвешенном состоянии.

Погружные фильтры часто устраивают двух- и трех- ступенчатыми, что позволяет активизировать деятельность биопленки в каждом фильтре и, кроме того, возвращать часть сточной воды в начало резервуара для большей полноты изъятия загрязнений.

Расчет погружных биофильтров осуществляют по окислительной мощности, отнесенной к 1 м^2 площади поверхности дисков. Окислительная мощность должна определяться экспериментально.

Использование погружных биофильтров целесообразно в качестве сооружений I ступени с последующей глубокой очисткой в биоокислителях других типов. Погружные биофильтры успешно применяются для очистки сточных вод пивоваренных заводов.

Биотенки-биофильтры. Это сооружение состоит из корпуса и расположенных внутри его друг над другом в шахматном порядке лотковых элементов. Обработываемая сточная вода поступает в верхнюю часть биотенка и, заполнив расположенные выше емкости, стекает вниз. При этом сточной водой оmyваются наружные части элементов, на которых образуется биопленка. Образующаяся в самих элементах биомасса активного ила перемешивается и насыщается кислородом вследствие движения обрабатываемой сточной воды.

Позднее название биотенк было заменено на название биотенк-биофильтр, что явилось следствием разработки двухступенчатой конструкции, включающей в себя и

описанный выше биотенк (с пластмассовой загрузкой). Биотенк в совокупности с биофильтром обеспечивает высокую степень очистки (до БПК₅ порядка 30 мг/л) при нагрузке по БПК₅ примерно 1,5 кг/(м³хсут).

Аэротенки с заполнителями. С целью повышения общей концентрации ила в аэротенк помещают биологически инертную массу, которая обрастает биопленкой. Одним из первых вариантов такого устройства был аэротенк, в который помещался поролон в виде мелких кусков неправильной формы. После обрастания биопленкой поролон становился тяжелее воды и поддерживался во взвешенном состоянии продувкой смеси. На выходе из аэротенка устраивалась сетка, задерживающая наполнитель. Позднее была разработана конструкция вставки в аэротенк, выполненный в виде решетки, в которой укреплены полосы поролона.

В настоящее время существует несколько разновидностей аэротенков с заполнителями (называемых также и биотенками). Они успешно применяются для очистки фенолсодержащих сточных вод. Общая окислительная мощность аэротенков с заполнителями выше, чем у обычного аэротенка, вследствие увеличенной концентрации ила, но удельная скорость окисления, отнесенная к 1 г. ила, такая же, как и в других аэротенках.

Метантенки. В схемах очистки производственных сточных вод в отличие от городских очистных станций метантенки применяются не только для обработки осадков, но и непосредственно для очистки сточных вод. Сущность процесса и конструкция метантенков в обоих случаях одинаковы.

Анаэробные биофильтры. Эта разновидность биофильтров представляет собой закрытые резервуары с загрузкой, сквозь которую вода профильтровывается восходящим потоком, без доступа в нее кислорода воздуха. Анаэробные биофильтры по принципу работы занимают промежуточное положение между обычными биофильтрами и метантенками. Биопленка в них закреплена на материале загрузки; процессы окисления сопровождаются метанообразованием. Анаэробные биофильтры можно применять для очистки высококонцентрированных сточных вод, не содержащих взвешенных веществ или содержащих их в незначительном количестве.

Многоступенчатые схемы очистки производственных сточных вод

Многоступенчатые схемы биологической очистки применяют для высококонцентрированных стоков, для сточных вод, содержащих примеси,

окисляющиеся с заметно разными скоростями, при необходимости повышения качества очищенных сточных вод.

Как правило, первая ступень биоокислителей работает в режиме высоких нагрузок на неполную очистку. В многоступенчатых схемах применяют различные комбинации биоокислителей.

Схемы с двухступенчатыми аэротенками с циркуляцией в каждой из ступеней собственного ила позволяют повысить общую пропускную способность системы на 10—20 %. Это достигается в результате развития на каждой ступени активного ила, хорошо адаптированного к определенным веществам, и повышения дозы ила в аэротенках I ступени.

На I ступени обычно используют аэротенки-смесители, на II -вытеснители, однако возможны и другие варианты. Двухступенчатые аэротенки проектируются с регенераторами или без них. Чаще регенератор вводят на I ступени.

Интересна схема двухступенчатых аэротенков с флотаторами взамен отстойника I ступени. Флотация вместо отстаивания позволяет поднять рабочую дозу ила в аэротенках I ступени до 10—15 г/л, что способствует значительному повышению пропускной способности системы в целом. Флотатор не обеспечивает столь же глубокой степени отстаивания воды, как отстойник, поэтому его можно применять только на I ступени системы.