

**В.Н. Ануфриев,**  
к. т. н., доцент кафедры  
«Водоснабжение и водоотведение» БНТУ

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ, ТЕХНОЛОГУ

# ЗАДАЧИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Очистка сточных вод населенных пунктов является важным видом деятельности, направленной на предотвращение загрязнения и деградации водных объектов. Заметной мировой тенденцией в последнее время стало ужесточение природоохранных требований к степени очистки сточных вод и эксплуатации очистных сооружений. В странах Европейского союза базовым документом, определяющим требования к очистке сточных вод, является Директива ЕС об очистке городских сточных вод [1]. Требования, содержащиеся в этом документе, учитывают как задачи охраны и предотвращения загрязнения водных объектов, так и возможности применения наилучших доступных технических методов для очистки сточных вод. Директива требует наличия как минимум так называемой вторичной (полной биологической) очистки или же ей эквивалентной, которые могут обеспечить очистку сточных вод с БПК<sub>5</sub> в очищенной воде не выше 25 мг/дм<sup>3</sup>, или степень очистки по данному параметру в пределах 70–90 %. По параметру ХПК остаточная концентрация не должна превышать 125 мг/дм<sup>3</sup> в отводимой сточной воде и степень очистки должна быть не менее 75 %. Также рекомендуется, чтобы содержание взвешенных веществ в сточной воде после очистки было не более 35 мг/дм<sup>3</sup>. Эти требования являются базовыми к эффективности очистки, которую должны обеспечивать очистные сооружения. Такие нормативы могут быть обеспечены сооружениями биологической очистки, рассчитанными на деструкцию и удаление органических веществ, подверженных биологическому разложению. Проектирование и строительство таких сооружений является обычной практикой для Беларуси с 60-х годов прошлого века и не представляет каких-либо научно-технических и технологических трудностей. Кроме того, Директива устанавливает критерии для определения водных объектов, чувствительных к эвтрофикации. Отведение сточных вод в такие объекты сопровождается установлением дополнительных параметров, которые должны обеспечиваться при их очистке. Так, устанавливаются требования к степени очистки по биогенным элементам в сточных водах, отводимых в водные объекты в зависимости от объема загрязняющих веществ, выраженных в эквивалентах населения. В части соединений азота и фосфора их концентрация не должна превышать 15,0 мг и 2,0 мг/л соответственно для очистных сооружений мощностью от 10 000 до 100 000 эквивалентов и 10,0 мг и 1,0 мг/л соответственно для очистных сооружений мощностью более 100 000 эквивалентов.

При разработке природоохранных нормативов в Республике Беларусь был реализован такой же принцип, направленный на удаление большей массы загрязняющих веществ, отводимых со сточными водами, с использованием технически и экономически обоснованных методов и технологий. Действующие НПА и проекты норм устанавливают, помимо требований по удалению органических веществ, оцениваемых по БПК, также и нормативы по содержанию соединений азота и фосфора в очищенных сточных водах сооружений с мощностью, превышающей 10 000 эквивалентов [2, 3].

Обеспечение указанных нормативов требует внедрения модернизированных методов биологической очистки с удалением соединений азота и фосфора, которые начали применяться в Беларуси относительно недавно. Вместе с тем следует отметить, что такие технологии в европейских странах используются уже более тридцати лет, и техническая информация для реализации таких методов очистки является относительно доступной.

Удаление соединений азота из сточных вод обеспечивается за счет биологической денитрификации, которая основана на использовании такого свойства микроорганизмов, как нитратное дыхание, заключающееся в ассимиляции связанного кислорода нитратов с выделением газообразного азота. При этом для денитрификации требуется наличие нитратов, которые в исходной сточной воде не содержатся. В связи с чем требуется предварительное проведение нитрификации — окисления аммонийного азота до нитратов. Нитрифицирующие бактерии более чувствительны к дефициту кислорода, чем гетеротрофные микроорганизмы, в связи с чем концентрация кислорода в аэротенках-нитрификаторах рекомендуется не ниже 2 мг/л, так как при меньших концентрациях процесс нитрификации начинает замедляться. В сравнении с биологической очисткой, рассчитанной только на удаление БПК, денитрификация требует большего расхода воздуха, так как для окисления 1 г аммонийного азота требуется 4,3–4,6 г кислорода, а также большего размера емкостных сооружений, что связано с удорожанием процесса очистки. Если нитрификация осуществляется за счет жизнедеятельности только специализированных нитрифицирующих бактерий, то значительная часть бактерий активного ила в состоянии использовать связанный кислород нитратов как источник для дыхания.

При организации очистки с биологическим удалением азота взаимосвязанные процессы нитрификации, денитрификации и деструкции органических углеродных соединений могут осуществляться по времени последовательно, одновременно либо в какой-либо другой вариации. Также указанные процессы могут проводиться в одной либо в различных технологических емкостях, что приводит к многовариантности способов реализации денитрификации.

Например, при последующей денитрификации сточная вода подается из первичного отстойника в аэротенк-нитрификатор, а после завершения процесса окисления аммонийных соединений — в незаирируемую емкость для денитрификации (рис. 1), где образованный при нитрификации нитрат удаляется за счет эндогенного дыхания активного ила. Далее происходит отвод иловой смеси в отстойник, отделение от очищенной воды и подача возвратного активного ила в нитрификатор. Такое расположение сооружений вытекает из логической последовательности биохимических

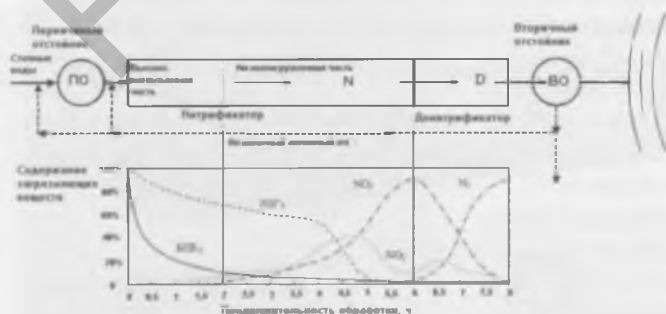


Рис. 1. Схема сооружений и кинетика удаления соединений азота при использовании последующей денитрификации

процессов при биологической очистке:

- деструкция органических загрязнений с гидролизом соединений азота;
- окисление соединений азота с получением нитрата;
- восстановление нитрата до молекулярного азота при дыхании активного ила в анаэробных условиях.

При времени выдерживания иловой смеси в анаэробных условиях в течение 2–3 часов при оптимальных условиях эксплуатации может достигаться 80–90 %-ное удаление азота.

Учитывая, что БПК<sub>5</sub> сточной воды после завершения процессов нитрификации будет невысоким, скорость денитрификации ограничена из-за дефицита доступного органического субстрата, так как источником углерода для реакции служат в основном органические вещества активного ила. В связи с чем для получения глубокой степени удаления азота требуются большие объемы технологических емкостей. Для интенсификации процессов денитрификации может использоваться дозирование внешнего субстрата — органических веществ для питания микроорганизмов в денитрификаторе. Для этой цели могут использоваться различные органические вещества (уксусная кислота, метанол), концентрированные промышленные сточные воды. В большей части случаев для этого используется метанол.

Дозирование дополнительных реагентов для денитрификации усложняет и удорожает очистку, поэтому для повышения скорости процесса денитрификации было изменено взаимное расположение денитрификатора и нитрификатора, с получением схемы предварительной денитрификации. При такой организации очистных сооружений исходная сточная вода, возвратный активный ил и поток внутренней рециркуляции иловой смеси из нитрификатора перемешиваются в денитрификаторе (рис. 2). При этом организация внутренней циркуляции становится необходимой для подачи получаемого нитрата в денитрификатор. Такая схема функционирования очистных сооружений стала классической и весьма распространена в мировой практике.

Степень удаления нитрата в рассматриваемой схеме пропорциональна степени рециркуляции [4, 5]. В среднем при расходе циркуляции в 200 % удаление азота составляет примерно от 70 % с учетом потребности в азоте на ассимиляцию при росте клеток активного ила. Увеличением степени рециркуляции можно добиться большей глубины удаления нитратов, однако это ведет к значительному увеличению расхода электроэнергии для перекачивания иловой смеси.

При применении любых схем денитрификации возникает задача обеспечения перемешивания иловой смеси в емкостных сооружениях, функционирующих в режиме денитрификатора. Для перемешивания иловой смеси используются механические мешалки различных конструктивных исполнений, в том числе оснащенные стандартными электродвигателями с воздушным охлаждением. Перемешивание осуществляется при монтаже таких устройств над уровнем жидкости в резервуарах с приводом пропеллеров через трансмиссионный вал (рис. 3).

В этом отношении использование мешалок с погружными двигателями совершило определенную революцию в применении перемешивающих устройств для очистных сооружений (рис. 4).

Кроме того, при использовании погружных мешалок не требуется защита двигателя с воздушным охлаждением от внешних негативных воздействий, также расширяются возможности перемешивающих устройств. Возможность воздействия на поток жидкости за счет работы пропеллера в гидравлически оптимальных точках позволяет минимизировать затраты энергии. Пропеллер придает струе жидкости вращательное движение, и в дополнение к основному горизонтальному потоку достигается присутствие вертикальных течений.

Выбор марки мешалок и точек их установки представляет довольно сложную инженерную задачу, при решении которой нужно учитывать ряд требований. Одним из требований является необходимость поддержания

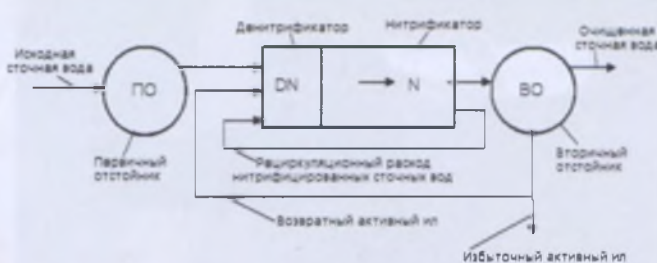


Рис. 2. Схема предварительной денитрификации



Рис. 3. Перемешивание иловой смеси в денитрификаторе лопастной мешалкой с вертикальным трансмиссионным валом



Рис. 4. Перемешивание иловой смеси погружной лопастной мешалкой





Рис. 5. Вид рециркуляционного насоса, смонтированного в нитрификаторе

скоростей потока жидкости в сооружении. Согласно нормам проектирования такая скорость должны быть в пределах 0,25–0,3 м/с. При снижении скоростей, ниже указанных, возникает опасность седиментации частиц активного ила на дне сооружений. С другой стороны, повышение скорости ведет к необоснованному росту энергопотребления. Удельная мощность перемешивающих устройств для обеспечения требуемой скорости иловой смеси колеблется от 1,0 до 5,0 Вт на один куб. м объема емкостного сооружения.

Кроме перемешивания в технологических схемах с предварительной денитрификацией требуется также создание рециркуляционного потока иловой смеси из нитрификатора в денитрификатор. В некоторых случаях иловая смесь подается центробежными канализационными насосами. Однако учитывая, что требуется подача больших расходов иловой смеси (150–250 % от расхода очищаемых сточных вод) с относительно небольшими напорами, как правило, не превышающими 2–3 м, то использование так называемых рециркуляционных насосов обеспечивает меньшее энергопотребление. Конструктивно такие устройства представляют собой погружные лопастные мешалки, смонтированные на трубопроводах (рис. 5). Для гибкого управления подачей иловой смеси, содержащей нитрат, в денитрификатор с учетом расхода поступающих сточных вод и содержания загрязняющих веществ в них рециркуляционные насосы оснащаются частотными регуляторами электропривода. Подбор такого оборудования осуществляется аналогично насосам по подаче и напору.

Одним из перспективных направлений в биологической очистке с удалением азота является применение одновременной или параллельной денитрификации. Как известно, одновременная денитрификация может быть обеспечена в том случае, если в емкости с активным илом содержится нитрат, а также имеются аноксичные зоны с отсутствием растворенного кислорода. Так, вначале в технологической емкости потребление кислорода микроорганизмами больше, чем его поступление от аэрации, и вследствие чего в сточной воде создаются практически бескислородные условия. Таким образом, в областях размещения аэраторов происходит нитрификация, а также одновременно будет осуществляться процесс денитрификации в областях, где из-за дефицита кислорода создаются аноксичные условия. При этом сточная вода должна последовательно проходить через зоны



Рис. 6. Вид циркуляционного окислительного канала для параллельной денитрификации

денитрификации и нитрификации для обеспечения образования нитратов и их последующей деструкции и удаления газообразного азота.

Источником углерода для денитрификации служат органические вещества, содержащиеся в исходных сточных водах, и органические вещества, образующиеся при разложении активного ила. При оптимизации подачи кислорода в таких сооружениях возможно достижение степени удаления азота до 85–90 %. При постоянных параметрах аэрации в случае высокой нагрузки по органическим загрязнениям аэробные зоны будут короче, а аноксичные — длиннее. При снижении концентрации органических загрязнений режим должен изменяться в обратном соотношении.

Для реализации вышеприведенного режима работы циркуляционные окислительные каналы оснащаются пневматическими аэраторами, а в объеме технологической емкости создается циркуляционный поток иловой смеси, обеспечивающий транспорт нитрата из зон нитрификации в зоны денитрификации. Для этого емкости оборудуются погружными мешалками с большими диаметрами пропеллеров, выполняющими роль генераторов потока иловой смеси в них. Современные циркуляционные окислительные каналы представляют собой бетонные емкости кольцевой или овальной формы, зачастую сложных очертаний, для удлинения циркуляционного контура и увеличения вместимости и производительности сооружений (рис. 6).

Основное преимущество параллельной денитрификации заключается в возможности регулировать размеры зон нитрификации и денитрификации за счет изменения режима аэрации. Характер работы таких сооружений должен предусматривать регулирование аэрации, например, по содержанию нитратов, по содержанию аммония, по перелому характеристики окислительно-восстановительного потенциала или же по содержанию кислорода. При этом должен подбираться такой режим работы, при котором достигалась бы требуемая степень нитрификации при одновременном обеспечении достаточной денитрификации. Учитывая изменение параметров поступающих сточных вод, такого рода регулирование обеспечивается за счет изменения скоростей циркуляционного потока и величины подачи воздуха аэраторами в сооружение.

Окончание следует.