

# ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ биологическая очистка производственных сточных вод

И.М. Панова, К. Шустер  
ООО «Водако»

Технология биологической очистки, предусматривающая использование высоконагружаемых реакторов с иммобилизованной микрофлорой и традиционных аэротенков, позволяет обеспечить необходимую продолжительность контакта сточных вод с микроорганизмами активного ила и достичь эффективного удаления труднорастворимых органических соединений в условиях ограничения биогенных элементов.

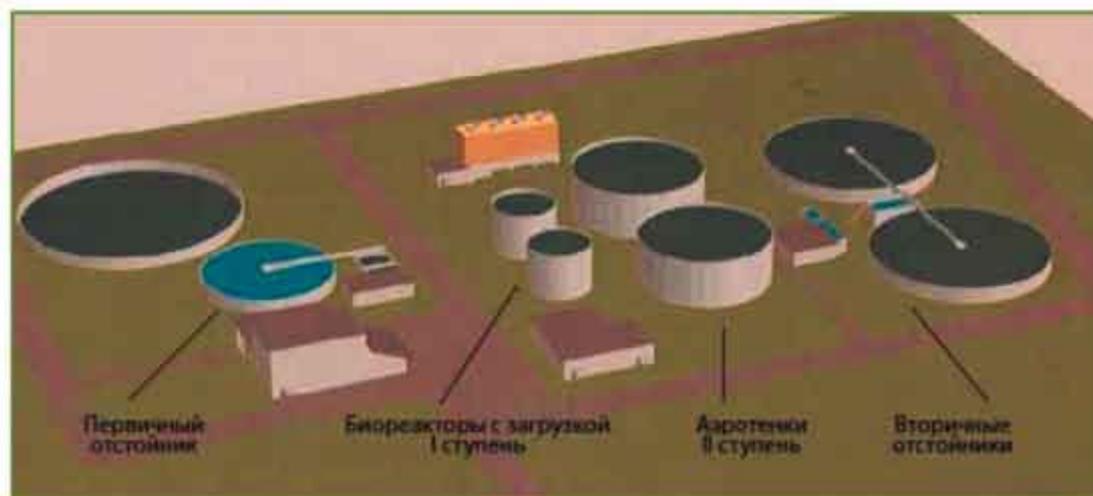
Производственные сточные воды многих промышленных предприятий отличаются повышенными концентрациями органических загрязнений, многие из которых к тому же относятся к трудноокисляемым соединениям. Их удаление требует как достаточных реакционных объемов аэротенков при заданной концентрации биомассы, так и длительного времени контакта сточных вод с микроорганизмами активного ила.

Для таких случаев аэробная биологическая очистка может быть орга-

низована по двухступенчатой схеме. При этом первая ступень предусматривает высокие нагрузки на ил (0,8-1,1 кгХПК на 1 кг СВ ила) и устойчива к залповым сбросам и колебаниям состава сточных вод. На второй ступени для микроорганизмов активного ила создаются антистрессовые условия, что позволяет достичь глубокого удаления остаточных органических загрязнений.

В обычных аэротенках свободно плавающая биомасса активно перемещается со сточной водой. При этом

Рис. 1. Сооружения биологической очистки сточных вод целлюлозного производства



в зависимости от способа разделения ила и очищенной воды концентрация биомассы в аэротенке достигает 4–8 г/л, причём выбор отстаивания в качестве метода вторичной очистки ограничивает значение дозы ила до 4–5 г/л. Дальнейшее повышение дозы ила и соответствующее уменьшение реакционного объёма аэротенка возможно в реакторах с неподвижной и плавающей загрузкой, которые часто называют биоплёночными реакторами, так как в них микрофлора иммобилизована на носителе – загрузке. Иммобилизация биомассы позволяет адсорбировать загрязнения на плёнке и таким образом увеличить продолжительность контакта независимо от скорости протекания сточной воды.

Особенности расчёта и организации процесса двухступенчатой биологической очистки с комбинацией свободной и прикрепленной микрофлоры рассмотрены далее на примере производственных очистных сооружений целлюлозной фабрики, ежегодно производящей около 600 тыс. т отбеленной длиннофазной целлюлозы. В сточных водах присутствуют биологически труднорастворимые лигнинные соединения, производные гемицеллюлозы, поли- и олигосахаридов, комплексообразующие добавки, ПАВ, остатки хлорсодержащих отбеливающих составов.

### ОПИСАНИЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКОЙ

Очистные сооружения производительностью около 50 000 м<sup>3</sup>/сут включают механическую очистку, первичное отстаивание, нейтрализацию, двухступенчатую биологическую очистку и обезвоживание осадка. В зависимости от типа сырья и вида продукции ХПК проб сточной воды может составлять от 300 до 6 000 мгО<sub>2</sub>/л.

Первая, высоконагружаемая, ступень биологической состоит из двух реакторов с плавающей загрузкой общим объёмом 6 100 м<sup>3</sup>. При расчётном расходе время пребывания сточных вод в реакционном объёме

составляет около 3 ч. Удельная нагрузка для расчёта принимается 13 кг ХПК/м<sup>3</sup>сут, в среднем – 8,7 кг ХПК/м<sup>3</sup>сут. Для иммобилизации микрофлоры в биореакторах используется специальная загрузка, представляющая собой цилиндрические элементы из полиэтилена с развитой внутренней поверхностью. Поверхность, образуемая 1 м<sup>3</sup> загрузки, составляет 750 м<sup>2</sup>, реально площадь обрастания можно оценить в 500 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Степень наполнения может составлять от 30 до 67% в зависимости от требуемой удельной нагрузки.

Конструкция элементов загрузки обеспечивает оптимальный контакт биомассы и субстрата, доступ питательных веществ и кислорода. Для удержания загрузки внутри биореактора установлена удерживающая решётка специальной конструкции. Внесение кислорода и необходимое перемешивание осуществляется с помощью донной системы крупнопузырчатой аэрации.

Частично очищенная вода из первой ступени поступает в аэротенки второй ступени, эксплуатируемые как низконагружаемые, что обеспечивает глубокую очистку и необходимую продолжительность процесса, что особенно важно для труднорастворимых веществ.

Рис. 2. Элементы плавающей загрузки биореакторов





Рис. 3. Биореактор I ступени



Рис. 4. Аэротенки II ступени



Рис. 5. Вторичный отстойник

Доза ила в аэротенках поддерживается на уровне 3–4 г/л, что соответствует удельной нагрузке на ил менее 0,1 кг БПК<sub>5</sub>/кг орг. СВ. Два аэротенка работают параллельно, предусмотрена возможность переключения на схему с одним аэротенком. Аэрация осуществляется с помощью четырех погружных струйных аэраторов, которые при низких нагрузках могут работать без внесения кислорода только для перемешивания.

Смесь воды и ила из аэротенков через устройство дегазации поступает для разделения в два параллельных вторичных отстойника, оборудованных донными илососами и устройствами сбора и удаления плавающих загрязнений.

Эффективность удаления БПК<sub>5</sub> составляет 98%, при этом 60–70% удаляется на первой ступени, снижение ХПК – на 70–80%, из них 40–50% на первой ступени. Концентрация взвешенных веществ на сливе из вторичных отстойников находится на уровне 20 мг/л, общего фосфора – около 0,2 мг/л, общего азота – около 2 мг/л.

### ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Обязательным условием для биологического процесса является поддержание баланса биогенных элементов. Потребность в азоте и фосфоре рассчитывается стехиометрически исходя из обобщенной формулы для биомассы  $C_{106}H_{180}O_{45}N_{16}P$ . Для образования 1 г биомассы требуется 62,5 мг азота или 1,6–2% фосфора.

Для сокращения расхода реагентов и гарантированного соблюдения нормативных значений процесс реализован в условиях ограничения биогенных элементов по сравнению с оптимальными значениями. На данный момент очистные сооружения эксплуатируются при соотношении БПК<sub>5</sub>:N:P, равном 100:0,5:0,1. При этом исследования подтверждают очень хорошие седиментационные свойства ила. Иловый индекс находится в диапазоне от 80 до 140 мл/л. Кроме снижения затрат на внешнее дозирование, это означает значительное сокращение прироста биомассы (количества избыточного ила) по сравнению с традиционными схемами. Средний прирост составляет около 0,12 кг СВ на 1 кг ХПК<sub>уд.</sub> или 0,08 г орг. СВ на 1 кг ХПК<sub>уд.</sub>

Это позволяет сделать вывод о том, что углерод в условиях недостатка азота не используется для производства биомассы, а откладывается в гранулятах внутри клеточных структур. Таким образом, при почти однократно эффективном разложении органического углерода (по сравнению с оптимальным балансом) расходуется значительно меньше фосфора и азота, что обуславливает пониженный прирост биомассы. В связи с образованием внутриклеточных гранулятов следует также отметить способность некоторых микроорганизмов с помощью фермента Nitrogenase фиксировать атмосферный азот. Однако эти наблюдения являются лишь следствиями из механизма реакции, только на их основе нельзя объяснить снижение прироста биомассы более чем на 50%. Причины следует

искать в гетерогенности образующегося биоценоза. Тогда как одни виды микроорганизмов очевидно используют этот механизм, другие реагируют, к примеру, повышенным образованием экзополисахаридов, внеклеточных полимерных веществ. Экзопалисахариды являются физиологической составляющей биопленки, сообщая ей гелевидный характер. При образовании хлопьев ила они также отвечают за связующие свойства между отдельными микроорганизмами.

При регулировании с помощью внешних коэнзимов экзополисахаридам придается свойства аккумуляторов питательных веществ, поэтому даже малые количества биогенных элементов используются эффективно. Матрица экзополисахаридов, составляя очень небольшую часть биопленки, содержит, однако, до 90% органи-

ческого углерода биопленки. При недостатке питательных веществ, соответственно при повышенных отношениях C:N или C:P у бактерий *Nitrosomonas* наблюдается повышенное образование экзополисахаридов. Дополнительные исследования микробиологических механизмов однозначно подтвердили теорию повышенного образования экзополисахаридов в условиях ограничения питательных веществ.

Комбинация из низко- и высоконагружаемой ступени на практике доказала положительное воздействие на свойства активного ила. Наблюдения показывают, что даже в условиях ограничения питательных веществ, гораздо ниже известного соотношения БПК<sub>5</sub>:N:P = 100:5(4-3):1(0,6-0,5), достигается высокая эффективность удаления органических загрязнений при значительно пониженном приросте биомассы.

**Мы предлагаем консультационные и инженерные услуги в области очистки производственных сточных вод:**

- Анализ производственного процесса и исследование проб в собственной лаборатории
- Выбор целесообразной технологии по результатам технико-экономической оценки
- Разработка задания на проектирование и проектной документации по технологическим решениям
- Подбор поставщиков, шеф-монтаж и пуско-наладочные работы



- Новое строительство
- Расширение производства
- Реконструкция
- Оптимизация процессов

**VODACO**

ООО "ВОДАКО"

127566, Москва, Алтуфьевское ш., д.48, корп.2, оф.206  
www.vodaco.ru +7 (495) 225-95-98 info@vodaco.ru