

УДК 628.35

**В. В. МАРКИН**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

Рассмотрены возможности повышения эффективности биологической очистки сточных вод на канализационных очистных сооружениях. В технологических схемах с аэротенками предлагается обустроить аноксидные зоны для денитрификации, в схемах с биофильтрами – переоборудовать двухъярусные отстойники в аэротенки-отстойники.

**очистка, сточные воды, аэротенк, биофильтр, нитрификация, денитрификация, двухъярусный отстойник**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Биологическая очистка сточных вод (СВ) является самой важной ступенью очистки, без удовлетворительного функционирования которой стоки можно назвать неочищенными, и при этом наиболее сложной, так как она осуществляется биоценозом бактерий и простейших организмов, которые в процессе своей жизнедеятельности в аэробных условиях окисляют коллоидные и растворенные органические вещества (определяемые по биологическому потреблению кислорода (БПК)), находящиеся в СВ, а также соединения азота и фосфора. Для активной жизнедеятельности микроорганизмов необходимо поддерживать оптимальные условия среды обитания. Эффективность биологической очистки по БПК и содержанию аммонийного азота должна составлять не менее 93–95 % [1].

В настоящее время на отечественных канализационных очистных сооружениях (КОС) существует ряд проблем, связанных с биологической очисткой, которые не позволяют очищать стоки с требуемой эффективностью. **Цель** данной работы – исследовать основные из этих проблем и определить пути их решения.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Биологическую очистку сточных вод от углеродных загрязнений осуществляют гетеротрофные бактерии, для которых возможны два пути переработки субстрата: в присутствии растворенного кислорода (аэробный) и при его отсутствии (анаэробный). На практике за основу взят аэробный способ окисления загрязнений.

При окислении субстрата бактерии получают энергию, необходимую для своей жизнедеятельности (при этом сложное органическое вещество  $C_xH_yO_zN$  разлагается до простых компонентов  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_4$ ) и синтезируют собственное клеточное вещество –  $C_5H_7NO_2$  [2]. Расход кислорода на эти биохимические превращения соответствует БПК<sub>полн</sub> стоков. Далее при дефиците органического вещества, когда внешний источник питания исчерпан, происходит самоокисление бактериальных клеток. Все реакции протекают под воздействием ферментов, выделяемых микроорганизмами.

На конечной стадии происходит процесс нитрификации: сначала азот аммонийный окисляется до нитритов, далее нитриты окисляются до нитратов. Нитрифицирующие микроорганизмы, осуществляющие этот процесс, – хемосинтезирующие автотрофы, источником углерода для них является углекислый газ, для ассимиляции которого они используют энергию, полученную от окисления аммонийного азота и нитритов. Присутствие органических соединений в сточной воде пагубно воздействует на развитие и активность нитрификаторов. Поэтому процесс нитрификации аммонийного азота начинается только после практически полного окисления углеродсодержащих соединений (БПК) [3]. Связано это с тем, что автотрофы-нитрификаторы проигрывают борьбу за кислород гетеротрофным микроорганизмам, окисляющим органические вещества.

© В. В. Маркин, 2013

Биологическая очистка СВ осуществляется, как правило, либо в биореакторах со взвешенной (свободной) биомассой – аэротенках, либо в сооружениях с прикрепленными на слоях загрузки микроорганизмами – биофильтрах, аэрофильтрах.

В аэротенках биомассальная масса пребывает в виде отдельных хлопьев – зооглейных скоплений бактерий и простейших микроорганизмов, называемых активным илом. Аэротенк представляет собой прямоугольное в плане сооружение, разделенное на несколько коридоров (от 2 до 4), через которые сточная жидкость протекает в процессе очистки. В аэротенк постоянно подается сжатый воздух системой аэрации, распределенной по всей длине коридоров, и обеспечивающей равномерное перемешивание иловой смеси и насыщение ее кислородом.

Биологический фильтр – сооружение, в котором сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой, образованной колониями микроорганизмов. Аэрация загрузки с биопленкой – естественная. В качестве загрузки выступают щебень, гравий и керамзит крупностью 25–40 мм. Высоконагружаемые биофильтры (аэрофильтры) отличаются большей высотой слоя загрузки, большей крупностью загрузки и искусственной аэрацией, которая осуществляется вентиляторами [4].

В таблице приведен список некоторых КОС Донецкой области с указанием сооружений биологической очистки СВ, а также проектные и фактические производительности очистных станций.

**Таблица** – Сведения о сооружениях биологической очистки на КОС Донецкой области

№ п/п	Наименование КОС	Год ввода в экс-ию	Производительность, тыс. м <sup>3</sup> /сут		Сооружения биологической очистки	
			Проект.	Фактич.	С использованием свободной биомассы	С фиксированными культурами
1	г. Амвросиевка	1976	11,00	0,64	Аэротенки	
2	г. Часов-Яр	1960	5,50	1,20		Аэрофильтры
3	п. Владимировка	1978	3,60	0,60		Аэрофильтры
4	п. Новотроицкое	1971	3,00	0,70		Биофильтры
5	г. Горловка	1972	92,20	25,94	Аэротенки	
6	пгт. Гольма	1980	2,80	0,83		Биофильтры
7	г. Дебальцево	1981	10,00	2,64	Аэротенки	
8	г. Дзержинск	1988	20,00	3,60	Аэротенки	
9	г. Димитров	1969	41,00	19,60	Аэротенки	
10	г. Доброполье	1983	11,20	2,45	Аэротенк	
11	г. Белицкое	1971	5,80	1,07		Аэрофильтры
12	пгт. Водянское	1967	0,80	0,09		Биофильтры
13	п. Новодонецкое	1960	2,70	0,52		Биофильтры
14	г. Дружковка	1971	29,70	3,94	Аэротенки	
15	г. Енакиево	1989	56,00	8,15	Аэротенки	
16	г. Кировское	1979	28,80	6,90	Аэротенки	
17	г. Константиновка	1978	40,00	8,70	Аэротенки	
18	г. Селидово	1989	23,00	4,10	Аэротенки	
19	г. Снежное	1975	16,70	4,98		Аэрофильтры
20	г. Торез	1975	32,00	3,24	Аэротенки	
21	п. ш-ты «Волынская»	1973	0,70	0,04		Биофильтры
22	г. Шахтерск	1978	20,00	3,00	Аэротенки	
23	п. Верхняя Андреевка	1957	0,10	0,06		Биофильтр
24	п. Донецкое	1963	0,20	0,07		Биофильтр
25	г. Макеевка	1972	90,00	30,90	Аэротенки	
26	п. Нижняя Крынка	1962	4,20	1,90		Биофильтры

Анализ таблицы показывает, что в Донецкой области на очистных сооружениях малой производительности – от 0,1 до 4,2 и от 3,6 до 16,7 тыс. м<sup>3</sup>/сут в качестве сооружений биологической очистки используются биофильтры и аэрофильтры соответственно, а для больших мощностей до 92 тыс. м<sup>3</sup>/сут были предусмотрены аэротенки.

При расчете аэротенков время аэрации СВ определялось согласно СНиП 2.04.03-85 [5] по формуле, учитывающей необходимое снижение БПК в стоках (мг БПК/л), концентрацию сухого вещества активного ила (г/л) и окислительную способность активного ила (мг БПК/г·час). То есть аэротенки рассчитывались на очистку стоков от органических веществ, при этом время необходимое для полного

окисления аммонийного азота ( $\text{NH}_4$ ) не учитывалось. В отечественной нормативно-технической документации и сейчас отсутствуют зависимости, позволяющие рассчитать снижение аммонийного азота до заданного значения. В то же время правилами охраны поверхностных вод установлена предельно допустимая концентрация (ПДК)  $\text{NH}_4$  для сброса очищенных СВ в водные объекты – не более 2 мг/л [6].

Как было отмечено ранее, процесс нитрификации начинается после очистки СВ от органических веществ, что требует более продолжительного времени пребывания стоков в контакте с активным илом. Для удовлетворительной нитрификации необходимы низкие нагрузки на активный ил и большой возраст ила, который позволяет сохранить необходимую численность нитрифицирующих микроорганизмов в системе. Поддержание возраста ила свыше 8 суток позволяет полностью восполнять потери нитрифицирующих бактерий [7]. В источнике [8] указывается, что возраст аэрированного ила, необходимого для проведения процесса нитрификации, зависит от температуры иловой смеси. Например, при температуре 12 °С необходимый возраст ила составляет 8 сут. В этом же источнике отмечено, что нитрификация осуществляется при низких нагрузках на ил – 100–200 мг БПК/г·сут и очень низких – не более 100 мг БПК/г·сут. Согласно [10] при средних нагрузках на ил – 400–500 мг БПК/г·сут нитрификация отсутствует, а при низких – 100–150 мг БПК/г·сут протекает особенно интенсивно.

Можно сделать вывод, что для полноценной очистки стоков от аммонийного азота аэротенк должен работать в режиме продленной аэрации. Опыт эксплуатации очистных сооружений Донецкой области показывает, что концентрация  $\text{NH}_4$  снижается до 2 мг/л при времени аэрации не менее 14–16 часов.

Несмотря на то, что аэротенки, построенные в 70-х, 80-х годах, были рассчитаны лишь на очистку сточных вод от органических загрязнений (время аэрации 5–6 часов, нагрузки на ил 400–500 мг БПК/г·сут), в настоящее время большая часть из них может работать в режиме продленной аэрации, обеспечивая глубокую нитрификацию СВ. Связано это с тем, что КОС нагружены лишь на 20–30 % (таблица).

Однако при этом возникает проблема высокого содержания нитратов в очищенных СВ, которое также лимитируется и должно составлять не более 60 мг/л. На тех КОС, где осуществляется процесс глубокой нитрификации (концентрация  $\text{NH}_4$  снижается до 2 мг/л), содержание нитратов в очищенной воде, как правило, превышает установленную норму, а в некоторых случаях доходит до 120–140 мг/л (например, КОС гг. Енакиево, Углегорск, Новоазовск). Причина этому – высокие концентрации  $\text{NH}_4$  в исходной сточной воде, которые за последние годы значительно увеличились и обусловлены снижением потребления воды населением.

Проблему денитрификации можно решить, отведя часть объема аэротенка под зону денитрификации. Учитывая недогруженность аэротенков, такая возможность существует. В мировой практике разработано большое количество различных комбинаций зон денитрификации и нитрификации в биореакторах для очистки СВ от соединений азота. Базовыми являются устройства зоны денитрификации в начале аэротенка и в конце.

Денитрификация происходит в условиях недостатка растворенного кислорода и присутствия нитратов (аноксидная зона). В условиях аноксии гетеротрофные микроорганизмы окисляют органическое вещество, используя  $\text{O}_2$ , связанный в нитратах, при этом выделяется атомарный азот  $\text{N}_2$  (реакция 1).

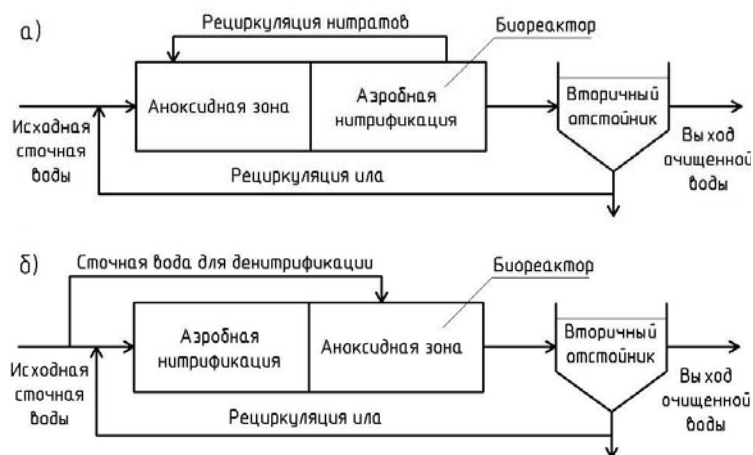


Так как для осуществления денитрификации требуется дефицит  $\text{O}_2$ , перемешивание смеси невозможно производить подачей сжатого воздуха, чаще всего для этого используют механические мешалки.

Если зона денитрификации устанавливается в начале аэротенка, необходимо обеспечить рециркуляцию иловой смеси из конца последнего коридора, где накоплено большое количество нитратов, в зону денитрификации, чтобы обеспечить контакт нитратов и легкоокисляемой органики (рисунок, а). По данным [9] необходимая степень внутренней рециркуляции может достигать 150–350 % от объема исходной СВ, что предопределяет установку мощных насосов или эрлифтов и ведет к значительным затратам электроэнергии.

Вторая базовая схема – устройство зоны денитрификации в конце аэротенка (рисунок, б). В этом случае, требуется подавать часть СВ в аноксидную зону для обеспечения ее легкоокисляемой органикой. Если содержание органических веществ в СВ недостаточно для осуществления денитрификации, добавляют внешний источник экзогенного углерода, которым могут быть метанол, этанол, ацетат, уксусная кислота.

Реконструкция существующих аэротенков, работающих на полное окисление органических веществ и аммонийного азота, с обустройством зон денитрификации позволит очищать СВ не только



**Рисунок** – Базовые схемы денитрификации: а) с предшествующей аноксией; б) с последующей аноксией.

от органических веществ, но и комплексно от соединений группы азота (аммонийного азота, нитритов, нитратов), что улучшит экологическую обстановку в регионе и в стране в целом.

При очистке СВ на биофильтрах и аэрофильтрах говорить о какой-либо нитрификации-денитрификации вообще не приходится. Во-первых, при проектировании эти сооружения также рассчитывались только на очистку от органических загрязнений (БПК), их способность окислять аммонийный азот не учитывалась. Как следствие, даже после первого запуска и наладки на биофильтрах невозможно было получить очищенную от  $\text{NH}_4$  до заданной нормы сточную воду. Во-вторых, в процессе эксплуатации загрузка биофильтров быстро заиливается, из-за чего стоки не распределяются равномерно по поверхности и далее по телу загрузки, а просачиваются через незаиленные участки, что ведет к снижению времени пребывания СВ в биофильтре и эффекта очистки.

В настоящее время биологические фильтры с щебеночной и гравийной загрузкой являются устаревшей технологией и при новом строительстве не применяются, уступая место биофильтрам с пластиковыми нагрузками, которые имеют более высокий индекс пустот (70–95 %) по сравнению с традиционными (50–60 %) и соответственно более низкую заиляемость [9]. Однако даже биофильтры с пластиковой загрузкой не могут обеспечить очистку СВ по БПК и полную нитрификацию одновременно, поэтому они применяются в двухступенчатых и трехступенчатых технологических схемах (два, три биофильтра включены последовательно, либо биофильтр и аэротенк).

Большая часть биофильтров, приведенных в таблице, не работает. Оставшиеся работают, но не обеспечивают биологическую очистку СВ до нормативных показателей (особенно по БПК и  $\text{NH}_4$ ). Использование рециркуляции, когда часть очищенных стоков после вторичного отстаивания подается перед биофильтрами, частично улучшает эффект очистки (снижается содержание взвешенных веществ и БПК) и уменьшает скорость заиливания загрузки, но кардинально ситуацию не меняет.

Решить проблему биологической очистки СВ на КОС с биофильтрами и аэрофильтрами можно с помощью реконструкции первичных, либо вторичных отстойников в биореакторы. В технологических схемах с применением биофильтров для первичного отстаивания использовали, как правило, двухъярусные отстойники (эмшеры), для вторичного – вертикальные отстойники. Двухъярусные отстойники более привлекательны для переоборудования под биореакторы, так как их объем больше, чем вертикальных отстойников за счет септической части, которая рассчитана на сбрасывание осадка в течение 10–15 суток. Септическую часть отстойника можно переоборудовать в зону аэрации, а осадочные желоба использовать как вторичные отстойники. Таким образом, из двухъярусного отстойника получится аэротенк-отстойник. В этом случае биофильтры из технологической схемы очистки выключаются, а вторичные отстойники целесообразно задействовать в качестве контактных резервуаров. При правильном расчете аэротенков-отстойников на выходе можно будет получать биологически полностью очищенную сточную воду.

## ВЫВОДЫ

Для улучшения экологической ситуации в стране и предотвращения попадания неочищенных СВ в окружающую природную среду требуется реконструкция существующих станций биологической очистки. В технологических схемах с аэротенками необходимо обеспечить возможность проведения не только нитрификации, но и денитрификации (для полной очистки СВ от соединений азота), для чего следует обустроить в аэротенках аноксидные зоны.

В схемах с биофильтрами, которые являются сооружениями устаревшей технологии, полную биологическую очистку можно осуществлять в двухъярусных отстойниках, переоборудованных предварительно в аэротенки-отстойники. Сами биофильтры при этом следует выключить из работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст] / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с. – ISBN 5-93093-119-4.
2. Канализация [Текст] / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов. – М. : Стройиздат, 1975. – 632 с.
3. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками [Текст] / Н. С. Жмур. – М. : АКВАРОС, 2003. – 512 с. – ISBN 5-901652-05-3.
4. Гудков, А. Г. Биологическая очистка городских сточных вод [Текст] / А. Г. Гудков. – Вологда : ВоГТУ, 2002. – 127 с. – ISBN 5-87851-174-6.
5. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения [Текст]. – Взамен СНиП II-32-74 ; введ. 1986-01-01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.
6. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами [Текст] : Затв. Постановою КМУ від 25.03.1999 р. № 465. – Київ : Урядовий портал, 1999. – 5 с.
7. Хаммер, М. Дж. Технология обработки природных и сточных вод [Текст] / М. Дж. Хаммер; пер. с англ. под ред. Т. А. Карюхиной. – М. : Стройиздат, 1979. – 400 с.
8. Degremont. Технический справочник по обработке воды [Текст]. В 2 т. Т. 1 : пер. с фр. / под ред. М. И. Алексева. – СПб. : Новый журнал, 2007. – 775 с. – ISBN 5-901336-05-4.
9. Degremont. Технический справочник по обработке воды [Текст]. D 2 т. Т. 2 : пер. с фр. / под ред. М. И. Алексева. – СПб. : Новый журнал, 2007. – 921 с. – ISBN 5-901336-05-4.
10. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации [Текст] / Гл. упр. водопроводно-канализац. хоз-ва. – М. : Стройиздат, 1979. – 299 с.

Получено 23.09.2013

### В. В. МАРКІН МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто можливості підвищення ефективності біологічної очистки стічних вод на каналізаційних очисних спорудах. У технологічних схемах з аэротенками пропонується облаштувати аноксидні зони для денітрифікації, у схемах із біофільтрами – переобладнати двох'ярусні відстійники в аэротенки-відстійники.

**очищення, стічні води, аэротенк, біофільтр, нітрифікація, денітрифікація, двох'ярусний відстійник**

### VYACHESLAV MARKIN POSSIBILITIES OF INCREASING OF EFFICIENCY OF THE BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Possibilities of increasing of efficiency of the biological wastewater treatment in wastewater treatment plants have been considered. In flowsheets with aeration tanks to equip anoxic zone for denitrification is proposed and to convert two-tier settlers in aeration tanks-settlers is proposed in flowsheets with biofilters.

**treatment, waste water, aeration tank, biofilter, nitrification, denitrification, two-tier settler**

**Маркін В'ячеслав Володимирович** – магістр; інженер-технолог КП «Компанія "Вода Донбасу"». Наукові інтереси: очистка стічних вод, обробка і утилізація осадів побутових стічних вод.

**Маркин Вячеслав Владимирович** – магістр; інженер-технолог КП «Компанія "Вода Донбасса"». Научные интересы: очистка сточных вод, обработка и утилизация осадков бытовых сточных вод.

**Markin Vyacheslav** – MPhil; a process engineer of CE «The Donbas Water Company». Scientific interests: waste water treatment, sewage sludge processing and utilization.