



М. М. Пукемо, канд. техн. наук, доцент, МИРЭА – Российский технологический университет, член Экспертно-технологического совета РАВВ, председатель совета директоров Alta Group

А. А. Кулаков, канд. техн. наук, доцент, МИРЭА – Российский технологический университет, член Экспертно-технологического совета РАВВ

Р. В. Желтухин, старший инженер АСУ, Alta Group

ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ БОЛЬНИЦЫ: ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ключевые слова: очистные сооружения, сточные воды больницы, дополнительный субстрат, сахароза, денитрификация

В результате деятельности больниц образуется большое количество отходов, в т. ч. биологических, опасных для человека и окружающей среды. В первую очередь это относится к канализационным стокам.

Сточные воды больниц характеризуются высокими концентрациями азота на входе в очистные сооружения при низких значениях ХПК и БПК (соотношение БПК/азот может достигать 1). Канализационные очистные сооружения с удалением азота проектируются с учетом глубокого окисления аммонийного азота (нитрификация) и восстановления образующегося нитратного азота (денитрификация). Однако состав поступающих на очистку сточных вод, как в случае со стоками больниц, не всегда позволяет применять традиционные технологические решения по удалению азотных соединений. В данной статье рассматриваются особенности эксплуатации очистных сооружений больничного комплекса на примере МКЦИБ «Вороновское».

Объект

Московский клинический центр инфекционных болезней «Вороновское» был открыт в апреле 2020 года.

Медицинский центр представляет собой автономный комплекс: диагностический центр, лаборатория, центр санитарной обработки,

патолого-анатомический комплекс и даже родовое отделение позволяют центру не зависеть от другой медицинской инфраструктуры.

При проектировании очистных сооружений перед специалистами стояла задача обеспечить возможность работы в режиме неравномерной нагрузки, недозагрузки или с сильно разбавленными стоками.

Все канализационные стоки первым делом очищаются и обеззараживаются на территории самой больницы, только после этого выводятся на локальные очистные сооружения. Такой подход гарантирует безопасность деятельности больницы для окружающей среды.

Подрядчиком в части проектирования и поставки очистных сооружений выступила компания ALTA GROUP.

Технологические решения

На этапе проектирования очистных сооружений больничного комплекса данных по фактическому составу сточных вод не было, поэтому были приняты стандартные для хозяйственно-бытовых стоков показатели согласно СП 32.13330.2018. Поправка была сделана на возможное наличие в поступающем потоке хлорсодержащих соединений.

Проектная производительность сооружений составила 1200 м³/сут., предусмотрено шесть линий биологической очистки по 200 м³/сут. для возможности поэтапного запуска. Технологическая схема сооружений приведена на рис. 1.

Сточные воды от больницы подаются насосами на ступень механической очистки от крупных примесей и песка в комбинированную установку. Далее поступают в усреднитель с максимальным объемом 800 м³ (рабочий уровень поддерживается автоматикой очистных сооружений на уровне 50 % от общего объема усреднительного резервуара). В усреднительном резервуаре при необходимости обеспечивается снижение концентрации остаточного



Московский клинический центр инфекционных болезней «Воронское»

хлора, контроль содержания которого осуществляется автоматически в распределительной камере.

Усредненный поток сточных вод подается насосами с частотным приводом в распределительную камеру и разделяется на технологические линии биологической очистки. Контроль расхода сточных вод осуществляется автоматически на общем потоке от усреднительного резервуара и на входе в каждую технологическую линию.

Технологические линии биологической очистки включают две ступени. На первой ступени в режиме высокой нагрузки по органическим

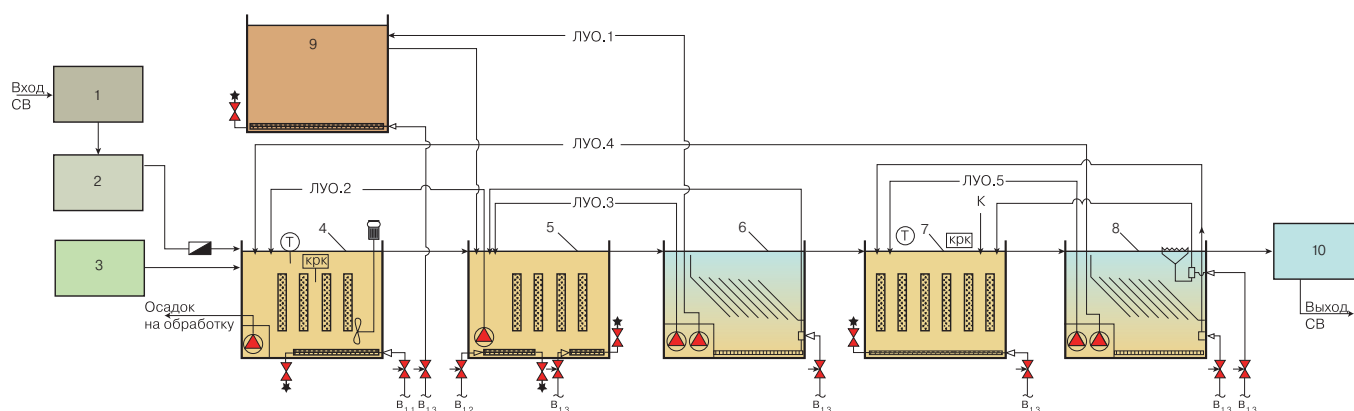


Рис. 1. Технологическая схема очистных сооружений: 1 – механическая очистка; 2 – усреднение и распределение сточных вод; 3 – дополнительный субстрат; 4 – денитрификатор; 5 – аэротенк; 6 – вторичный отстойник первой ступени; 7 – аэробный биореактор; 8 – вторичный отстойник второй ступени; 9 – стабилизатор осадка; 10 – доочистка и обеззараживание сточных вод; К – коагулянт; подача воздуха: $v_{1.1}$ – периодически включаемая, $v_{1.2}$ – периодически выключаемая, $v_{1.3}$ – постоянная; ЛУО – линия удаления осадка; Т – датчик температуры; КРК – датчик растворенного кислорода

веществам обеспечивается денитрификация (аноксидный биореактор с мешалкой), а также окисление органических веществ (аэробный биореактор), на второй ступени – глубокая нитрификация (аэробный биореактор второй ступени). Для иммобилизации биопленки все биореакторы оснащены жестко закрепленной биоагрузкой, заблокированной в кассеты (рис. 2). Биоценоз очистных сооружений преимущественно представлен прикрепленной к материалу-носителю биопленкой.

Седиментация свободноплавающего биоценоза осуществляется во вторичных тонкослойных отстойниках первой и второй ступеней. В схеме предусмотрена рециркуляция

нитратсодержащего потока из вторичного отстойника второй ступени в денитрификатор.

После биологической очистки сточные воды проходят доочистку на дисковых фильтрах и обеззараживаются УФ-лампами, после чего отводятся на сброс. Перед стадией обеззараживания предусмотрена дополнительная (опционально подключаемая) технологическая стадия сорбционной доочистки на напорных фильтрах, загруженных активированным углем. Эта стадия на данный момент эксплуатации не задействована.

На период пусконаладочных работ проектом предусмотрена возможность утилизации сточных вод, прошедших очистку и обеззараживание. Осадок очистных сооружений аэробно стабилизируется и обезвоживается на шнековых установках с предварительной обработкой флокулянтom. Образующиеся отбросы, песок и кек собираются в контейнеры и обеззараживаются товарным гипохлоритом натрия, после чего вывозятся для последующей утилизации.

Данные по фактическому объему технологических узлов одной линии и проектной продолжительности пребывания сточных вод в каждом узле приведены в табл. 1. Доля объема биоагрузки от объема реактора составляет 16 %, удельная поверхность биоагрузки – $1993 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

В ходе эксплуатации были выявлены не учтенные при проектировании особенности объекта, изменение которых уже не представлялось возможным:

- низкая температура сточных вод и отсутствие способов ее корректировки;
- поступление на очистные сооружения поверхностных сточных вод вместе с хозяйственно-бытовыми;
- низкое содержание органических веществ при высоком содержании соединений азота в поступающих сточных водах.

В данной статье рассматриваются особенности эксплуатации построенных и запущенных в работу очистных сооружений большого комплекса, а также поиск методов решения выявленных проблем.

Характеристика поступающих сточных вод

Несмотря на имеющийся регулирующий резервуар, гидравлическая нагрузка на сооружения колеблется в широких пределах в связи с поступлением поверхностных сточных вод с

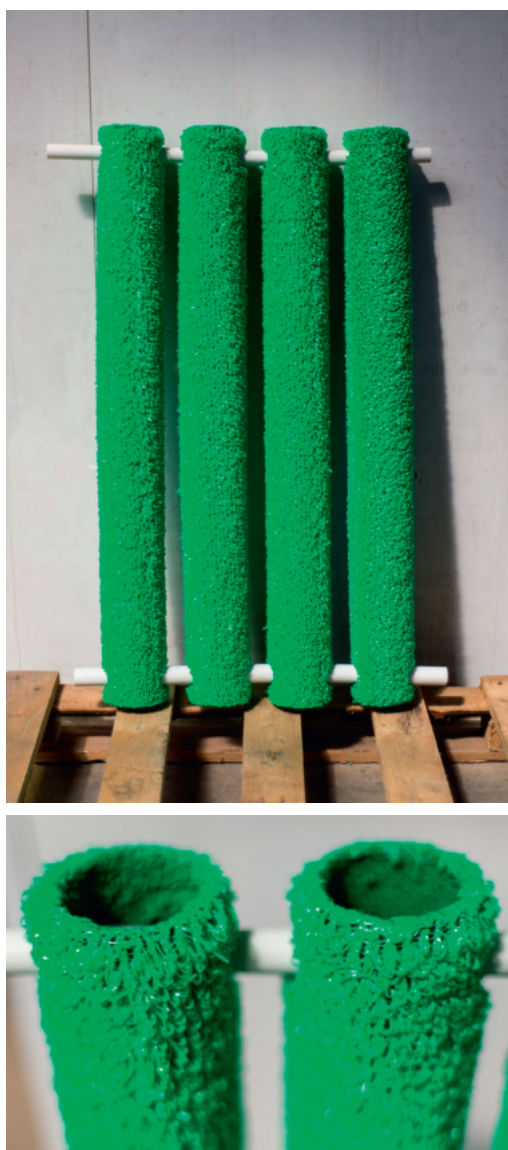


Рис. 2. Биоагрузка: а – расположение в блоке; б – единичная кассета

Таблица 1

Объем технологических узлов очистной линии и проектная продолжительность пребывания сточных вод в каждом из них

Блок	Технологический узел	Объем, м ³	T*, ч
1	Денитрификатор	18,3	2,2
2	Аэротенк	30,0	3,6
3	Вторичный отстойник первой ступени	15,0	1,8
4	Аэробный биореактор	73,3	8,8
5	Вторичный отстойник второй ступени	18,3	2,2
	Итого	154,9	18,6

* Продолжительность при проектном расходе на линию 200 м³/сут. (8,3 м³/ч).

территории больницы. Дождевые и талые воды влияют на расход сточных вод, поступающих на очистные сооружения, что также приводит к существенному снижению температуры стоков. Расход исходных сточных вод измерялся в постоянном режиме расходомером, колебания суточных расходов приведены на рис. 3.

В большую долю дней (59 %) расход составлял от 160 до 250 м³/сут., а в 85 % случаев расход был менее 320 м³/сут. Пикам соответствовал приток поверхностного стока в виде атмосферных осадков, а в сухую погоду расход сточных вод был стабилен и близок к средним значениям (200–230 м³/сут).

Температура сточных вод (рис. 4) сильно коррелирует с температурой атмосферного воздуха и имеет низкие значения. Даже в летний период температура сточных вод редко поднималась выше +15 °С. При понижении температуры воздуха ниже +5 °С температура сточных вод понижалась до минимума (+7–8 °С). Предположительно в зимний период температура поступающих на очистные сооружения сточных вод не поднимется выше +8 °С.

Направления интенсификации процессов очистки сточных вод при низких температурах будут рассматриваться в дальнейшем.

Фактический состав поступающих сточных вод значительно отличается от проектных значений. В табл. 2 приведены результаты обработки данных лабораторного контроля, включающие максимальные, минимальные и средние значения по каждому показателю, а также по каждому показателю для 15 и 85 % проб (значения показателя при отбрасывании 15 % проб с минимальными и максимальными значениями).

Фактически поступающие сточные воды отличаются низким соотношением БПК₅/азот общий (не превышает 1,48 в 85 % проб), что не

позволяет обеспечить надлежащую денитрификацию. Отмечается дефицит органического питания (субстрата) для денитрифицирующих бактерий, а также низкая доля легкоокисляемой органики в сточных водах (соотношение БПК₅/ХПК в среднем 0,3).

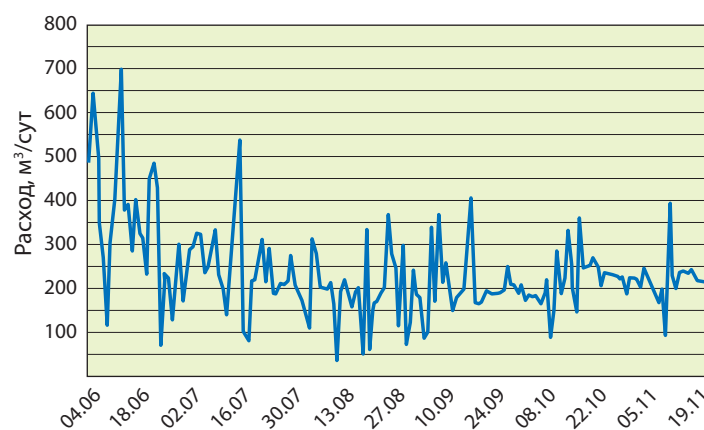


Рис. 3. Динамика расхода сточных вод

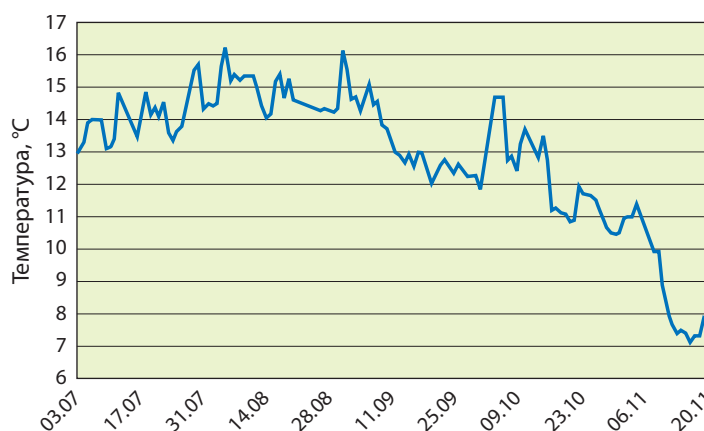


Рис. 4. Колебания температуры поступающих сточных вод

Таблица 2

Данные лабораторного контроля сточных вод

Показатель	Значение				
	при доле проб без превышения		минимальное	среднее	максимальное
	15 %	85 %			
Водородный показатель	7,60	7,90	7,00	7,80	8,90
Взвешенные вещества, мг/л	22,10	66,00	4,00	48,40	140,00
БПК ₅ , мг/л	24,50	55,00	6,60	42,30	123,00
ХПК, мг/л	78,60	183,70	56,00	128,90	230,00
Азот общий, мг/л	33,00	54,20	7,70	43,40	74,00
Азот аммонийный, мг/л	21,60	41,40	5,70	31,20	62,10
ПАВ анионные, мг/л	0,90	1,90	1,20	12,30	27,90
$N_{\text{общ}}/N-NH_4$, доля	1,16	1,65	1,00	1,50	4,30
ХПК/БПК ₅ , доля	2,01	4,71	1,50	3,60	11,40
БПК ₅ /ХПК, доля	0,21	0,50	0,10	0,30	0,70
БПК ₅ / $N_{\text{общ}}$, доля	0,50	1,48	0,20	1,20	6,80

Содержание взвешенных веществ в исходных сточных водах минимально, жидкость немного мутная, что характерно для низкоконтентированных сточных вод без включения отчетливо видимых плавающих частиц. Мусора и песка нет, поэтому предназначенные для их сбора контейнеры пусты в течение шести месяцев эксплуатации. Крупный мусор отделяется в резервуаре насосной станции на территории больницы.

Еще одна характерная особенность сточных вод – высокое содержание хлорсодержащих соединений на первом этапе пусконаладочных работ. Резкий запах хлора распространялся от сточных вод при открытии технологических горловин и крышек обслуживания линии биологической очистки. Особенно резкий запах хлора наблюдался в регулирующем резервуаре.

Согласно [1], даже при содержании остаточного хлора 0,2 мг/л процессы потребления кислорода активным илом тормозятся более чем на 80 %, что непосредственно сказывается на эффективности очистки. Согласно Приложению 5 Правил холодного водоснабжения и водоотведения, содержание хлора и хлораминов в сточных водах, отводимых в системы централизованного водоотведения, не должно превышать 5 мг/л.

В отобранных пробах поступающих сточных вод содержание общего хлора составляло 5,4–6,8 мг/л, свободного (остаточного) хлора – 0,65–0,95 мг/л. В данных условиях биоценоз не мог нормально развиваться. Частично окислялись органические вещества (возможно, за счет хлора), процессы нитрификации не протекали должным

образом. В рамках пусконаладочных работ концентрация хлорреагентов, дозируемых на территории больницы, была оптимизирована с целью достижения требуемых санитарно-эпидемиологических показателей без негативного влияния на биоценоз очистных сооружений.

После снижения содержания хлора в поступающих сточных водах начался активный рост биомассы, а процессы очистки по органическим соединениям и азоту активизировались. Работа биологических сооружений стабилизировалась, и был обеспечен определенный эффект по нитрификации сточных вод. Однако низкое содержание органического вещества в исходных стоках не позволило добиться требуемой степени денитрификации.

Еще одним фактором негативного влияния на биоценоз очистных сооружений больничного комплекса может являться остаточное содержание медикаментов в поступающих сточных водах. Данный вопрос на момент написания статьи не был исследован.

Дозирование дополнительного источника органики (субстрата) для денитрификации

Для удовлетворительного протекания процессов денитрификации в поступающих на биологическую очистку сточных водах должно соблюдаться определенное соотношение БПК₅ и азота общего. Удельный расход органических веществ по БПК_{полн} при этом составляет 3,43 г/г N–NO₃ [2].

В литературе также рассматривается соотношение ХПК и азота общего с точки зрения обеспечения его влияния на процесс денитрификации. Согласно [3], для протекания денитрификации рекомендуемое соотношение ХПК/азот составляет 4–5 (для органического вещества сточных вод). Большинство отобранных проб поступающих на очистные сооружения сточных вод не соответствуют данным диапазонам значений ХПК, БПК₅ и азота общего.

Для стабильного протекания процессов денитрификации рекомендуется корректировать состав сточных вод при помощи дозирования дополнительного источника органики (субстрата). В качестве дополнительного источника углерода можно использовать метанол, этанол, уксусную кислоту, сточные воды пивных производств, сахарозу и др.

В мировой практике широкое применение нашел метанол, обладающий высокой эффективностью. Однако по соображениям защиты персонала (метанол – смертельный яд) его использовать не рекомендуется. Применение уксусной кислоты для данного объекта привело бы к критическому снижению pH, поэтому в качестве субстрата для дополнительного источника органики был выбран сахар. Проведен расчет потребности в субстрате по двум методикам.

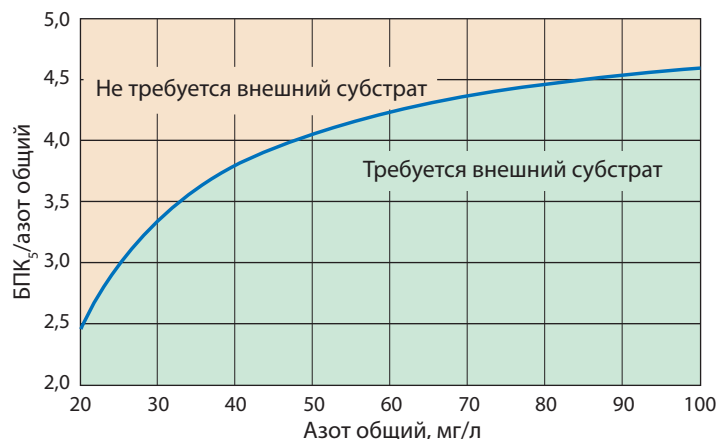


Рис. 5. Взаимосвязь минимального соотношения БПК₅/азот общий и содержания общего азота в поступающих сточных водах для обеспечения денитрификации без внешнего субстрата

Согласно [2], если значение БПК_{полн} в исходной сточной воде окажется недостаточным для денитрификации, необходимо дозировать в аноксидную зону дополнительный легкоокисляемый органический субстрат – этанол, уксусную кислоту, глицерин и др. Доза дополнительного субстрата, мг/л, определяется по формуле:

$$d_{\text{доп}} = \frac{1,2K_{\text{БПК}/N_{\text{ден}}}(N_{\text{общ.вх}} - N_{\text{общ.вых}} - N_{\text{изб.ил}})}{\text{БПК}_{\text{доп}}} - \frac{\text{БПК}_{\text{вх}} - \Delta\text{БПК}_{\text{анаэр}}}{\text{БПК}_{\text{доп}}}, \quad (1)$$

где 1,2 – коэффициент запаса;

$K_{\text{БПК}/N_{\text{ден}}}$ – удельный расход БПК на денитрификацию – 3,43 мг/мг N–NO₃;

$N_{\text{общ.вх}}$ – концентрация азота общего (на входе в аэротенк), мг/л;

$N_{\text{общ.вых}}$ – концентрация азота общего (после вторичных отстойников), мг/л;

Р НП «АВОК» 7.8.1-2020



РЕКОМЕНДАЦИИ АВОК

ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ
ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЬНИЦ



ISBN 978-5-98267-106-6

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО
«Инженеры по отоплению, вентиляции,
кондиционированию воздуха, теплоснабжению
и строительной теплофизике» (НП «АВОК»)
www.abok.ru

РЕКОМЕНДАЦИИ НП «АВОК» 7.8.1-2020
«ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЬНИЦ»
 И ПРИЛОЖЕНИЕ «ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЬНИЦ»

Заказать рекомендации можно на сайте www.abokbook.ru.

$N_{\text{изб.ил}}$ – удаление азота с избыточным илом, мг/л;

$\text{БПК}_{\text{доп}}$ – удельное $\text{БПК}_{\text{полн}}$ дополнительного субстрата, мг/мг;

$\text{БПК}_{\text{вх}}$ – $\text{БПК}_{\text{полн}}$ на входе в аэротенк, мг/л;

$\Delta \text{БПК}_{\text{анаэр}}$ – расход $\text{БПК}_{\text{полн}}$ на удаление фосфора, мг/л.

Согласно [4], расчет потребности в субстрате осуществляется с учетом обеспечения органикой нитратного азота, требующего удаления. Концентрация нитратного азота, подлежащего удалению, мг/л, определяется по формуле:

$$C_{\text{NO}_3\text{уд}} = C_{\text{N}_{\text{вхББО}}} - C_{\text{N}_{\text{орг.вых.ф}}} - C_{\text{NH}_4\text{вых}} - C_{\text{NO}_3\text{вых}} - X_{\text{N}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{N}_{\text{вхББО}}}$ – содержание азота общего в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/л;

$C_{\text{N}_{\text{орг.вых.ф}}}$ – концентрация органического азота в фильтрованной пробе очищенной воды, мг/л (для рассматриваемого объекта составляет 2–4 мг/л, в дальнейших расчетах принимается равным 2 как наиболее критическое значение);

$C_{\text{NH}_4\text{вых}}$ – концентрация азота аммонийного в очищенной воде, мг/л;

$C_{\text{NO}_3\text{вых}}$ – расчетная концентрация азота нитратного в очищенной воде (принимается 8 мг/л, что на 1 мг/л ниже ПДК для обеспечения технологического резерва);

X_{N} – концентрация азота, входящего в состав прироста биомассы (активного ила), мг/л (рекомендуется 0,045 от $C_{\text{БПК}_{\text{вхББО}}}$);

$C_{\text{БПК}_{\text{вхББО}}}$ – концентрация БПК_5 в сточной воде, поступающей на биологическую очистку, мг/л.

Доза добавляемого внешнего субстрата, мг/л, определяется исходя из величины азота $C_{\text{NO}_3\text{доп}}$, который не может быть удален с использованием органического вещества сточных вод:

$$C_{\text{NO}_3\text{доп}} = C_{\text{NO}_3\text{уд}} - 0,15 C_{\text{БПК}_{\text{ден}}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{БПК}_{\text{ден}}}$ – концентрация БПК_5 , принимаемая для расчета денитрификации, мг/л; для рядов фактических данных принимаем, что $C_{\text{БПК}_{\text{вхББО}}} = C_{\text{БПК}_{\text{ден}}}$;

0,15 – максимальное значение соотношения концентрации денитрифицируемого азота и БПК_5 в поступающей в аэротенк сточной воде, при котором весь азот может быть удален с использованием органического вещества сточных вод.

Количество добавляемого вместе с дополнительным субстратом ХПК принимается равным

5 мг/мг от величины $C_{\text{NO}_3\text{доп}}$. Расход субстрата $M_{\text{суб}}$, мг/л, с учетом его ХПК составит:

$$M_{\text{суб}} = \frac{5(C_{\text{N}_{\text{вхББО}}} - C_{\text{N}_{\text{орг.вых.ф}}} - 8,4 - 0,195 C_{\text{БПК}_{\text{вхББО}}})}{C_{\text{ХПК}_{\text{суб}}}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{ХПК}_{\text{суб}}}$ – ХПК субстрата, кг/кг.

Параметры сахарозы составляют: ХПК = 1,12 кг/кг, $\text{БПК}_{\text{полн}} = 0,59$ кг/кг, $\text{БПК}_5 = 0,49$ кг/кг.

Из формул (2) и (3) выведем условие, при котором необходимо начинать дозировать внешний субстрат, приняв, что $C_{\text{NO}_3\text{доп}} = 0$, и получим, что минимальная величина БПК_5 , мг/л, для денитрификации известного содержания азота на входе составит:

$$C_{\text{БПК}_{\text{вхББО}}} = \frac{C_{\text{N}_{\text{вхББО}}} - C_{\text{N}_{\text{орг.вых.ф}}} - 8,4}{0,195}, \quad (5)$$

Потребность во внешнем субстрате определяется как соотношением БПК_5 /азот общий, так и содержанием общего азота в исходной сточной воде. Для рядов возможных данных получим график потребности в субстрате в зависимости от пропорции БПК_5 /азот общий и концентрации азота в исходной воде (рис. 5). Чем меньше содержится азота в сточных водах на входе в очистные сооружения (ниже требуемая величина его удаления), тем ниже пропорция БПК_5 /азот, достаточная для денитрификации, и ниже порог необходимости дозирования субстрата.

Литература

1. Жмур Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003.
2. Швецов В. Н., Морозова К. М., Степанов С. В. Расчет сооружений биологической очистки городских и производственных сточных вод в аэротенках с удалением биогенных элементов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 9. – С. 26–39.
3. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод: пер. с англ. – М.: Мир, 2009.
4. Данилович Д. А., Эпов А. Н. Расчет и технологическое проектирование процессов и сооружений удаления азота и фосфора из городских сточных вод. – М: Буки Веди, 2020.
5. Жмур Н. С. Анализ причин развития и методы подавления нитчатого вспухания активного ила и пенообразования. Часть 1 // Водоснабжение и канализация. – 2011. – № 1–2. – С. 94–106.

Окончание статьи о результатах исследования по дозированию внешнего источника субстрата читайте в следующем номере журнала.