

В.Е. АДЖИЕНКО, Д.А. ДАНИЛОВИЧ, Ф.А. ДАЙНЕКО, Б.А. ЕРШОВ,
Л.С. САВЕЛЬЕВА, Н.А. БЕЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА АЭРОБНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА

Люберецкая станция аэрации г. Москвы (ЛБСА) принимает на очистку 2,7-2,8 млн.м³ сточной воды в сутки. Смесь осадка первичных отстойников и уплотненного избыточного активного ила (АИ) в количестве 10-12тыс.м³/сут подвергается метановому сбраживанию в термофильном режиме (50-53°С) с дозой загрузки 16-18 %. Соотношение сухого вещества первичного осадка (ПО) и активного ила составляет 1,5-1,0.

В последние годы на ЛБСА обострились проблемы эксплуатации метантенков, связанные с износом строительных конструкций постройки 60-х годов, зашламливанием песком и плавающими веществами (коркой), занимающей до 30 % рабочего объема сооружений. С целью обеспечения надежной эксплуатации метантенков и увеличения глубины сбраживания осадка МГП «Мосводоканал» планирует осуществить их реконструкцию. Для снижения нагрузки на метантенки в период их реконструкции была рассмотрена возможность временного перехода на аэробную стабилизацию части или всего избыточного активного ила в одном из аэротенков станции аэрации с последующим уплотнением стабилизированного ила и его обезвоживанием совместно со сброженным ПО.

С целью определения основных технологических показателей процесса аэробной стабилизации АИ и необходимых технических мероприятий по переоборудованию типового аэротенка в стабилизатор нами были проведены лабораторные исследования и промышленные испытания процесса. Главным требованием к стабилизированному илу было отсутствие гниения при механическом обезвоживании в цехе и при последующем размещении обезвоженного осадка на промежуточных складах. Сокращение сухого вещества АИ в процессе стабилизации было важным, но подчиненным первому требованию, при выборе оптимального технологического решения.

1. Материалы и методы

В период проведения лабораторных экспериментов и промышленных испытаний подлежащий стабилизации АИ ЛБСА характеризовался следующими показателями: возраст - 11-12 суток, зольность - 24,5-26,2 %, нагрузка по БПК₅ ~ 0,07 кг/кг×сут.

Лабораторные эксперименты по стабилизации АИ с временем обработки 10 суток проводили в модельных реакторах периодического действия объемом 10 л в режиме идеального вытеснения при концентрации ила 5, 10 и 15 г/л (по факту 5,7, 11,2 и 17,5 г/л) при комнатной температуре (18-24°С).

Промышленные испытания аэробной стабилизации АИ проводили с декабря по апрель в проточном режиме в четырехкоридорном аэротенке объемом 28 тыс.м³ и глубиной 5 м, в котором 1-й коридор (регенератор) имеет двустороннюю раскладку керамических фильтросных пластин в два ряда, 2, 3 и 4-й коридоры - одностороннюю раскладку фильтросов также в два ряда. Продолжительность стабилизации ила в аэротенке составляла 2 и 4 суток при концентрации 4-5г/л.

Скорость потребления кислорода (СПК) определяли в респирометрической



ячейке кислородным датчиком и кислородомером фирмы «Альфа-БАССЕНС» (Россия). Водородный показатель (pH) измеряли потенциометрически на иономере И-130 с использованием буферных растворов pH 4,01 и 9,18 для калибровки датчика ЭСП-43-07. Состав АИ определяли унифицированными методами анализа сточной воды [1]

2. Результаты и обсуждение

2.1 Лабораторный эксперимент

Результаты респирометрического анализа АИ, обрабатываемого аэрацией в лабораторных реакторах (см. рис. 1), позволяют сделать следующие выводы:

- при концентрации ила 10-15 г/л в первые 2 суток стабилизации удельная скорость потребления кислорода ниже на 30%, чем при 5 г/л;
- выход ила в фазу эндогенного дыхания происходил на 4-е сутки, в дальнейшем удельная скорость потребления кислорода не зависела от концентрации ила и составляла ~ 1,7-2,2 мг/г×ч.

Контроль реакции среды показал, что после 1 суток стабилизации начинается снижение pH. По прошествии 3 суток аэрации pH падает с 7,3 до 5,8, а на 5 сутки во всех вариантах опыта достигает минимального значения (5,2) и далее стабилизируется (см. рис. 2).

Удельная скорость потребления кислорода активного ила ЛБСА в процессе аэробной стабилизации (18-24° С)

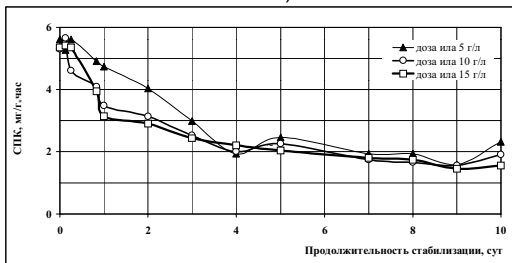


Рис. 1

Динамика изменения водородного показателя среды активного ила ЛБСА в процессе аэробной стабилизации (18-22° С)

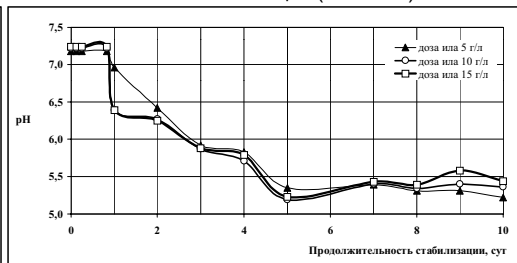
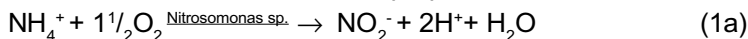


Рис. 2

Очевидно, что подкисление среды АИ происходит в результате биологического окисления аммонийного азота - нитрификации - в соответствии с реакциями:



Общепризнано, что кислая реакция среды ингибирует нитрификацию. А.А. Бондарев, Н.В. Захватаева и др. [2] при расчетах сооружений биологической очистки воды от соединений азота предлагают использовать коэффициент К, учитывающий изменение скорости процесса нитрификации в зависимости от величины pH по формуле

$$K = \text{pH} / 2,9 - 1,9 \quad (2)$$

По утверждению авторов, формула (2) действительна при pH < 8,4. К этому можно добавить, что при pH ≤ 5,51 коэффициент K < 0 и формула (2) теряет физический смысл. В целом из величины К на интервале pH 5,5-8,4 следует, что наибольшая

скорость нитрификации имеет место при pH 8,4, при pH 7 она составляет 51% от максимально возможной, а при pH 6 - только 17%.

В представленном эксперименте при снижении pH до 6 в среде начинает накапливаться аммонийный азот, а при достижении pH 5,2 на 5 сутки стабилизации его количество становилось существенным (см. рис. 3). Накопление NH_4^+ и отсутствие значимого количества NO_2^- указывает на то, что закисление среды в первую очередь снижает активность *Nitrosomonas* sp. Но даже при pH 5,2 полного ингибирования окисления NH_4^+ не происходит, на это указывает рост концентрации NO_3^- на протяжении всех 10 суток стабилизации (см. рис. 4).

Динамика изменения концентрации аммонийного азота в жидкой фазе активного ила ЛБСА в процессе аэробной стабилизации (18-24° С)

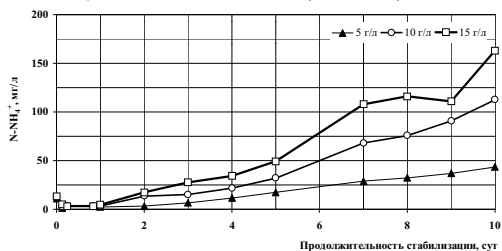


Рис. 3

Динамика изменения концентрации азота нитратов в жидкой фазе активного ила в процессе аэробной стабилизации (18-24° С)

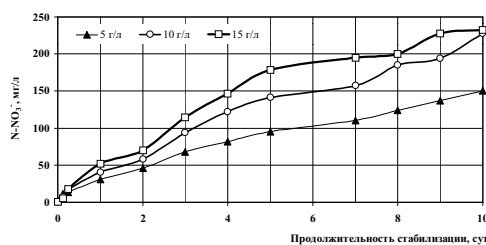


Рис. 4

Однако, при аэробной стабилизации активного ила скорость нитрификации значительно ниже, чем при биологической очистке сточной воды. Если в аэротенках исследуемый АИ характеризовался скоростью нитрификации 0,8 мг/г×ч (по N), то аналогичная скорость нитрификации (0,63 мг/г×ч) была установлена только в первые 3 часа его аэрации в варианте с концентрацией ила 5 г/л. На протяжении всего остального периода стабилизации скорость нитрификации не превышала 0,10-0,16мг/г×ч и была тем ниже, чем выше концентрация ила (см. рис. 5). Столь низкая скорость нитрификации указывает на малый прирост нитрифицирующих бактерий в процессе стабилизации. Это позволяет сделать вывод, что рекомендации по рециклу части стабилизированного ила в аэротенки в качестве источника нитрифицирующих бактерий, к примеру процесс «BIO-DOPP», подлежат изучению в каждом конкретном случае.

Удельная скорость нитрификации в характеристические периоды аэробной стабилизации активного ила (18-24° С)

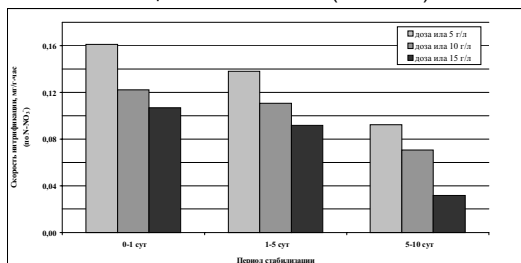


Рис. 5

Кривая титрования активного ила ЛБСА 0,1 Н раствором HCl (в пересчете на сухое вещество)

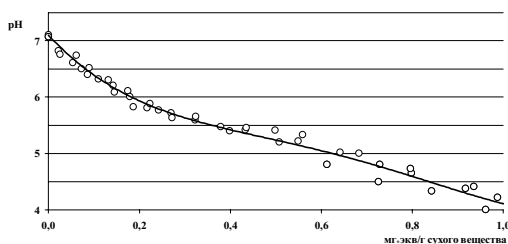
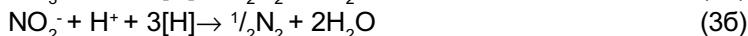


Рис. 6



Согласно стехиометрии реакции (1) окисление 1 мг N-NH_4^+ должно сопровождаться снижением щелочности на 0,143 мг \times экв. Для того, что бы определить запас буферной емкости АИ на нитрификацию, было проведено титрование серии образцов ила 0,1 н раствором HCl (см. рис. 6). По результатам титрования установлено, что буферная емкость жидкой фазы составляет 2,5 мг \times экв/л, сухого вещества - 0,53 мг \times экв/л. В данном случае под буферной емкостью подразумевается количество H^+ в мг \times экв/л, необходимое для снижения рН до 5,2, т.е. до реакции среды, ингибирующей нитрификацию. Следовательно, буферности ионообменной системы АИ с дозой ила 5, 10 и 15 г/л достаточно для обеспечения нитрификации 36, 55 и 75 мг N-NH_4^+ соответственно. Подобное количество N-NO_3^- было зафиксировано уже по окончании 2 суток стабилизации АИ (см. рис. 4), тогда как падение рН до 5,2 произошло только на 5 сутки. Следовательно, окислительные процессы в иле сопровождаются не только продуцированием кислотности (H^+), но и щелочности (OH^-). Однако, в целом при аэробной стабилизации преобладают процессы подкисления среды, что отличает данный процесс от анаэробной стабилизации, именуемой также щелочным сбраживанием.

Результаты лабораторного эксперимента указывают на то, что при аэробной стабилизации АИ предпочтительно обеспечить условия прохождения денитрификации, чтобы подкисление среды частично компенсировать ее подщелачиванием при восстановлении окисленных форм азота до N_2 в соответствии с реакциями:



Восстановление 1 мг N-NO_3^- или N-NO_2^- должно сопровождаться повышением щелочности на 0,072 мг \times кв.

В работе [3] рекомендовано использовать процесс денитрификации для интенсификации аэробной стабилизации АИ. Денитрификацию предлагается вести в течение 1,5-4 суток на завершающем этапе стабилизации с применением ершовой загрузки. В этой же работе показано, что рН среды в результате денитрификации повышается с 6,1 до 7,1.

Предложение вести денитрификацию на завершающей стадии стабилизации нельзя признать оптимальным, поскольку из-за дефицита органического субстрата и пониженной температуры скорость процесса минимальна. Более целесообразно использовать классическую схему с предварительной денитрификацией с рециркуляцией NO_3^- в голову сооружения. В этом случае частично стабилизированный АИ, содержащий NO_3^- , вступает в контакт с легко биоразлагаемым субстратом, поступающим совместно с нестабилизированным АИ, что дает максимальные скорости денитрификации, экономит расход кислорода и увеличивает буферные свойства среды на последующих этапах стабилизации.

Одновременно с падением рН с 6 по 10 сутки аэрации отмечается сильное пенообразование и разрушение хлопка ила, что сопровождается увеличением ХПК жидкой фазы (см. рис. 7). Учитывая низкую скорость потребления кислорода на данном этапе стабилизации и, соответственно, малую скорость распада органического вещества, мы пришли к выводу, что стабилизация активного ила ЛБСА свыше 5 суток технологически нецелесообразна.

В результате стабилизации АИ в раствор выделяется значительное количество

фосфатов. Концентрация $P-PO_4^{3-}$ в жидкой фазе увеличивалась непропорционально концентрации ила, вероятно из-за того, что их активная концентрация - рН-зависимая величина (см. таблицу).

Время стабилизации	Концентрация $P-PO_4^{3-}$, мг/л при дозе ила, г/л		
	5	10	15
7 сут	58	69	71
8 сут	61	71	81
9 сут	66	79	94

Ежесуточное определение массовых показателей АИ в процессе стабилизации не позволило определить эффективность минерализации органического вещества. Колебания значений концентрации и ХПК ила были существенны несмотря на точность пробоотбора в условиях лабораторного эксперимента. По этой причине динамику распада беззольного вещества АИ в ходе стабилизации определяли по косвенным показателям: изменение зольности, интегральное потребление кислорода, сумма минерализованного азота ($N-NH_4^+$ и $N-NO_3^-$ при отсутствии денитрификации.)

Расчет распада беззольного вещества АИ на основании зольности был произведен по формуле:

$$R_{vss} = \frac{1 - S_{in}/S_{ef}}{1 - S_{in}/100} \times 100\% \quad (4)$$

Преобразование формулы (4) позволяет рассчитать по зольности и потере сухого вещества АИ:

$$R_{ss} = \frac{S_{ef} - S_{in}}{S_{ef}} \times 100\% \quad (5)$$

где,

R_{vss} – распад беззольного вещества, %;

R_{ss} – потеря сухого вещества, %;

S_{in} – зольность осадка до стабилизации, %;

S_{ef} – зольность осадка после стабилизации, %.

Изменение ХПК фильтрата активного ила в процессе аэробной стабилизации (18-22° С)

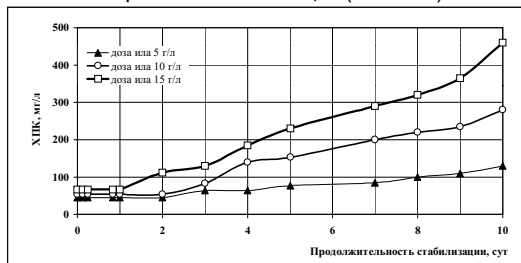


Рис. 7

Динамика изменения зольности активного ила в процессе аэробной стабилизации (18-22° С)

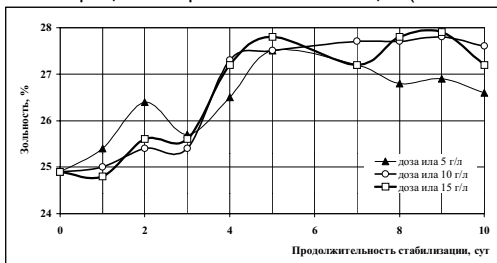


Рис. 8

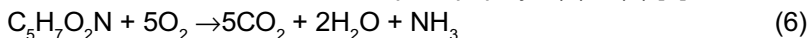
Данные формулы могут быть рекомендованы для оценки распада беззольного и сухого вещества не только в процессах аэробной стабилизации, но и при сбражи-



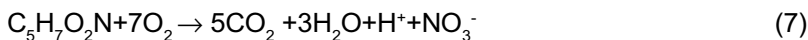
вании осадка сточных вод.

Контроль зольности АИ показал ее существенное изменение в течение первых 5 суток стабилизации (см. рис. 8). Повышение зольности с 24,8 % до 27,8 % за первые 5 суток стабилизации соответствует потере сухого вещества 10 % и распаду беззольного вещества 14 %. При более длительной стабилизации зольность иловых частиц изменялась незначительно. Определение зольности стабилизированного АИ после сгущения дает величину 29 %, что позволяет говорить о распаде беззольного вещества 20 % и потере 15 % сухого вещества за 10 суток стабилизации при 18-24° С.

Расчет распада сухого вещества АИ по интегральному потреблению кислорода осуществляли, исходя из стехиометрии формул (6) и (7) [4]:



при наличии нитрификации



Согласно уравнениям (6) и (7) при отсутствии нитрификации теоретический расход O_2 составляет 1,4 г на 1 г минерализованного органического вещества АИ, при ее наличии - 2,0г/г.

Помимо указанной брутто-формулы в литературе приводится следующий стехиометрический состав органического вещества АИ:

1. $\text{C}_4\text{H}_9\text{ON} \div \text{C}_8\text{H}_{15}\text{O}_5\text{N}$ - «низконагружаемый ил+сильнонагружаемый ил» по Берхеду [5].
2. $\text{C}_{13}\text{O}_3\text{N}$ - активный ил КСА по Т.А. Карюхиной [5].
3. $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{NP}_{0,2}$, $\text{C}_5\text{H}_9\text{O}_{2,5}\text{NP}_{0,2}$, $\text{C}_{60}\text{H}_{87}\text{O}_{23}\text{N}_{12}\text{P}$ [6].

Однако, произведенные расчеты дали крайне высокие величины распада сухого вещества АИ, к примеру, 20-25% на 4 сутки стабилизации и 32-40% на 10 сутки стабилизации (см. рис. 9). Подобный распад должен был бы быть зафиксирован при определении дозы ила и ХПК, что, как уже говорилось выше, установлено не было. Это говорит о неправомерности использования стехиометрии формул (6) и (7) несмотря на то, что она рекомендована в монографии [7]. Вероятно, что окислению в первую очередь подвергаются органические вещества с меньшим насыщением кислорода, чем $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$, к примеру, жиры. Также не исключено, что часть потребленного кислорода повышает степень насыщенности органических соединений АИ кислородом, не доводя их до полной минерализации, к примеру, трансформация жиров и белков в полисахариды.

При отсутствии денитрификации в процессе стабилизации брутто-формула АИ $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ (см. формулы 6 и 7) позволяет произвести расчет распада органического вещества и потерю сухого вещества по количеству выделившегося в среду минерального азота – сумме N-NH_4^+ и N-NO_3^- . Стехиометрические преобразования дают следующие формулы:

$$R_{\text{vss}} = \frac{C_{\text{N}}^{\text{in}} - C_{\text{N}}^{\text{ef}}}{124a_i(1 - S_{\text{in}}/100)} \times 100\% \quad (8)$$

$$R_{\text{ss}} = \frac{C_{\text{N}}^{\text{in}} - C_{\text{N}}^{\text{ef}}}{124a_i} \times 100\% \quad (9)$$

где,

C_N^{in} - концентрация минерального азота ($N-NH_4^+ + N-NO_3^-$) на входе в стабилизатор, мг/л;

C_N^{ef} - концентрация минерального азота ($N-NH_4^+ + N-NO_3^-$) на выходе из стабилизатора, мг/л;

a_i – доза ила на входе в стабилизатор, г/л;

S_{in} – зольность активного ила на входе в стабилизатор, %;

124 – удельное содержание азота в активном иле по формуле $C_5H_7O_2N$, мг N/г сухого вещества.

Результаты расчет распада сухого вещества АИ по сумме минерализованного азота представлены на рис. 10. Полученные в расчетах величины - 8-12 и 18-25 % потери сухого вещества АИ на 4 и 10 сутки стабилизации - вероятно, больше соответствуют действительности, чем расчет степени распада по СПК, а также коррелируют с расходом сухого вещества, рассчитанного по изменению зольности АИ в первые 5 суток стабилизации. После 5 суток характер изменения зольности указывает на прекращение процессов распада, тогда как динамика накопления минерального азота в среде указывает на то, что минерализация органического вещества АИ продолжается.

Оценка минерализации сухого вещества активного ила ЛБСА в процессе минерализации (18-24° С)

Расчет по минеральному азоту

Расчет по потребленному кислороду

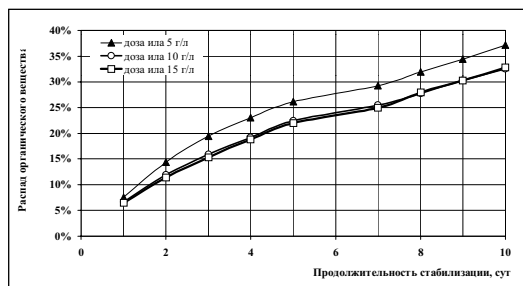


Рис. 9

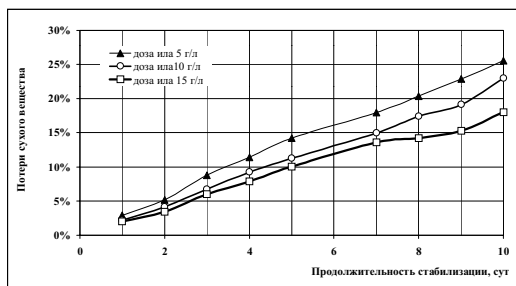


Рис. 10

В авторском свидетельстве В.Н.Швецова, И.В. Скирдова и др. [9] указывается, что для получения незагнивающего осадка стабилизацию АИ по стандартной технологии следует проводить в течение 7-10 суток, при этом распад беззольного вещества составляет 20 %, и последний предлагается принять как критерий завершения процесса. Результаты наших экспериментов в целом согласуются с этим заключением. Однако, фиксированное значение распада беззольного вещества как критерий окончания процесса, очевидно, надо принимать с оговоркой на систему его расчета и с учетом возраста АИ, поступающего на стабилизацию.

2.2 Промышленный эксперимент

Промышленный эксперимент по стабилизации АИ в аэротенке ЛБСА показал, что существующая в типовом четырехкоридорном аэротенке раскладка фильтров способна полностью обеспечить потребность АИ в кислороде при дозе ила 4-5 г/л независимо от продолжительности стабилизации. Дефицит кислорода ($C_{O_2}=0,4-0,9$ мг/л), имевший место в точке впуска ила в аэротенк (первая треть 1-го коридора), был устранен регулировкой системы аэрации ($C_{O_2}=3-5$ мг/л). Однако, на всем осталь-



ном протяжении аэротенка был избыток растворенного кислорода ($C_{O_2} = 5-9$ мг/л), устранить который не удавалось, поскольку расход воздуха на поддержание АИ во взвешенном состоянии значительно превышал потребление кислорода.

Удельная скорость потребления кислорода АИ в течение первых 6-ти часов пребывания в аэротенке снижалась с 7 до 4 мг O_2 на 1г сухого вещества в час. На протяжении последующих 2-х суток стабилизации данный показатель удерживался на уровне 3,5-4 мг/г×ч, а со 2 по 4 сутки линейно снижался с 3,5 до 2,5 мг/г×ч (см. рис. 11). Удельной скорости потребления кислорода менее 2 мг/г×ч в промышленном эксперименте зарегистрировано не было. На основании усредненных значений показателя был произведен расчет интегрального потребления кислорода за время стабилизации (см. рис. 12).

Динамика изменения удельной скорости потребления кислорода активным илом в процессе стабилизации в промышленном аэротенке ЛБСА (15-20 °С) Интегральное потребление кислорода активным илом в процессе стабилизации в промышленном аэротенке ЛБСА (15-20 °С)



Рис. 11

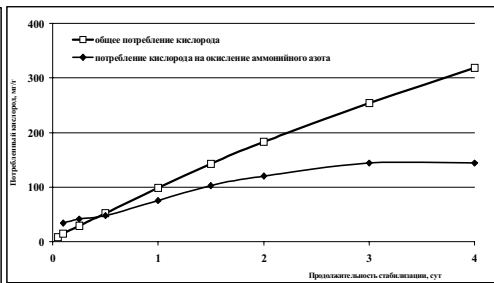


Рис. 12

Следует отметить методические трудности, возникшие при измерении СПК ила, отобранного в начале стабилизатора, куда он поступал после пребывания в анаэробных условиях вторичных отстойников. При концентрации растворенного кислорода в респирометрической ячейке > 3 мг/л СПК было в 1,5-2 раза выше, чем при $C_{O_2} < 2$ мг/л (см. рис. 13). Можно предположить, что снижение СПК с падением концентрации O_2 в первую очередь обусловлено снижением скорости нитрификации вплоть до полного прекращения окисления аммонийного азота. На это указывает отсутствие изменения скорости потребления кислорода на всем диапазоне концентрации O_2 в образцах АИ, отобранных из коридоров стабилизатора, где постоянно присутствует высокая концентрация O_2 и практически отсутствует NH_4^+ (см. рис. 14). Можно предположить, что в начале стабилизатора реальное потребление кислорода выше, чем фиксировалось в респирометрической ячейке. Это подтверждает дисбаланс между потребленным O_2 и количеством образовавшихся нитратов (см. рис. 12). Согласно опубликованным исследованиям НИИ КВОВ при увеличении расхода воздуха до 6 м³/м³×ч продолжительность стабилизации АИ может быть сокращена [8]. Не исключено, что это правомерно только в тех случаях, когда при меньшем расходе воздуха в стабилизаторе формируются микроаэрофильные условия.

Контроль аммонийного и нитратного азота по всей длине коридоров стабилизатора показал, что нитрификация протекала полностью – накопление NH_4^+ в среде отсутствовало (см. рис. 15 и 16). За 4 суток аэробной обработки концентрация фосфа-

Относительное изменение СПК активного ила в зависимости от концентрации растворенного кислорода (СПК=100 % при концентрации кислорода 2 мг/л)

СПК_{отн.} в зонах поступления АИ из анаэробных условий

СПК_{отн.} АИ в зонах продленной аэрации

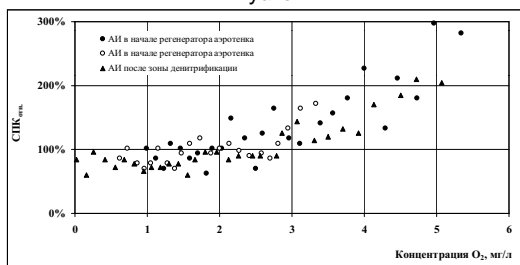


Рис. 13

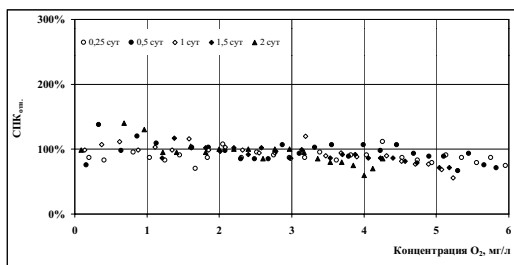


Рис. 14

тов в жидкой фазе АИ увеличивалась с 8-10 мг/л до 21-26 мг/л по PO_4^{3-} .

Исходя из удельного образования минерального азота ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) ~12 мг и фосфатов (P-PO_4^{3-}) ~6,7 мг с 1 г поступившего на обработку АИ, рецикл биогенных элементов в голову очистных сооружений при внедрении аэробной стабилизации

Динамика изменения концентрации АИ нитратов в жидкой фазе активного ила в процессе аэробной стабилизации (доза ила 4-5 г/л, 15-20 °С)

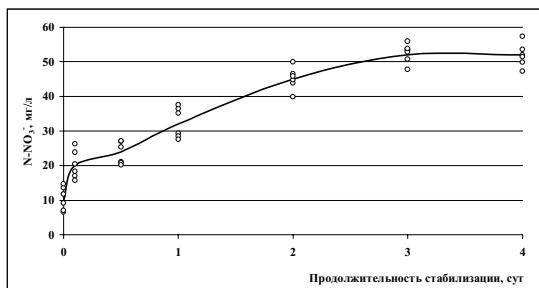


Рис. 15

Динамика изменения концентрации аммонийного азота в жидкой фазе активного ила в процессе аэробной стабилизации (доза ила 4-5 г/л, 15-20 °С)

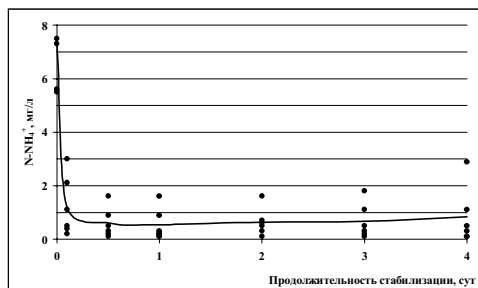


Рис. 16

АИ на ЛБСА ($\tau=3-4$ суток) составит 1,3 и 0,7 тонны в сутки или 2,2 % и 7,5 %, соответственно, от поступления на станцию аэрации минерального азота и фосфора с городской сточной водой.

Контроль температуры показал, что при температуре окружающей среды от 0° до -10° С и температуре загружаемого АИ 18,5-20,3° С за каждые сутки пребывания в аэротенке ил остывает на 0,8-1,2° С. При устойчивых морозах (-10°- -20° С) температура АИ снижалась на 2° С в сутки. Несмотря на столь низкую температуру окружающей среды после 4-х суток стабилизации температура ила не опускалась ниже 13° С.

Контроль реакции среды АИ показал постепенное падение рН с исходного значения 6,9-7,2 до 6,8, 6,5, 6,3 и 6,1, на 1, 2, 3 и 4 сутки стабилизации, соответственно.

Определение массовых показателей АИ (концентрация, ХПК) в промышленном процессе, также как и в лабораторном эксперименте, не позволило определить степень минерализации органического вещества, поскольку суточные колебания



данных показателей на входе в аэротенк превышали их изменение в процессе стабилизации. По этой же причине не удалось рассчитать распад беззольного и сухого вещества по зольности АИ.

Интегральное потребление кислорода за 4 суток стабилизации позволило оценить минерализацию сухого вещества на уровне 14 %. Однако результаты лабораторного эксперимента подвергают сомнению правомочность расчета распада органического вещества АИ по СПК (см. выше).

За 3-4 суток стабилизации АИ в промышленном сооружении концентрация минерального азота повышалась в среднем на 40 мг/л, что соответствует распаду беззольного вещества ~ 10 % и потере сухого вещества ~ 7 %.

2.3. Сравнение результатов промышленного и лабораторного экспериментов

Наибольшие расхождения между результатами промышленного и лабораторного экспериментов имеются в динамике окисления NH_4^+ и изменении водородного показателя. Очевидно, указанные расхождения обусловлены различным температурным режимом проведения стабилизации. Если в промышленном аэротенке ил по мере прохождения коридоров аэротенка постепенно остывал с $19-20^\circ \text{C}$ до $14-16^\circ \text{C}$, в лабораторных условиях имели место суточные колебания температуры в диапазоне $18-24^\circ \text{C}$. По этой причине в промышленном эксперименте окисление органического вещества протекало медленнее, чем в лабораторном реакторе. На это указывают отличия по скорости потребления кислорода и количеству минерализованного азота. На 4 суток стабилизации ила при дозе 4-5 г/л удельная скорость потребления кислорода на выходе из аэротенка составила 2,7 мг/г×ч, а в лабораторном реакторе - 2,0 мг/г×ч. Приращение минерального азота в аэротенке - ~ 9 мг/г, в реакторе - ~14 мг/г. Водородный показатель снижался как в том, так и в другом случае и достигал рН 6 при нитрификации ~ 50 мг N- NH_4^+ в 1л. В общем случае при продолжительности стабилизации 4 суток запаздывание окислительных процессов в промышленном аэротенке в зимние месяцы (декабрь–апрель) можно оценить в 1,5 суток по сравнению с лабораторным экспериментом. В летний период, наоборот, следует ожидать опережения процесса минерализации и вероятного возникновения проблем с закислением среды и ухудшением седиментационных и водоотдающих свойств АИ.

На основании изложенных выше результатов промышленного и лабораторного экспериментов сделан вывод о возможности стабилизации всего АИ ЛБСА (110 т/сут) в одном аэротенке без перекачки системы аэрации при дозе ила 10-15 г/л при расчетном времени пребывания 3 суток без угрозы существенного охлаждения ила в зимний период эксплуатации.

Лабораторный контроль показал, что использование типовых технологических показателей (ХПК, концентрация ила, влажность, зольность, СПК) не позволяет точно определить эффективность аэробной стабилизации по снижению количества сухого вещества АИ. В тоже время скорость потребления кислорода, очевидно, является ключевым показателем глубины протекания процесса аэробной стабилизации. Наши экспериментальные данные согласуются с литературными данными [1,2] в том, что удельная СПК 1,5-2,0 мг/г×ч указывает на завершенность аэробной стабилизации осадка сточных вод. В частности, закон по утилизации осадка в США EPA Part 503

устанавливает критерии глубины аэробной стабилизации для осадков, подлежащих почвенной утилизации и захоронению:

-§ 503.33(b)(4). «Удельная скорость потребления кислорода осадком, обработанным в аэробном процессе, должна быть равной или менее 1,5 миллиграмма кислорода в час на грамм сухого вещества осадка при температуре 20° С».

3. Выводы

3.1 В период реконструкции сооружений обработки осадка на крупных очистных сооружениях проблема нехватки рабочего объема метантенков может быть решена временным отказом от сбрасывания избыточного активного ила. Стабилизацию ила в этот период можно осуществлять в одном из аэротенков станции аэрации с минимальным объемом работ по его подготовке.

3.2 Отказ от сбрасывания активного ила и переход на его аэробную стабилизацию также может быть экономически целесообразным при снижении нагрузки загрязнений на станцию аэрации по сравнению с проектной производительностью: при снижении нагрузки органических загрязнений на станцию возраст активного ила увеличивается, он несет на себе значительно меньшее количество нестабилизированных органических соединений и его сбрасывание в ряде случаев не способно окупить затраты на обогрев метантенков. В подобных случаях аэробная стабилизация ила позволяет сократить энергозатраты станции.

3.3 Основная проблема адаптации коридорного аэротенка под стабилизатор - недостаточная интенсивность аэрации на входе в сооружение. Аэробную стабилизацию рекомендуется вести с концентрацией ила 8-12 г/л. Организация рециркуляционного потока между 1 и 2 коридорами аэротенка позволяет эффективно использовать имеющуюся систему аэрации без ее реконструкции, поддерживать повышенную концентрацию ила и провести частичную денитрификацию в микроаэрофильных условиях.

3.4 При низких объемных нагрузках ила на стабилизатор, высокой дозе ила, его низкой буферности и при повышенной температуре в результате нитрификации возможно падение рН до 5,2. Это ведет к ухудшению водоотдающих свойств ила и качества надильной воды. Денитрификация посредством рециркуляции частично стабилизированного ила в голову стабилизатора способна поддержать нейтральную реакцию среды.

3.5 Аэробную стабилизацию низконагружаемого активного ила рекомендуется осуществлять в течение 3-5 суток с целью улучшения водоотдающих свойств осадка и устранения гнилостных запахов при механическом обезвоживании ила.

Авторы выражают благодарность к.т.н. Е.С. Драчиковой за методическую помощь, оказанную в ходе проведения представленных исследований.

Литература

1. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод./- М.: "Химия", 1984 г.
2. Бондарев А.А. , Захватаева Н.В. , Ильинская Н.М., Бudyко Н.С. Технологический расчет сооружений для биологической очистки сточных вод от соединений азота. /Труды ВНИИ ВОДГЕО. М.: 1983 г., стр. 15-18.



3. Чернышева А.Н. , Чернышев В.Н. Аэробная стабилизация активного ила в биореакторах с ершовой насадкой. /Технология обработки осадков природных и сточных вод, материалы семинара, общество “Знание”, Московский дом научно-технической пропаганды, 1990 г./
4. Porges N., Jascewicz L. , Hoover S. Principles of biological oxidation. /Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes, Reinhold, New York, 1956, pp. 25-48.
5. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. , Метантенки / М.: Стройиздат, 1989.
6. Design of municipal wastewater treatment plant. / ASCE, 1998, V. 2, p.11-7.
7. Alan F. Rozich, Anthony F., Gaudy Jr. Design and operation of activated sludge processes using respirometry. / Lewis Publishers, Inc, 1992
8. Гюнтер Л.И., Туровский И.С., Свердлов И.Ш. Аэробная стабилизация осадков городских сточных вод. // ВИНТИ, Проблемы окр. ср и природных рес, обзорная информация, 1986.
9. Швецов В.Н. , Скирдов И.В. , Коган Ю.А. , Абрамов А.В., Рубин Д.А, Эльбаум С.И. / Авторское свидетельство ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии.
10. Драчикова Е.С., Атаманова А.Е. Улучшение структуры и водоотдающих свойств осадков при аэробном кондиционировании. // Технология обработки осадков природных и сточных вод; материалы семинара, общество “Знание”, РСФСР, Московский дом научно-технической пропаганды, Москва 1990 год.