

ность СБ РС МКС в любой момент времени. Ниже приводятся примеры расчетов освещенности СБ на сутки 10:50 30.04.2013 - 10:50 01.05.2013 г. и на 2,5 витка 10:50 30.04.2013 - 14:50 30.04.2013 г. В расчетах участвуют СБ работающего на данный момент СМ РС МКС и перспективного Малого лабораторного модуля (МЛМ), чей полет запланирован на 2015 год.

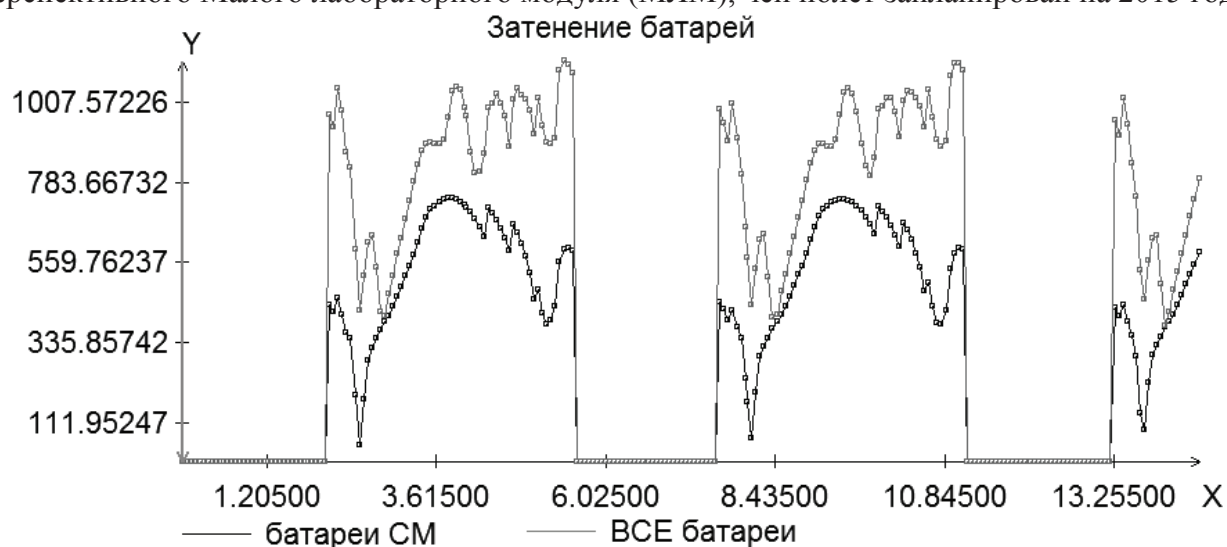


Рисунок 5. Пример расчета коэффициента затенения СБ на 4 часа

Литература

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Издательские дом МЭИ, 2008.
2. ГОСТ 4401-81 Атмосфера стандартная. Параметры.
3. Dormand, J. R.; Prince, P.J. A family of embedded Runge-Kutta formulae //Journal of Computational and Applied Mathematics. N 6 (1), 1980 pp.19–26.
4. Glassner A.S., et al. An Introduction to Ray Tracing / Academic Press, London, 1989.
5. Glassner A.S. Space subdivision for fast ray-tracing / IEEE C.G. & A., 1984, v.4(10), p.15-22.
6. Медведев С., Сазонов В., Сайгираев Х. Моделирование зон неустойчивой работы радиотехнической измерительной системы с активным ответом во время сближения и стыковки космических кораблей с Международной космической станцией // Математическое моделирование. — 2012. — Т. 24, № 2. — С. 151–160.

Изучение дыхательной активности илов различных технологических процессов биологической очистки

К.т.н. доц. Веригина Е.Л.¹, к.с.-х.н. Грачев В.А.², Селиванов А.В.¹

¹Университет машиностроения

²ИТЦ ОАО «Мосводоканал»

verigina.61@mail.ru

Аннотация. Дыхательная активность микроорганизмов – важный технологический показатель активного ила, позволяющий судить о биохимических возможностях активных илов, рассчитывать очистные сооружения, прогнозировать результаты использования тех или иных технологических операций. Проведено исследование дыхательной активности илов Курьяновских (КОС) и активных илов, формирующихся в биореакторах, работающих по различным технологиям биологической очистки.

Ключевые слова: скорость эндогенного дыхания, скорость дыхания гетеротрофов, скорость дыхания нитрификаторов

Введение

Биологические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые минерализуют растворенные органические соединения, являющиеся для микроорганизмов источниками питания.

Дыхательная активность микроорганизмов – важный технологический показатель активного ила, позволяющий судить о биохимических возможностях активных илов, рассчитывать очистные сооружения, прогнозировать последствия кризисных ситуаций. Выделяют следующие типы дыхательной активности:

– максимальная дыхательная активность – величина, к которой приближается скорость дыхания при оптимальных условиях, зависит только от качественного и количественного состава микрофлоры активного ила;

– актуальная скорость дыхания – реальная величина дыхания в конкретное время и конкретной стадии технологического процесса, зависит от внешних условий: изменяется в процессе очистки сточной воды;

– эндогенное дыхание – скорость ферментативного поглощения органического вещества, скорость дыхания активного ила после его регенерации или непосредственно перед смешением возвратного ила со сточной водой.

В качестве объектов исследования использовались иловые смеси Курьяновских очистных сооружений, а также активных илов, формирующихся в биореакторах, работающим по различным технологиям биологической очистки: M-DEPHANOX, MISAN и UFSB-SBR.

Технологические схемы биологического удаления фосфора и азота из сточных вод с использованием денитрифицирующих фосфат-аккумулирующих бактерий (DPB-бактерий) реализуются с использованием одноиловых или двухиловых систем. В одноиловой системе (UFSB-SBR, MISAN) процесс осуществляется единым сообществом активного ила. В двухиловой технологической схеме DEPHANOX используется два пространственно разделенных типа активного ила: один – нитрифицирующий, другой – осуществляющий денитрификацию и удаление фосфора [1].

В России применение технологических схем удаления биогенных элементов осложняется тем, что городские сточные воды являются низко концентрированными и характеризуются весьма неблагоприятным соотношением концентраций БПК и $N_{\text{общ}}$, а также повышенной долей трудно разлагаемых органических веществ.

UFSB-SBR, M-DEPHANOX, MISAN – это модернизированные технологические схемы Кейптаунского и Ганноверского университетов, адаптированные для условий московских станций аэрации.

Описание лабораторной установки M-DEPHANOX (ДЕФАНОКС)

Сточная вода подается в анаэробный реактор – двухсекционный отстойник (1), в первой секции которого происходит высвобождение фосфатов из DPB-бактерий и сорбция основной массы органического вещества флокками активного ила. Надосадочная вода перетекает во вторую секцию, в которой активный ил с сорбированным органическим субстратом отделяется от осветленной воды, содержащей органические вещества и соединения аммонийного азота в растворенном виде. Из отстойника (1) жидкость подается в содержащий биомассу нитрифицирующих бактерий реактор с загрузкой (2), где аммоний окисляется до нитрата. Богатый органическим веществом осадок не подвергается нитрификации (байпасный активный ил), и объединяется с потоком нитрат-содержащей жидкости в аноксидной зоне (3). В аноксидном реакторе идет денитрификация, сопряженная с поглощением фосфатов DPB-бактериями. Активный ил отделяется в отстойнике (5). В аэрационном реакторе с загрузкой (6) происходит доокисление органических соединений и аммония.

В ходе испытаний технологии на лабораторном стенде эффективность очистки от азота составила 99%, фосфора – 86%, ХПК – 80%, БПК – 95%[2].

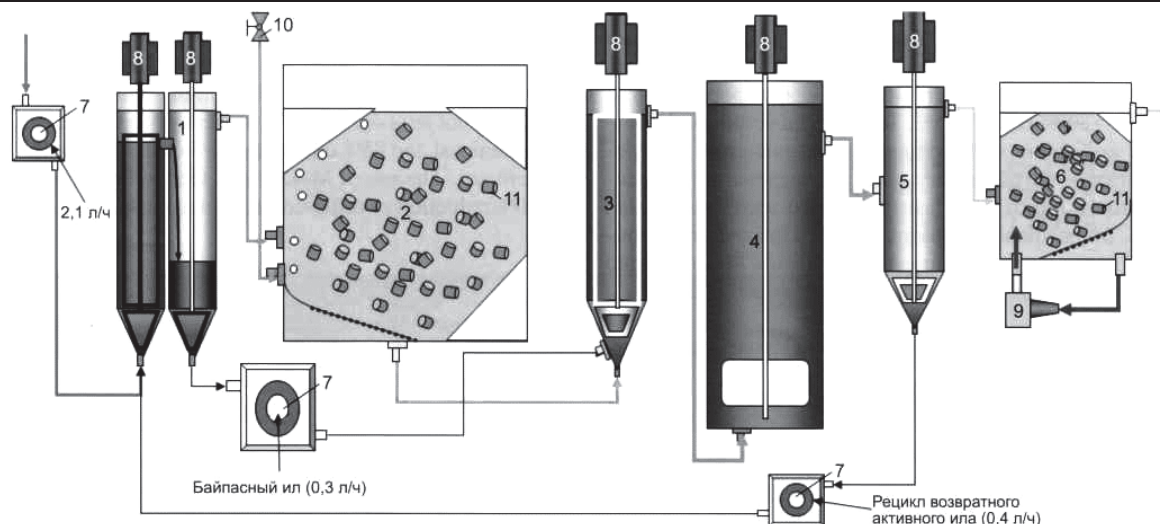


Рисунок 1. Лабораторная установка M-DERPHANOX: 1 – двоянный анаэробный реактор-отстойник; 2, 6 – реактор-нитрификатор с загрузкой; 3 – аноксидный реактор (преднитрификатор); 4 – аноксидный реактор (основной); 5 – отстойник; 7 – перистальтический насос; 8 – электромеханическая мешалка; 9 – центробежный насос-мешалка; 10 – подача воздуха; 11 – загрузка 50% объема

Описание лабораторной установки MISAH (МИСАХ)

В процессе MISAH подача сточной воды осуществляется в анаэробный реактор (2), в который также поступает иловая смесь из первой аноксидной зоны (1). Из анаэробной зоны иловая смесь направляется во вторую аноксидную зону (3). Часть иловой смеси из анаэробной зоны подается в первую аноксидную зону, где смешивается с возвратным активным илом. Иловая смесь из второй аноксидной зоны поступает в аэробную зону (4). Нитратный рецикл из аэробного реактора подается во вторую аноксидную зону (3). Рецикл возвратного активного ила из отстойника (5) направляется в аноксидный реактор.

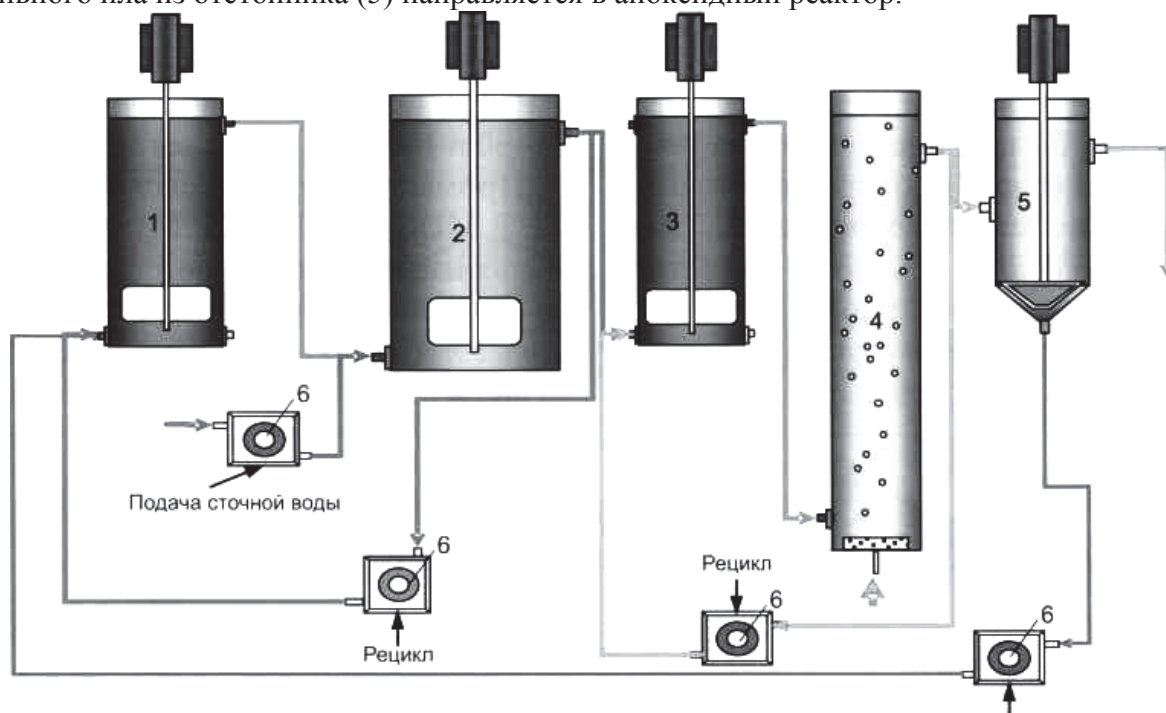


Рисунок 2. 1 – аноксидный реактор 1; 2 – анаэробный реактор; 3 – аноксидный реактор 2; 4 – аэробный реактор; 5 – отстойник; 6 – насос

Эффективность удаления аммонийного азота составляла 67 – 77%, эффективность удаления фосфора была нестабильной и изменялась от 47 до 90%, ХПК – 73% [3].

Описание лабораторной установки UFSB-SBR (ЮФСБ-СНД)

UFSB-SBR представляет собой реактор периодического действия, работающий по технологии нитри-денитрификации и удаления фосфора из сточной воды. Режим работы реактора продолжительностью 4 ч состоит из пяти фаз: подачи сточной воды (анаэробная), перемешивание при полном рабочем объеме (аноксидная), включение аэрации (аэробная), отстаивания и слива очищенной воды. Для обеспечения качественного протекания удаления фосфора в анаэробной фазе организована растянутая во времени подача сточной воды снизу, через расширенный слой ила, в результате чего поступающая вода вытесняет межжиловую воду с нитратами вверх и заменяется на подаваемую сточную воду. Расход поступающей сточной воды составляет 50% от всего объема реактора.

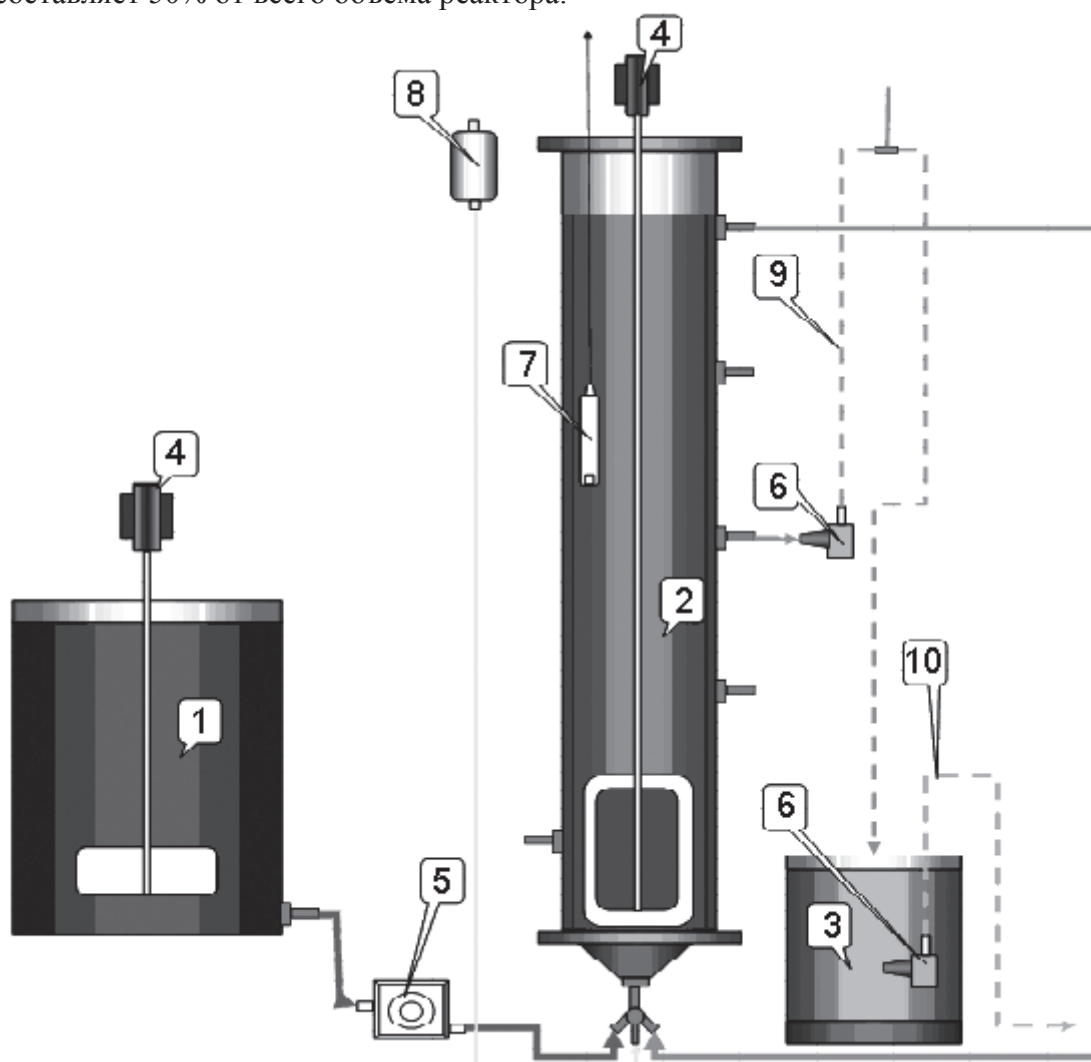


Рисунок 3. 1 – емкость со сточной водой, 2 – реактор, 3 – отстойник, 4 – электромеханическая мешалка, 5 – перистальтический насос, 7 – кислородный датчик, 8 – компрессор, 9 – сброс избыточного ила, 10 – сброс очищенной воды

Снижение фосфатов и аммония составляет 70% и 99%, ХПК – 70%, БПК – 90%. Возраст ила в реакторе составляет 20 суток, доза ила – 3 г/л, иловой индекс 40-60 мл/г [4].

КОС

Классическая схема биологической очистки: окисление органических соединений и аммонийного азота без удаления биогенных элементов. Аэротенки КОСст. работают по

принципу аэротенка-вытеснителя; процент регенерации 50%. Доза ила – 2 г/л, возраст ила 6 суток, снижение ХПК – 60%, БПК – 90%.

Отличительной особенностью аэробных организмов является их способность использовать кислород, активность аэробов оценивается, прежде всего, по интенсивности потребления кислорода, а также по интенсивности окисления кислородом субстратов: органического вещества для гетеротрофных микроорганизмов или неорганических субстратов для автотрофных микроорганизмов. Скорость потребления кислорода зависит от процентного содержания данного вида бактерий в смешанной культуре активного ила и в то же время является качественным показателем их жизнеспособности.

Основные задачи работы:

1. определить гетеротрофную и эндогенную активности илов лабораторных установок
2. определить нитрификационную активность
3. сопоставление значений биохимического окислительного потенциала активных илов различных технологических схем с целью выбора оптимальной для очистки городских сточных вод

Схема экспериментального стенда

Тестирование биохимических свойств активного ила проводилось на созданной в ИТЦ лабораторной установке, позволяющей последовательно определить все основные типы биохимической активности.

Исследуемый ил смешивается с имитатом сточной воды и помещается в герметичную ёмкость. При непрерывном перемешивании магнитной мешалкой прослеживается изменение концентрации кислорода в иловой смеси. Сигнал от датчиков воспринимается измерительной аппаратурой и в аналоговом формате переадресуется в контроллер. Контроллер переводит сигнал в цифровой формат и направляет его в компьютер на СОМ-порт.

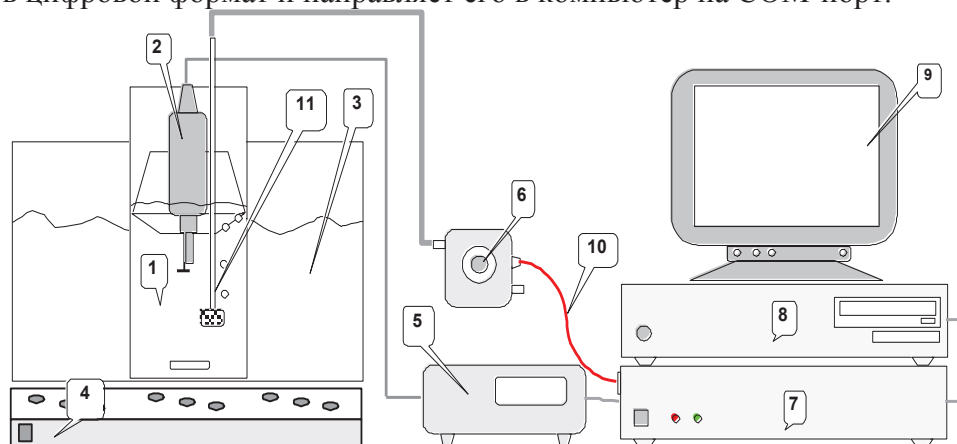


Рисунок 4. 1 – сосуд с поплавком-гидрозатвором и мешалкой; 2 – датчик кислородный; 3 – термостатируемая емкость; 4 – многопозиционная магнитная мешалка; 5 – кислородомер с аналоговым выходом; 6 – воздушный компрессор; 7 – контроллер с цифровым выходом; 8 – компьютер; 9 – монитор; 10 – электропитание компрессора; 11 – аэратор

Методика тестирования гетеротрофной активности

Анализируемый образец активного ила разводится в очищенной воде или фосфатном буфере. При использовании образца из аэротенков, иловая смесь предварительно отстаивается и для разведения используется осадок. Образцы иловой смеси разводят в мерном цилиндре до конечной концентрации 1 – 2 г/л. Затем иловая смесь аэрируется в течение 0,5 – 1,0 часа при поддержании концентрации растворенного O_2 не менее 1,0 г/л.

Подготовленный таким образом образец насыщают кислородом воздуха до 90 – 100% от максимума и вносят концентрированный раствор ацетата натрия до конечной концентрации 1 г/л. При наличии аммонийных соединений в смесь также вносят ингибитор нитрифи-

кации до конечной концентрации 2,5 мг/л. Образец быстро переносят в кислородную ячейку, заполняя весь ее рабочий объем, герметично закрывают, и при постоянной температуре отслеживают скорость падения концентрации растворенного кислорода с помощью вмонтированного в ячейку кислородного датчика. На линейном участке графика падения концентрации O_2 определяют наклон прямой и рассчитывают удельную СПК в (мг O_2 /г активного ила)/час [5].

Методика тестирования нитрификационной активности

Иловая смесь аэрируется в течение 0,5 – 1,0 часа при поддержании концентрации растворенного O_2 не менее 1,0 г/л. Затем (последовательно или параллельно) проводится определение: (А) суммарной СПК ($СПК_{сумм}$) и (Б) СПК, обусловленной дыханием гетеротрофных микроорганизмов ($СПК_{гет}$):

А. Образец насыщают кислородом воздуха до 90-100% от максимума и вносят концентрированный раствор сульфата аммония до конечной концентрации 1 г/л. Образец переносят в кислородную ячейку и измеряют СПК.

Б. Образец насыщают кислородом воздуха, вносят аллилтиомочевину (ингибитор нитрификации) до конечной концентрации 2,5 мг/л, переносят иловую смесь в кислородную ячейку и повторяют операцию определения СПК.

На кривых изменения концентрации кислорода по времени выделяют участки эндогенного дыхания, гетеротрофного дыхания, продолжительность прямого участка должна быть не менее 7 минут. Тангенс угла наклона выбранных участков численно равен скорости поглощения кислорода, которую выражают в мг/(г·ч). Так получают показатели дыхательной активности ила для эндогенного и гетеротрофного дыхания.

Интенсивность нитрификации рассчитывают, вычитая из $СПК_{сумм}$ величину $СПК_{гет}$ и $СПК_{энд}$. Полученную разность СПК пересчитывают на удельную интенсивность нитрификации, выражая ее в (мг кислорода/г активного ила)/час.

Результаты и обсуждение

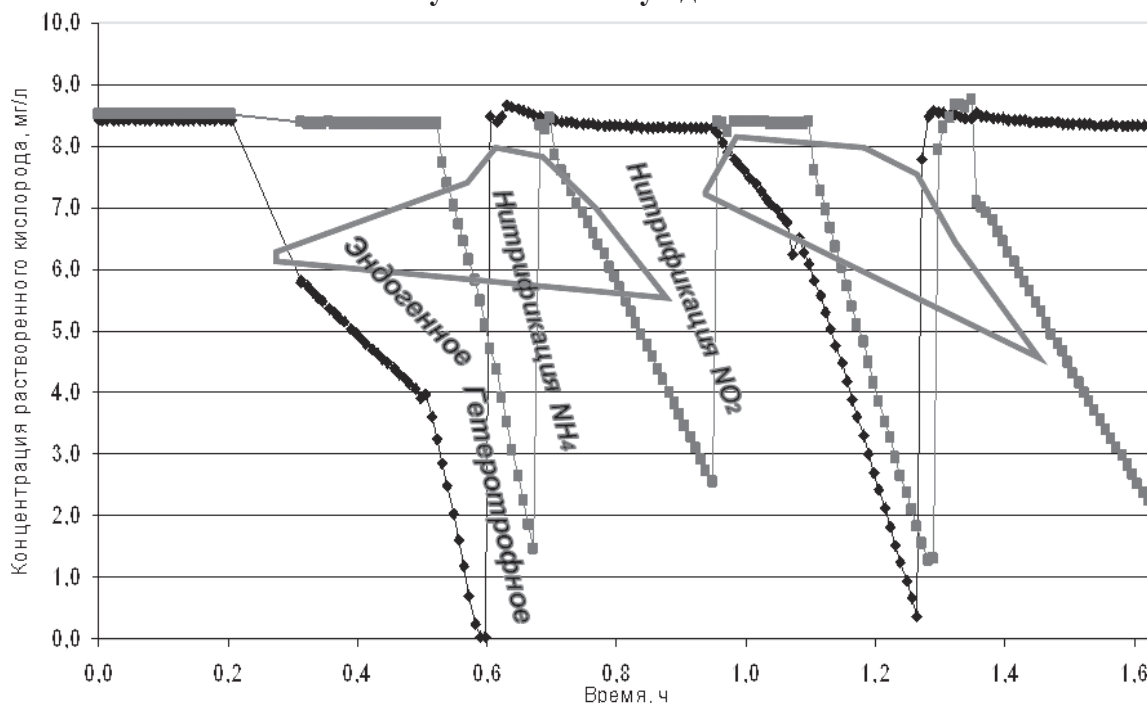


Рисунок 5. Динамика изменения концентрации растворённого кислорода в ячейке для определения СПК

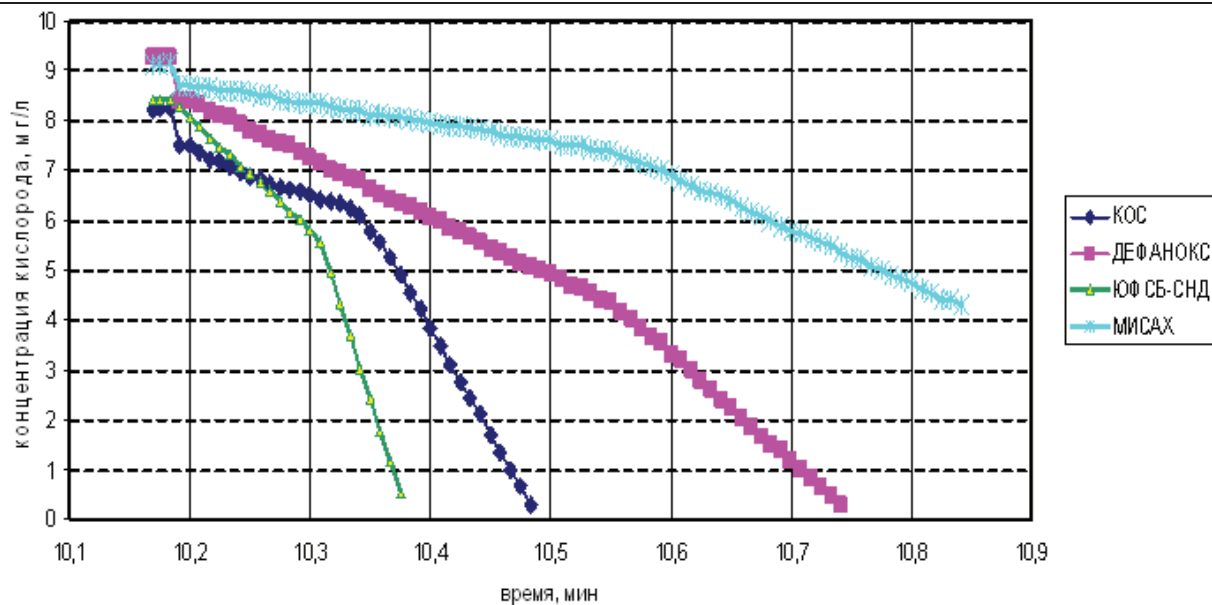


Рисунок 6. Динамика изменения кислорода при определении гетеротрофной активности эндогенного дыхания

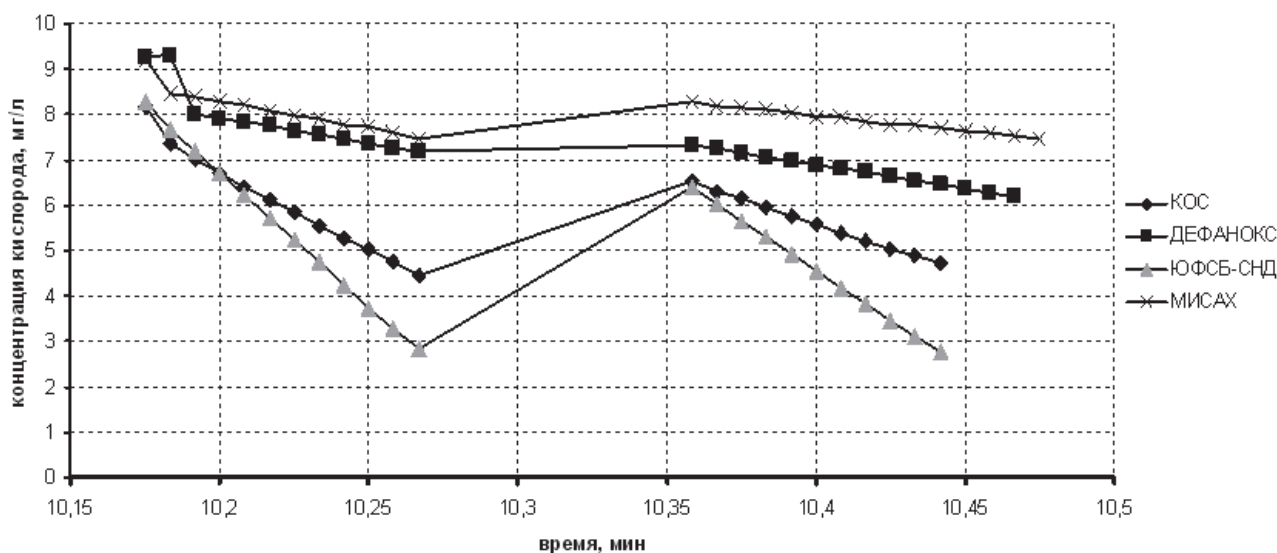


Рисунок 7. Динамика изменения кислорода при определении нитрификационной активности

Скорость потребления кислорода может быть рассчитана по следующей формуле:

$$СПК = QX \left(\frac{O}{K_o + O} \right) \left(\frac{S}{K_s + S} \right),$$

где K_o и K_s – константы полунасыщения для кислорода и субстрата соответственно; Q – потенциальная (максимальная) удельная СПК данного ила [6].

Скорость эндогенного дыхания илов ДЕФАНОКС и ЮФСБ-СНД составляет 7,4 и 7,7 мг/(г·ч), это существенно выше, чем значения скоростей эндогенного дыхания илов КОС и МИСАХ (3,7 и 3,2 соответственно), что свидетельствует о глубокой степени окисления органических соединений в первых двух процессах ($\xi_{ХПК} = 70 - 84\%$). Самое высокое значение гетеротрофной активности, равное 25 мг/(г·ч) ила ЮФСБ-СНД, близкое к значению активного ила КОС (21,6 мг/(г·ч)), свидетельствует о хороших термодинамических условиях насыщения кислородом ила в реакторе ЮФСБ-СНД. Большое количество нитрификаторов в иле реактора ЮФСБ-СНД, выражающееся высокими скоростями нитрификационного дыхания,

объясняется высоким возрастом (20 суток) и оптимальным гидродинамическим режимом во время аэрационной фазы. Отрицательные значения нитрификационной активности свободно плавающего ила в двухиловой системы ДЕФАНОКС на диаграмме показывают, что активный ил содержит в основном DPB-бактерии и практически не имеет нитрификаторов, что свидетельствует о создании строго анаэробных и аноксидных условий в реакторах со свободно плавающим илом. Нитрификация аммонийного азота в системе ДЕФАНОКС осуществляется в реакторах с прикрепленной микрофлорой. Изучение скоростей дыхания прикрепленной микрофлоры различных загрузок показало, что активность нитрификаторов в 1,5 – 2 раза выше активности гетеротрофов иммобилизованных илов. Невысокие показатели нитрификационной активности ила МИСАХ объясняются необходимостью поддержания низких значений возраста ила для увеличения скорости дефосфатации.

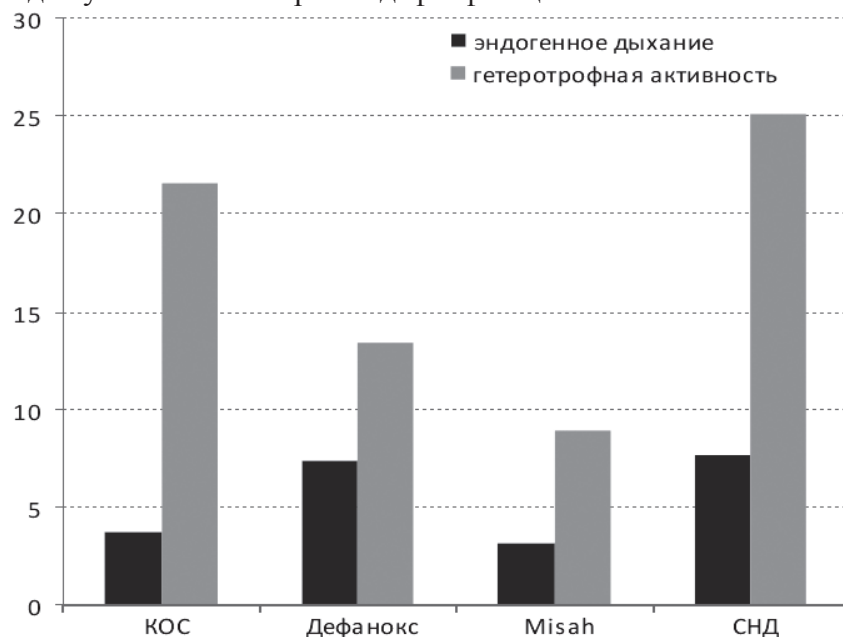


Рисунок 6. Усредненные значения скоростей гетеротрофного и эндогенного дыхания

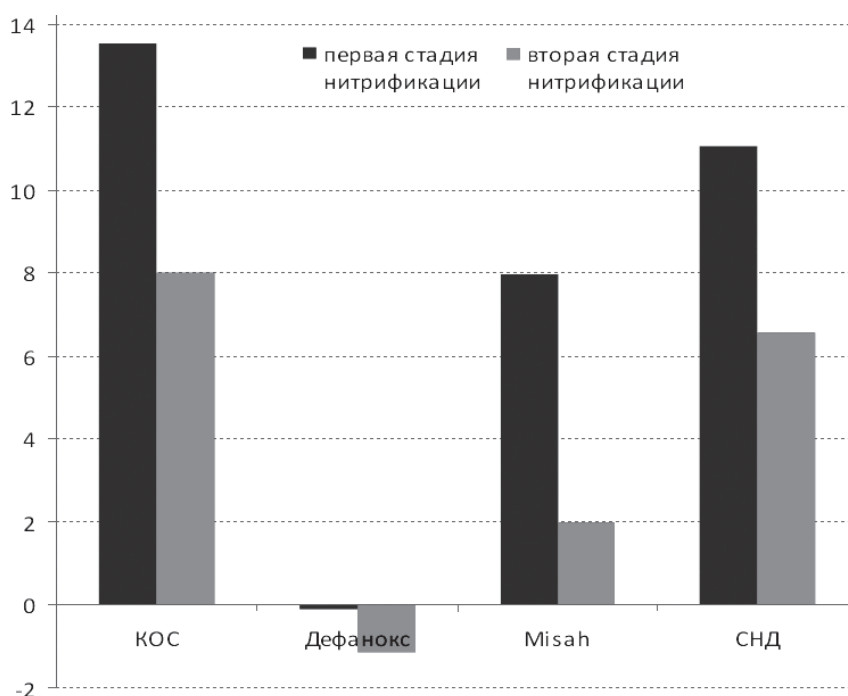


Рисунок 7. Усредненные значения скоростей дыхания нитрификаторов Nitrosomonas и Nitrobacter

Выводы

Высокие значения активностей ила ЮФСБ-СНД свидетельствуют об оптимальных технологических условиях проведения процесса в реакторе. Процесс устойчив к неравномерности поступающих сточных вод (нестабильное поступление стоков и их концентрация).

Двухиловая система М-ДЕФАНОКС является перспективной для очистки городских сточных вод, поскольку позволяет устранить противоречие, возникающее при использовании одноиловой системы: необходимый для нитрификаторов длительный аэробный период неоптимален для денитрификационной дефосфатации. Невысокая скорость гетеротрофного дыхания компенсируется значительной величиной ферментативного поглощения трудноокисляемого органического вещества, адсорбированного на активном иле, – эндогенным дыханием.

Литература

1. Kuba T., van Loosdrecht M.C.M., Heijnen J.J. Phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of denitrifying dephosphotation and nitrification in a two-sludge system // *Water Research*, 1996. V. 30, No 7, pp. 1702-1710.
2. Козлов М.Н., Кевбрина М.В., Грачев В.А., Дорофеев А.Г. М-Дефанокс – эффективная технология биологического удаления фосфора из сточных вод // *Водоснабжение и санитарная техника*, 2012, № 10, с 43-49.
3. Стрельцов С.А., Кевбрина М.В., Козлов И.М. Внедрение модернизированных технологий удаления биогенных элементов на очистных сооружениях г. Москвы // *Водоснабжение и санитарная техника*, 2012, № 10, с 34-42.
4. Козлов М.Н., Николаев Ю.А., Грачев В.А. Удаление азота и фосфора из сточной воды в реакторе периодического действия с восходящим потоком сточной воды// сбр докл 8-го Международного конгресса ЭКВАТЕК 2008, с 41-48.
5. Веригина Е.Л., Миташова Н.И. Процессы и аппараты инженерной защиты компонентов окружающей среды. Гидросфера. Учебное пособие, М: МГУИЭ, 2012.
6. Дорофеев А.Г., Грачев В.А. Дыхательная активность илов, используемых в биологической очистке сточных вод// Сб. докл 8-го Международного конгресса ЭКВАТЕК 2008, с. 54-61.

Очистка сточных вод автомобильных парковок от нефтепродуктов

Чл.-корр. РАН д.т.н. проф. Систер В.Г., к.б.н. доц. Миташова Н.И., Кольцова Е.С.
Университет машиностроения
8 (495) 761-72-71, vgs001@mail.ru,
8(903)-141-98-90, mitanieko@mail.ru,
8(910)-453-26-31

Аннотация. На сточных водах от парковок г. Москвы (Измайловский бульвар) рассмотрена возможность экспериментальной очистки и доочистки стока от нефтепродуктов. Разработана технологическая линия очистки; проведены исследования с использованием фильтрования на различных АУ и нетканом материале; биотестирование сточных вод для установления ориентировочного класса опасности.

Ключевые слова: *автопарковки, очистка сточных вод, доочистка, нефтепродукты, нетканый фильтр, сорбенты*

Автопарковки обычно имеют открытые площадки и достаточно развитую дорожную сеть, с которой отводятся дождевые сточные воды, загрязненные взвешенными веществами, нефтепродуктами и другими веществами.