



УДК 628.35

Е. С. ГОГИНА, канд. техн. наук, доц., гл. науч. сотрудник; А. В. РЕШЕТОВА,
аспирант

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАГРУЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА КАК МЕТОДА ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСХ).

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.

Тел.: (916) 133-65-83; эл. почта: Gogina-es@yandex.ru; reshetova.anny@yandex.ru

Ключевые слова: загрузочный материал, методы интенсификации, удаление фосфора, удаление азота, очистка сточных вод.

Особая актуальность реконструкции в условиях высокой степени износа существующих канализационных сооружений приводит к формированию интереса к повышению качества очистки сточных вод до современных стандартов в рамках уже существующих сооружений. Данное исследование посвящено анализу существующих методов интенсификации сооружений биологической очистки сточных вод, а также рассмотрению различных типов инертных носителей прикрепленной биомассы.

Введение

Эвтрофирование водных объектов, вызванное существенным увеличением количества питательных веществ (включая такие биогенные элементы как азот и фосфор), приводит к росту продуктивности водных экосистем, связанному с интенсивным ростом микроорганизмов, в основном сине-зеленых водорослей. Поэтому возникает необходимость снижения нагрузки биогенными элементами с целью сохранения и восстановления водных объектов, подвергающихся антропогенному воздействию во всем мире.

Большая часть водных объектов является одновременно как приемником сточных вод, так и источником для водопотребления. При этом качество природной воды, поступающей на водоочистные сооружения, определяется в значительной степени эффективностью очистки сбрасываемых сточных вод.

Избыточное поступление биогенных элементов, таких как азот и фосфор, является причиной антропогенного эвтрофирования водных объектов РФ. По данным Федеральной службы государственной статистики поступление нитратов со сточными водами в водные объекты с 1993 по 2022 год возросло со 140 тыс. т до 360 тыс. т в год – произошло увеличение в 2,5 раза. При этом объем сброса сточных вод уменьшился с 68,2 млрд. м³ до 36,2 млрд. м³. То есть даже при уменьшении объема сброса произошел рост поступления биогенных элементов в водные объекты. Иными словами, существует проблема ухудшения/снижения качества очистки сточных вод от биогенных элементов [1].

Повышение качества очистки сточных вод от биогенных элементов является актуальным направлением развития, так как фактический сброс СВ по азоту аммонийному и фосфору фосфатов в большинстве случаев превышает ПДК, установленную для водных объектов России.



В настоящее время основным сооружением биологической очистки сточных вод является аэротенк. Аэротенк (англ. “*tank*” – резервуар) – сооружение прямоугольного сечения чаще всего из бетона, железобетона или металла, разделенное перегородками на коридоры, в которое подается смесь поступающих сточных вод и активного ила.

Целью исследования является анализ существующих методов интенсификации работы сооружений биологической очистки для выявления наиболее перспективного.

Интенсифицировать процесс биологической очистки сточных вод от биогенных элементов можно по нескольким основным направлениям, объединяющим в себе различные способы: повышение дозы активного ила [2–4], увеличение активности микроорганизмов [5], изменение гидравлики потока сточных вод внутри сооружения. Рассмотрим каждый из них подробнее ниже.

Изменение гидравлики потока сточных вод внутри сооружения или же создание аэротенка с управляемой гидродинамической структурой потока представляет собой:

- Изменение коэффициента рециркуляции

Это позволяет изменить структуру потока и достичь более высокой степени смешения – вытеснения.

- Изменение подачи сточной воды

Еще одним перспективным, но при этом наименее развитым направлением интенсификации работы аэротенка является изменение подачи сточной воды. Суть сводится к изменению скорости и направления протекания сточной воды в аэротенке, то есть увеличению пути прохождения потока сточных вод и, как следствие, увеличению времени контакта очищаемой воды с активным илом.

Преимуществом данного метода является увеличение эффективности очистки сточных вод без изменения форм и размеров сооружения, а также минимальные затраты на реализацию данного метода.

К особенностям можно отнести относительно низкое повышение эффективности очистки сточных вод [6].

Изменение окислительной способности микроорганизмов – увеличение активности микроорганизмов

1. Механическое воздействие

- Гомогенизация активного ила

По результатам проведения процесса гомогенизации, приведение к однородности и равномерному распределению частиц вещества, повышается ферментативная активность ила, что приводит к повышению качества очистки сточных вод от биогенных элементов, за счет как изменения скорости роста активного ила, так и увеличения способности накопления фосфора фосфатов.

К особенностям можно отнести относительно небольшое повышение эффективности очистки сточных вод.

2. Использование гормонов

- Стероидные соединения

- Химический мутагенез

3. Применение чистых культур

К особенностям применения можно отнести более медленный рост микроорганизмов и более низкую сопротивляемость влиянию внешних негативных факторов.



Увеличение дозы активного ила

1. Применение фильтровальных устройств в аэротенке

Пропуск воды (фильтрация) через специальный материал сетчатого или пористого типа с целью увеличения площади контакта иловой смеси с биопленкой на носителе. Существуют следующие вариации:

– Сетчатые перегородки: представляют собой фильтрующие экраны из металлической или полимерной сетки; устанавливаются вертикально между секциями аэротенка.

– Перегородки ПНС (погружные неподвижные системы) с гидросмывом: состоят из фильтрующих элементов с системой промывки, которая осуществляется подачей воды под давлением через форсунки.

– Пористая гранулированная среда: представляет собой загрузку из керамзита, полимерных гранул, активированного угля и т.п., работает как биофильтр внутри аэротенка и требует периодической регенерации или замены загрузки.

– Фильтровальное полотно из различных материалов: изготавливается из синтетических волокон (полиамид, полипропилен), нетканых материалов в виде рулонных или модульных элементов, обеспечивает тонкую фильтрацию (от 10 до 100 мкм).

В попытках разработать конструкцию аэротенка, работающую с высокими дозами активного ила, и снизить влияние процесса илоразделения на работу аэрационных сооружений, было запроектировано сооружение – фильтротенк. При работе этого биоокислителя реализуется поддержание высокой дозы биомассы в зоне аэрации, при этом концентрация дозы ила в отводимой на отстаивание воде не более 3-4 г/л. Осветление концентрированной иловой смеси из зоны аэрации реализуется при помощи сетчатой перегородки, регенерация которой осуществляется обратной продувкой воздуха.

2. Повышение эффективности процесса илоразделения

Резкому повышению окислительной мощности сооружения способствует увеличение дозы активного ила. В связи с этим возникают сложности с илоразделением высококонцентрированной иловой смеси, поступающей на вторичное отстаивание. Поэтому требуется применение высокоэффективных илоотделителей после сооружений биологической очистки с целью поддержания требуемой дозы активного ила и обеспечения минимального периода илоразделения. На данный момент существуют следующие технологии, повышающие эффективность процесса илоразделения:

– Мембранное фильтрование

Альтернативным решением классического гравитационного разделения во вторичных отстойниках после сооружений биологической очистки является применение ультрафильтрационных мембран.

Преимуществом технологии является то, что объем, занимаемый мембранными реакторами, в 6–8 раз меньше объема, требуемого под вторичные отстойники, что является актуальным, если говорить про реконструкцию или строительство очистных сооружений в условиях дефицита свободного места под строительство. Также благодаря применению мембранныго модуля в аэротенке возможно поддерживать дозу активного ила около 12 г/л, что намного выше в сравнении с общепринятой схемой, где концентрация биомассы в сооружении составляет 3-4 г/л.



Особенностью метода является то, что капитальные затраты на мембранный блок, то есть затраты на строительство резервуаров для его размещения и стоимость самих мембранных модулей, как правило, выше по сравнению с расходами на строительство вторичных отстойников [7, 8].

– Флотационное илоразделение

Суть флотационного илоразделения сводится к протеканию в очищаемой воде реакции, сопровождающейся формированием всплывающих агломератов загрязнений с диспергированной газовой фазой с целью последующего их отделения в виде концентрированного продукта – флотошлама.

Первоначально при работе напорного флотатора происходит растворение воздуха под давлением в сточных водах при помощи устройства – сатуратора. Затем вода поступает в основную камеру флотатора, где из-за более низкого давления происходит резкое выделение газа, в результате сформировавшиеся пузырьки воздуха всплывают с частицами активного ила.

Особенностью метода по сравнению с классическим илоотделением во вторичных отстойниках являются более высокие эксплуатационные затраты в связи с расходом воздуха и сложность эксплуатации вспомогательного оборудования для приготовления водовоздушной смеси.

– Гидроциклоны, центрифуги

Повышение эффективности процесса илоразделения и, как следствие, поддержание высокой дозы активного ила в аэротенке возможно посредством использования гидроциклонов и центрифуг.

К преимуществам технологии помимо ускорения процесса илоотделения также можно отнести повышение его биологической активности, так как происходит отделение отмирающих микроорганизмов от молодого активного ила.

3. Заполнение всего (части) объема сооружения инертными материалами с развитой поверхностью

Применение загрузочного материала как метода интенсификации работы сооружений биологической очистки позволяет:

- Увеличить количество активного ила (дозу ила) в аэротенках без значительного увеличения концентрации иловой смеси, поступающей во вторичные отстойники, что является главным преимуществом данного технологического решения;
- Повысить эффективность очистки сточных вод, то есть достигнуть более высоких результатов глубокой очистки сточных вод;
- Увеличить стабильность значений илового индекса;
- Оказаться от необходимости строительства новых сооружений, что является актуальным при реконструкции уже существующих станций очистки или в условиях дефицита свободного места под строительство;
- Достичь более высокой стабильности и устойчивости биологической системы относительно классической;
- Повысить устойчивость биопленки к токсичным соединениям вследствие защиты от прямого контакта биоценоза;
- Обеспечить более глубокую деградацию загрязняющих веществ благодаря трофной структуре биоценоза, в которой субстратом нижнего уровня являются метаболиты предшествующего трофного уровня;
- Поддерживать высокие скорости окисления благодаря «молодому» илу (возраст около 3-4 суток) и одновременно повысить нитрифицирующие свойства



(возраст более 10–12 суток), поскольку возраст активного ила, находящегося во взвешенном состоянии, меньше возраста активного ила, прикрепленного на носителе, так как происходит постоянное удаление и обновление первого [9].

На данный момент в СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85 (с Изменениями N 1, 2, 3) в пункте 9.2.8 (9.2.8.1–9.2.8.3) описана возможность применения затопленного биореактора с прикрепленной биопленкой, а также некоторые базовые моменты (мероприятия по регенерации, надежность конструктивных решений и т.п.). В связи с этим является целесообразным проведение исследования, направленного на оценку зависимости эффективности очистки от объема загрузочного материала и, как следствие, технологические и конструктивные параметры.

Как уже было описано выше, в СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85 (с Изменениями N 1, 2, 3) в пункте 9.2.63 описаны основные критерии выбора загрузочного материала, такие как механическая и химическая прочность, а в пункте 9.2.8 (9.2.8.1–9.2.8.3) описана возможность применения затопленного биореактора с прикрепленной биопленкой и некоторые основные моменты, такие как надежность конструктивных решений, мероприятия по регенерации и т.д.). Однако нет пункта, который бы описывал возможность интенсификации процесса биологической очистки сточных вод вследствие применения загрузочного материала в качестве носителя иммобилизованного активного ила с целью увеличения дозы ила.

Согласно пункту 9.2.7.9 СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85 (с Изменениями N 1, 2, 3) расчет параметров работы сооружений биологической очистки сточных вод следует осуществлять по методикам, опубликованным в научно-технической литературе на территории РФ. На данный момент основными методиками расчета, на основании которых ведется большинство расчетов на строительство новых или реконструкцию уже существующих канализационных очистных сооружений, являются предложенные С. В. Степановым «Технологический расчет аэротенков и мембранных биореакторов» и Д. А. Даниловичем «Расчет и технологическое проектирование процессов и сооружений удаления азота и фосфора из городских сточных вод». В представленных методиках расчет сооружений биологической очистки (аэротенка) с применением загрузочного материала в качестве носителя иммобилизованного активного ила отсутствует.

Классификация загрузочного материала

Для интенсификации процесса биологической очистки сточных вод применяется загрузочный материал разнообразной конфигурации в качестве носителя биомассы из различных материалов, однако, несмотря на все многообразие, существует деление на два основных типа по принципу его нахождения в сооружении биологической очистки – фиксированном в одном положении или свободноплавающем.

– Фиксированный в пространстве сооружения загрузочный материал

Так, например, существуют блоки биозагрузки (ББЗ) из сетчатого материала, представленного полимером, с пористостью 93–97 % (рис. 1), что позволяет обеспечить доступ кислорода к биопленке, а жесткий корпус предотвращает возможные деформации материала.



Рис. 1. Блочно-модульная кассета (объемная сетчатая биологическая загрузка)

Помимо объемных некоторые производители предлагают блоки плоскостной загрузки (рис. 2, слева). Суть заключается в чередовании гофрированных и плоских листов, при помощи которых формируются блоки различной формы с удельной поверхностью от 40 до $160 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

В свою очередь, хорошо себя зарекомендовала загрузка, выполненная из полимерных материалов в виде полых цилиндров диаметра $d = 45\text{--}55\text{мм}$ при толщине стенки $l_{ct} = 5\text{--}10\text{мм}$ и пористостью от 65 до 80 % (рис. 2, справа). Относительно высокая пористость носителя, а также размер пор, соизмеримый с размером хлопка активного ила, создают благоприятные условия для иммобилизации активного ила.



Рис. 2. Загрузочный материал: слева – плоскостная загрузка; справа – полимерная загрузка в виде полых цилиндров

На рынке также существуют модули с ершовой загрузкой (рис. 3), высокая эффективность которых достигается за счет применения полиамида и полистиловых нитей прямоугольного сечения, что позволяет обеспечить увеличение площади поверхности адгезии относительно загрузочного материала, представленного волокнами круглого сечения. Данный тип загрузочного материала обладает высокой удельной поверхностью – около $500 \text{ м}^2/\text{м}^3$, что создает возможность удержания значительного количества биомассы.



Еще одним типом загрузочного материала является петельная полимерная загрузка, представляющая собой полимерную композиционную трубу с трехслойной структурой с площадью активной поверхности около $3400 \text{ м}^2/\text{м}^3$ по отношению к объему материала загрузки и $2000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ на конструкционный объем. Внешний слой загрузки выполнен из полипропиленов нитей, что позволяет достигнуть пористости в 96,3 %, материалом внутреннего слоя является полиэтилен при пористости в 74 %. Единичные элементы, представляющие собой полимерную трубу с функциональной структурой (рис. 4), соединяют в блоки, которые монтируются непосредственно в биореактор [10].



Рис. 3. Модули с ершовой загрузкой

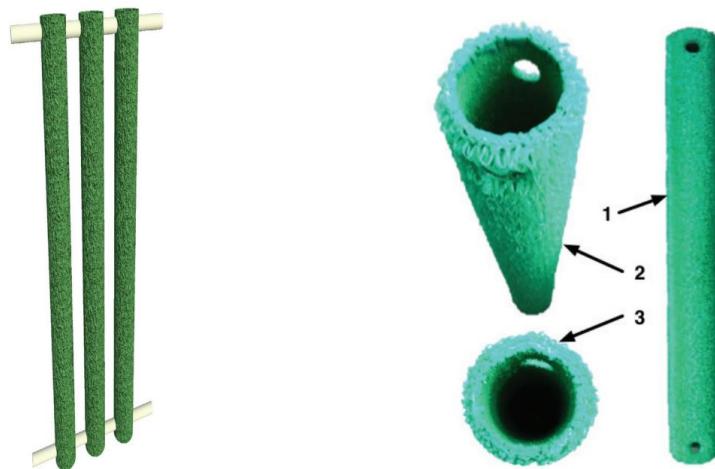


Рис. 4. Петельная загрузка: 1 – вид сбоку; 2 – общий вид; 3 – вид сверху

Другим типом загрузочного материала является так называемая биозагрузка «клапша» (рис. 5) в виде плоских листьев, представляющих собой переплетение полимерных волокон, удельная площадь поверхности которых варьируется от 150 до $460 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Особенностью данного загрузочного материала является его специфическая форма, обеспечивающая большую площадь для наращивания



колоний микроорганизмов активного ила и, как следствие, оказывающая положительное влияние на повышение эффективности очистки сточных вод.

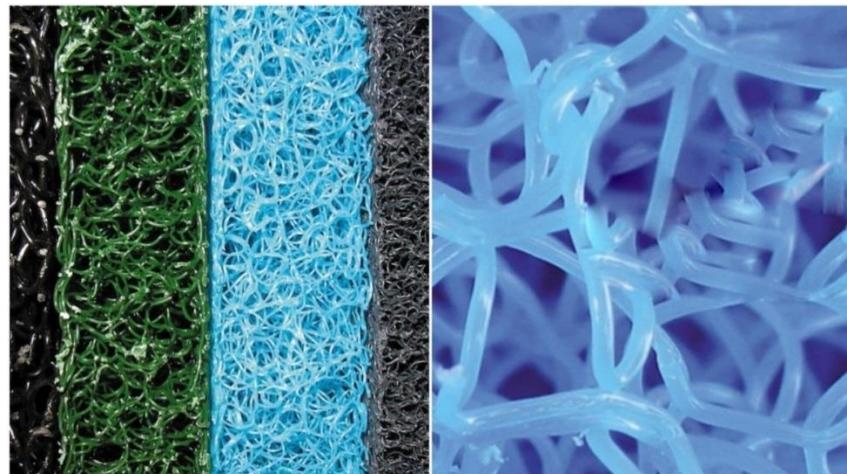


Рис. 5. Лист биологической загрузки “Matala”

Также существует объемная загрузка, конструктивно представляющая собой сочетание пористо-волокнистого материала и перфорированно-гофрированных трубчатых элементов (рис. 6), что позволяет обеспечить жесткость, сопротивляемость к деформации конструкции одновременно со значительной удельной поверхностью. Особенностью данной загрузки является возможность исполнения в различных конфигурациях, что позволяет подобрать технологические параметры загрузочного материала с учетом специфических особенностей рассматриваемой сточной воды и/или сооружения.

Преимуществом применения фиксированной в пространстве сооружения загрузки является устойчивость к деформации и равномерное распределение по всей площади сооружения, а также отсутствие риска выноса загрузочного материала из объема сооружения [11].



Рис. 6. Объемная загрузка «Полипортер»



– Свободноплавающий загрузочный материал

Распространенным типом плавающего загрузочного материала являются биочипсы (рис. 7), изготавливаемые из полиэтилена высокой плотности. Особенностью является высокая площадь активной поверхности – более $5000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ при относительно небольших размерах самих чипсов $d = 25\text{--}30 \text{ мм}$ и толщине $l = 1\text{--}1,5 \text{ мм}$.

Применение такого типа загрузочного материала из-за высокой площади поверхности является оптимальным решением для высококонцентрированных сточных вод или области применения, требующей компактной конструкции сооружений.



Рис. 7. Загрузочный материал «Биочипсы»

Другим типом является биозагрузка цилиндрической формы, изготавливаемая из переработанных гранул полиэтилена высокой плотности. Активная площадь поверхности данного загрузочного материала составляет около $800 \text{ м}^2/\text{м}^3$ при геометрических размерах – диаметре $d = 13 \text{ мм}$ и длине $l = 12 \text{ мм}$. Похожей конфигурацией обладает загрузка круглой формы с различными перегородками и выступами (рис. 8), удельная поверхность которой в среднем составляет $620 \text{ м}^2/\text{м}^3$ при объемной массе материала равной $50 \text{ кг}/\text{м}^3$.

С целью применения загрузочного материала петельной формы (рис. 9) в условиях работы реактора с переменным уровнем поступающих на биологическую очистку сточных вод, были разработаны плавающие модули, представляющие собой объемную конструкцию, центральным стержнем которой является элемент с устойчивой положительной плавучестью.



Рис. 8. Загрузочный материал: слева – цилиндрической формы «Биоцилиндр»; справа – круглой формы «Биошар»

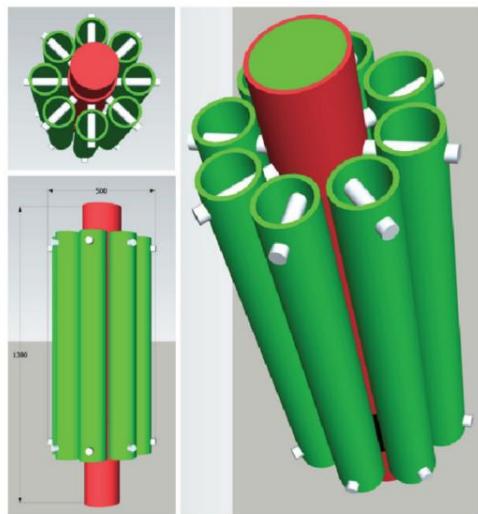


Рис. 9. Модульный элемент петельного типа

Преимуществом применения свободноплавающего загрузочного материала является возможность поддержания стабильности системы при неравномерном поступлении сточных вод на сооружения [12].

Выводы

На данный момент наиболее перспективным методом интенсификации работы сооружений биологической очистки является применение инертного носителя с развитой поверхностью для иммобилизации активного ила, позволяющее повысить качество очистки сточных вод без значительных капитальных (строительство новых сооружений) и эксплуатационных (применение реагентных методов очистки) затрат.

По состоянию на сегодняшний день основными критериями выбора загрузочного материала так и остаются – механическая и химическая прочность, высокая удельная поверхность и отсутствие токсичного воздействия на биомассу (инертность материала) ввиду отсутствия стандартизованных расчетов при



строительстве или реконструкции сооружений биологической очистки с применением загрузочного материала в качестве носителя биопленки для обеспечения высокой дозы активного ила.

В настоящее время существует ряд компаний, которые длительное время занимаются применением загрузочного материала, однако это носит локальный характер. Часто это происходит в случаях, когда производитель в большинстве своем заинтересован в продвижении собственной продукции и предоставляет потребителю ограниченный выбор. Таким образом, возникает необходимость проведения исследования, направленного на разработку методики расчета сооружений с применением загрузочного материала, а именно, корреляции количества (объема) загрузки и эффективности очистки сточных вод с последующим применением полученных результатов для целей реализации различных проектов как на стадии проектирования новых, так и на стадии реконструкции уже существующих канализационных очистных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водные ресурсы. Федеральная служба государственной статистики : официальный сайт. – URL: <https://www.gks.ru/folder/11194> (дата обращения: 19.03.2025). – Текст : электронный.
2. Харькина, О. В. Исследование работы аэротенков нитри-денитрификации с повышенными дозами активного ила / О. В. Харькина, К. В. Шотина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 10. – С. 42 – 47.
3. Шотина, К. В. Очистка городских сточных вод от азота и фосфора с использованием повышенных доз активного ила : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шотина Ксения Владимировна ; Московский государственный строительный университет. – Санкт-Петербург, Москва, 2011. – 86 с. : ил.
4. Волкова, Г. А. Интенсификация биологической очистки городских сточных вод путем повышения дозы активного ила / Г. А. Волкова, С. В. Андреюк, Е. И. Дмухайло // Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – № 2 (92). – С. 119–122. – EDN YUXQJN.
5. Соловьев, А. Е. Использование гомогенизированного активного ила для интенсификации очистки сточных вод в аэротенках : специальность 05.23.04 «Водоснабжение и канализация» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Соловьев Андрей Евгеньевич. – Москва, 1982. – 159 с.
6. Усынина, А. Э. Интенсификация работы аэротенка за счет совершенствования распределительной системы подачи сточной воды / А. Э. Усынина, Е. А. Панфилов // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования : материалы V Международного научного форума молодых ученых, Астрахань, 26–29 апреля 2016 года / Под общей редакцией Д. П. Ануфриева. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2016. – Том 5. – С. 187–189. – EDN WLEAFH.
7. Ткачев, В. А. Мембранные разделение активного ила и сточных вод / В. А. Ткачев, А. В. Ромашко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2007. – № 3. – С. 101–104. – EDN OLQATT.



8. Харькин, С. В. Нужен ли блок фильтрования в технологической схеме биологической очистки / С. В. Харькин // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2022. – № 2. – С. 25–33. – EDN MJJVIS.
9. Камалов, Р. Т. Интенсификация биологической очистки иммобилизованным активным илом / Р. Т. Камалов, В. Н. Кульков // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2017. – № 1. – С. 9. – EDN WHGRLO.
10. Пукемо, М. М. Инновационная петельная загрузка Alta Bioload / М. М. Пукемо, Е. В. Алексеев // Перспективы науки. – 2017. – № 7 (94). – С. 14–26. – EDN ZHNPYF.
11. Бочкунова, Д. Г. Использование биомассы для интенсификации работы аэротенков / Д. Г. Бочкунова // Устойчивое развитие: аспекты аспектов: материалы XI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Брест, 24–26 апреля 2019 год. – Брест : БГТУ, 2019. – С. 42–44.
12. Сайд, М. А. Влияние типа загрузки на окислительную способность модифицированного погружного вращающегося биофильтра / М. А. Сайд, Н. С. Серпокрылов, В. В. Нелидин. – Текст : электронный // Градостроительство и архитектура. – 2020. – Том 10, № 4 (41). – С. 60–68. – DOI 10.17673/Vestnik.2020.04.8. – EDN ZIHJAO.

GOGINA Elena Sergeevna, candidate of technical sciences, associate professor, chief researcher; RESHETOVA Anna Valerevna, postgraduate student

APPLICATION OF LOADING MATERIAL AS A METHOD FOR INTENSIFYING THE OPERATION OF BIOLOGICAL TREATMENT

Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.

Tel.: (916) 133-65-83; e-mail: Gogina-es@yandex.ru, reshetova.anny@yandex.ru

Key words: loading material, intensification methods, phosphorus removal, nitrogen removal, wastewater treatment.

The special relevance of reconstruction, driven by the advanced deterioration of existing sewerage structures, generates significant interest in improving the quality of sewage treatment up to modern standards within the framework of already existing structures. This research focuses on the analysis of existing techniques for intensification of biological wastewater treatment facilities, as well as considering different types of inert carriers of attached biomass.

REFERENCES

1. Vodnye resursy. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Water resources. Federal State Statistics Service]: ofitsialny sayt. URL: <https://www.gks.ru/folder/11194>.
2. Kharkina O. V., Shotina K. V. Issledovanie raboty aerotenkov nitri-denitrifikatsii s povyshennymi dozami aktivnogo ila [Study of the operation of nitrification-denitrification aeration tanks with increased activated sludge doses]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water Supply and Sanitary Engineering]. 2010, № 10, P. 42–47.
3. Shotina K. V. Ochistka gorodskikh stochnykh vod ot azota i fosfora s ispolzovaniem povyshennykh doz aktivnogo ila [Purification of municipal wastewater from nitrogen and phosphorus using increased activated sludge doses]: spetsialnost 05.23.04. Vodosnabzhenie, kanalizatsiya, stroitelnye sistemy okhrany vodnykh resursov: diss. ... kand. tekhn. nauk; Moskovskiy gosudarstvenny stroitelny un-t. Saint-Petersburg, Moscow, 2011, 86 p.



4. Volkova G. A., Andreuk S. V., Dmukhailo E. I. Intensifikatsiya biologicheskoy ochistki gorodskikh stochnykh vod putem povysheniya dozy aktivnogo ila [Intensification of biological treatment of municipal wastewater by increasing the activated sludge dose]. Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Vodokhozyaystvennoe stroitelstvo, teploenergetika i geoekologiya [Bulletin of the Brest State Technical University. Water Management Construction, Heat Power Engineering and Geoecology]. 2015, № 2 (92), P. 119–122. EDN YUXQJN.
5. Solovev A. E. Ispolzovanie gomogenizirovannogo aktivnogo ila dlya intensifikatsii ochistki stochnykh vod v aerotenkakh [Use of homogenized activated sludge for intensification of wastewater treatment in aeration tanks]: spetsialnost 05.23.04. Vodosnabzhenie i kanalizatsiya: diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 1982, 159 p.
6. Usynina A. E., Panfilov E. A. Intensifikatsiya raboty aerotenka za schet sovershenstvovaniya raspredelitelnoy sistemy podachi stochnoy vody [Intensification of aeration tank operation by improving the distribution system for wastewater supply]. Potentsial intellektualno odarennoy molodezhi - razvitiyu nauki i obrazovaniya [Potential of Intellectually Gifted Youth for the Development of Science and Education]: materialy V Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma molodykh uchenykh, 26–29 aprelya 2016 goda. pod obshchey redaktsiey D. P. Anufrieva. Astrakhan, Astrakhanskiy gos. arkh.-str. un-t, 2016, Vol. 5, P. 187–189. EDN WLEAFH.
7. Tkachev V. A., Romashko A. V. Membrannoe razdelenie aktivnogo ila i stochnykh vod [Membrane separation of activated sludge and wastewater]. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova [Bulletin of the V.G. Shukhov Belgorod State Technological University]. 2007, № 3, P. 101–104. EDN OLQATT.
8. Kharkin S. V. Nuzhen li blok filtrovaniya v tekhnologicheskoy skheme biologicheskoy ochistki [Is a filtration unit necessary in the technological scheme of biological treatment?]. Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodoootvedeniya [Best Available Technologies for Water Supply and Sanitation]. 2022, № 2, P. 25–33. EDN MJJVIS.
9. Kamalov R. T., Kulkov V. N. Intensifikatsiya biologicheskoy ochistki immobilizovannym aktivnym ilom [Intensification of biological treatment with immobilized activated sludge]. Molodezhny vestnik IrGTU [Youth Bulletin of Irkutsk State Technical University]. 2017, № 1, P. 9. EDN WHGRLO.
10. Pukemo M. M., Alekseev E. V. Innovatsionnaya petelnaya zagruzka Alta Bioload [Innovative loop-type media Alta Bioload]. Perspektivy nauki [Science Prospects]. 2017, № 7 (94), P. 14–26. EDN ZHNPYF.
11. Bochkunova D. G. Ispolzovanie biomassy dlya intensifikatsii raboty aerotenkov [Use of biomass for intensifying the operation of aeration tanks]. Ustoychivoe razvitiye: aspeky aspektov [Sustainable Development: Aspects of Aspects]: materialy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, Brest, 24–26 aprelya 2019 g. Brest, BrGTU, 2019, P. 42–44.
12. Saiyd M. A., Serpokrylov N. S., Nelidin V. V. Vliyanie tipa zagruzki na okislitel'nyyu sposobnost modifitsirovannogo pogruzchnogo vrashchayushchegosya biofiltra [Influence of media type on the oxidation capacity of a modified submerged rotating biological filter]. Gradostroitelstvo i arkhitektura [Urban Planning and Architecture]. 2020, Vol. 10, № 4 (41), P. 60–68. DOI 10.17673/Vestnik.2020.04.8. EDN ZIHJAO.

© Е. С. Гогина, А. В. Решетова, 2025

Получено: 13.11.2025 г.