2 **Васильев, Л. Г.** Гигиеническое и противоэпидемиологическое обеспечение производства молока и молочных продуктов / Л. Г. Васильев, Н. И. Абрамова-Оболенская, В. А. Павлов. – М. : Агропромиздат, 1990. – 302 с.

3 Статистический ежегодник // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – URL: https://www.belstat.gov.by (дата обращения: 14.02.2024).

4 Инструкция по нормированию водопотребления и водоотведения в молочной промышленности : утв. первым заместителем Министра сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь 19 декабря 2007 г. – Минск : Институт мясо-молочной промышлености, 2007. – 57 с.

5 Национальная стратегия управления водными ресурсами в условиях изменения климата на период до 2030 года : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь № 91 от 22.02.2022. – URL: https://minpriroda.gov.by/ru/new_url_1649710582-ru/ (дата обращения: 14.02.2025).

УДК 628.356.39

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ В АЭРОТЕНКАХ

М. В. КЛИМЕНКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Актуальность. В современных условиях наблюдается тенденция к рациональному водопотреблению населением, что обуславливает снижение нормы водоотведения. Данный фактор приводит к возрастанию концентраций загрязняющих веществ в сточных водах. Увеличение загрязнений сточных вод создает дополнительные технологические барьеры для их эффективной очистки, что актуализирует необходимость интенсификации работы очистных сооружений.

Биологическая очистка является основным методом обработки сточных вод. Основным сооружением биологической очистки сточных вод является аэротенк. Одним из методов улучшения качества очистки сточных вод в аэротенках является увеличение дозы активного ила.

Повышение дозы ила достигается установкой в аэротенк носителей биомассы с большой поверхностью для обрастания биопленкой. Это приводит к формированию биоценоза, образованного на инертных синтетических носителях, и к существенному росту общей концентрации биоценоза в аэротенке-биореакторе.

Цель работы. Определение эффективности использования загрузки для интенсификации работы аэротенков.

В последнее время научно-технический прогресс в области очистки сточных вод ориентирован на гибридные процессы с совместным существованием свободного ила и биопленки. Применение загрузки интенсифицирует накопление биомассы в аэротенке без негативного влияния на величину илового индекса.

Основные результаты. Научные и практические разработки последних лет демонстрируют эффективность различных материалов, таких как каркасная, плавающая и ершовая загрузка.

Присутствие загрузочных элементов в аэротенке обеспечивает пространственное разделение процессов нитрификации и денитрификации глубинных слоях биопленки. В глубинных слоях формирующейся на поверхности носителя биопленки, характеризующихся ограниченной диффузией кислорода, создаются аноксидные микрозоны, благоприятствующие протеканию денитрификации. Иммобилизованные на загрузке нитрифицирующие бактерии, в отличие от свободноплавающих форм, сохраняются в системе вне зависимости от снижения температуры и при высоких гидравлических нагрузках

Каркасная загрузка обладает жесткой конструкцией и способностью удерживать значительную биомассу при относительной простоте монтажа и регенерации. При применении каркасных блоков очистка осуществляется двумя биоценозами ила: биоценозом активного плавающего ила, находящимся в иловой смеси, и биоценозом иммобилизованного ила, сформированным на инертной каркасной загрузке. Биоценоз, прикрепленный к загрузке, в меньшей степени подвержен влиянию периодически поступающих угнетающими активность ила веществами. Прикрепленный к инертной синтетической загрузке иммобилизованный ил обеспечивает относительно равномерное его распределение по объему аэротенка, что способствует наличию фиксированной кинетики окисления загрязняющих веществ.

В исследованиях Кулькова В. Н. и Солопанова Е. Ю. рассмотрено применение каркасной загрузки для формирования иммобилизованного биоценоза. Такой подход обеспечивает развитую поверхность для прикрепления микроорганизмов и позволяет интенсифицировать процессы окисления органических веществ за счет увеличения концентрации биомассы в зоне реакции.

Показана хорошая динамика формирования иммобилизованного ила на загрузке, размещенной в центральной зоне биореактора, которая описывается экспоненциальной зависимостью. Неравномерное распределение адсорбированного ила по объему каркасной загрузки вызвано гидродинамическими потоками в поперечном сечении аэротенка. Эффективность воздушной регенерации иммобилизованного ила составляет ~96 %. Кинетика БПК в аэробных условиях проходит через четыре фазы: отсутствие изменений при адаптации ила; экспоненциальное уменьшение; замедление скорости уменьшения БПК и самоокисление ила при эндогенном дыхании при постоянной величине БПК. Зависимость динамики скорости очистки стоков, по выделенным фазам изменения БПК, имеет экстремальный характер с максимумом. В финальной зоне, характеризующейся недостатком питательных веществ, скорость очистки стоков уменьшается с 29,7 до 9,3 мг/(г ч) [2].

Плавающая (подвижная) синтетическая загрузка находится в свободном движении в объеме аэротенка, обеспечивая развитую поверхность для иммобилизации микроорганизмов.

Эффективность работы аэротенков с плавающей загрузкой в значительной степени определяется гидродинамической обстановкой в реакторе. Гидродинамика играет ключевую роль в регулировании характеристик биопленки, включая ее толщину, развитие и площадь поверхности. Недостаточная проработка гидродинамических аспектов приводит к снижению производительности реактора с точки зрения удерживания жидкости и массопереноса, включая распределение загрузки по объему сооружения.

Плавающая загрузка также увеличивает производительность станции биологической очистки, делает биологические сооружения более устойчивыми к резким сбросам загрязнений и способствует процессу нитрификации [3].

Процесс формирования биопленки на плавающей загрузке проходит несколько стадий: аккумуляция органических веществ и микроорганизмов на поверхности носителя, массовая колонизация, формирование зрелой биопленки с внеклеточными полимерными веществами и частичное отслаивание.

Использование подвижных носителей (как правило, из полимерных материалов) способствует постоянному обновлению биопленки в результате истирания и обеспечивает хороший массообмен. Такие системы часто применяются в аэротенках-смесителях для очистки высококонцентрированных стоков [4].

Ершовая загрузка представляет совокупность ершей из капроновой лески, закрепленных вдоль нержавеющей проволоки. Такая конструкция обеспечивает создание идеальных условий для размножения микроорганизмов за счет развитой поверхности и возможности удержания биопленки.

На основании исследований видового состава биоценоза иммобилизованного ила, проведенных Кульковым В. Н., Солопановым Е. Ю., Камаловым Р. Т., было установлено, что при использовании ершовой загрузки уменьшилось количество коловраток, колониальных и прикрепленных инфузорий, малощетинковых червей и сосущих инфузорий, но увеличилось число бентосных амеб, круглых червей, нематод и водорослей, что свидетельствует о загнивании иммобилизованного ила. Количество микроорганизмов всех видов в течение десяти суток существенно меняется – от 28 до 38 шт., что составляет ~26 %. Количество нематод возрастает до 9 шт. (100 %) за 6 дней при одновременном зеркальном уменьшении количества колониальной инфузории, что свидетельствует о загнивании ила [1].

Выводы. Применение загрузочных материалов в аэротенках представляет одно из приоритетных направлений развития систем водоотведения. Методы иммобилизации микрофлоры на каркасных, плавающих и ершовых носителях обеспечивают решение широкого спектра технологических задач – от интенсификации окисления органических соединений до достижения

устойчивой нитрификации-денитрификации. Опыт реконструкции очистных сооружений свидетельствует, что организация специализированных зон и интеграция загрузочных материалов позволяют повысить качество очистки в несколько раз при одновременном увеличении производительности. Перспективы дальнейших исследований связаны с оптимизацией типов носителей для обработки специфических производственных стоков и совершенствованием методов утилизации избыточной биопленки.

Список литературы

1 **Кульков, В. Н.** Динамика и видовой состав биоценоза иммобилизованного ила на ершовой загрузке. / В. Н. Кульков, Е. Ю. Солопанов, Р. Т. Камалов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2019. – Т. 9, № 1. – С. 60–66.

2 **Кульков, В. Н.** Применение каркасной загрузки для формирования иммобилизованного биоценоза в аэротенке / В. Н. Кульков, Е. Ю. Солопанов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 753–763.

3 Прогнозирование параметров регенерации плавающей загрузки в аэротенке / В. Н. Кульков, Е. Ю. Солопанов, В. И. Дударев, А. К. Майновская // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 635–644.

4 Обзор усовершенствованных гидродинамических систем в биореакторах с подвижным слоем (Moving Bed Biofilm Reactors, MBBR) для очистки сточных вод: перспективы развития // ScienceDirect. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343725014472 (дата обращения: 20.02.2026).

УДК:551.4(476.13)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСТРАНШЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В. Ю. КОРШУНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Проведение работ по восстановлению изношенных трубопроводов сопряжено с проблемами обеспечения безопасности, в том числе экологической, и восстановления благоустройства территории, нарушенного в результате прокладки инженерных сетей, а также с вопросами рационального использования финансовых ресурсов. Способ реконструкции трубопроводов путем открытой перекладки изношенных труб может успешно применяться для межпоселковых трубопроводов, в сельской местности, в небольших городах и населенных пунктах на улицах с минимальной плотностью подземных коммуникаций и неинтенсивным движением транспорта, проезд по которым несложно на некоторое время перекрыть.

Бестраншейные технологии по многим параметрам (экономичности, скорости строительства, экологичности и другим) превосходят открытый способ строительства, ремонта и реконструкции подземных трубопроводов любого назначения.