

Ацидофикация осадка для эффективной очистки низкоконцентрированных сточных вод от биогенных элементов

И.А. Гульшин, В.А. Замотай, Д.М. Юн

Национальный исследовательский «Московский государственный строительный университет», Москва

Аннотация: В работе рассмотрено текущее состояние исследований и технологической проработки ацидофикации осадка сточных вод для интенсификации биологических методов удаления биогенных элементов. Приведены примеры использования технологии на объектах Российской Федерации и в зарубежных странах. Обзор литературы выявил отсутствие исследований и методических рекомендаций, сравнивающих эффективности и применяемость различных видов технической реализации ацидофикации при очистке сточных вод. В связи с этим обозначена необходимость проведения комплексного исследования процесса на единой сточной воде и сыром осадке для различных технологий ацидофикации с последующей сравнительной оценкой, обобщением результатов и подготовкой методических рекомендаций.

Ключевые слова: сточные воды, дефосфотация, ацидофикация, удаление биогенных элементов

Введение

Городские сточные воды во многих регионах России характеризуются низким содержанием органических загрязнений при высоких концентрациях биогенных элементов [1, 2]. Строительство новых и реконструкция действующих канализационных очистных сооружений в данных условиях приводит к проблемам при попытке проектирования эффективных систем денитрификации, но в первую очередь это делает невозможными попытки создания биологических систем удаления фосфора [3]. Это приводит к перерасходу реагентов либо для обеспечения внешней углеродной подпитки активного ила, либо для повышения доли химического удаления фосфора. В обоих случаях происходит значительное увеличение эксплуатационных расходов очистных сооружений, что может стать причиной их ненадлежащей эксплуатации и сброса в водоемы недоочищенных сточных вод [4].

Наиболее распространенными безреагентными методами повышения эффективности биологической очистки сточных вод от биогенных элементов

являются отказ от первичного отстаивания и ацидофикация осадка (кислотное брожение). Отказ от первичного отстаивания допустим на очистных сооружениях средней и меньшей производительности, однако при больших расходах или при высоких концентрациях взвешенных веществ отказ от осветления городских сточных вод может привести к повышенным энергозатратам, а также затратам на обработку осадка. В таких случаях возможен не полный отказ, а снижение эффективности осветления до 25-30%, что во многих случаях приводит к высвобождению некоторого количества первичных отстойников и не решает в полной мере проблему дефицита органического субстрата.

Таким образом, при проектировании систем биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора предпочтительным является комбинированный метод, включающий в себя как снижение эффективности осветления, так и ацидофикацию осадка.

Анаэробное сбраживания осадка сточных вод обычно состоит из четырех основных стадий: гидролиза, ацидогенеза, ацетогенеза и метаногенеза [5]. На канализационных очистных сооружениях полный технологический процесс, состоящий из всех этих стадий, реализуется при анаэробном сбраживании осадков в метантенках. Анаэробная ацидофикация осадка включает в себя только две стадии – гидролиз и ацидогенез. Несмотря на актуальные исследования, показывающие повышение эффективности ацидофикации при раздельном регулировании этих двух стадий (в основном в части поддержания различных значений pH) [6], в современной практике очистки городских сточных вод данная технология реализуется в едином объеме при одинаковых условиях. Нормативные и информационно-технологические документы предусматривают реализацию частичной ацидофикации в первичных отстойниках (путем увеличения времени пребывания осадка в отстойнике, рециркуляции осадка перед отстойниками и

взмучивания осадка), глубокой ацидофикации в отдельных уплотнителях-ацидофикаторах, а также ацидофикации непосредственно в объеме аэротенка (в анаэробной зоне при создании условий низкоинтенсивного перемешивания).

Одним из наиболее масштабных и успешных примеров внедрения технологии ацидофикации осадка на городских очистных сооружениях Российской Федерации является опыт реконструкции Курьяновских очистных сооружений в Москве. Ацидофикация была реализована путем перевода одного из первичных отстойников нового блока очистных сооружений в режим ацидофикации [7], что позволило значительно повысить качество и стабильность очистки сточных вод от соединений азота и фосфора (с дополнительным удалением $3,5 \text{ мг/дм}^3$ азота и $0,23 \text{ мг/дм}^3$ фосфора фосфатов). В ходе работы были проанализированы зависимости эффективности ацидофикации от продолжительности пребывания в ацидофикаторе сточной воды (HRT) и осадка (SRT). Основным успехом опыта внедрения технологии связан с тем, что в ходе реконструкции первичных отстойников удалось избежать необходимости строительства новых сооружений при достаточно заметном повышении качества очистки сточных вод. Рекомендации по применению ацидофикации на объектах Российской Федерации представлены также в работах Н.С. Жмур [8]. Показан опыт исследования процесса в лабораторных условиях.

В работе Бойко Т.А. [9] проведены комплексные исследования ацидофикации сырого осадка в отдельных ацидофикаторах. Было определено, что эффективность процесса зависит от влажности осадка, его вида, температуры и продолжительности сбраживания. Была предложена методика интенсификации удаления фосфора в аэротенках путем введения в анаэробную зону иловой воды ацидофикатора и нахождения в ней активного ила в течение 5-7 часов.

Тем не менее, в результате проведенного литературного поиска не обнаружено исследований ацидофикации, проведенных при различных возможных способах реализации процесса в одних тех же условиях. Соответственно, общая верифицированная методика расчета процесса ацидофикации осадка для различных технологических схем также отсутствует.

Зарубежные исследования в настоящее время направлены на создание новых технологий, включающих в себя элементы ацидофикации. Например, в работе [10] рассматривается работа PNPRF-реактора (Partial Nitrification, enhanced biological Phosphorus Removal and in-situ Fermentation), включающего в себя нитритацию, дефосфотацию и ацидофикацию в едином объеме биореактора. В работе [11] рассматривается работа СБР-реактора с углеродной подпиткой от предферментированного избыточного активного ила. Данная работа затрагивает вопрос эффективности в целом ацидофикации избыточного активного ила как источника легкоокисляемой органики взамен сырого осадка. Модификация А/О процесса (Anaerobic/Aerobic) с внедрением EBPR (Enhanced Biological Phosphorus Removal) с ацидофикацией рассматривается в работе [12]. Внедрение ацидофикации в мембранные биореакторы рассматриваются в исследованиях [13, 14].

Все эти работы затрагивают вопросы эффективности ранее не внедряемых технологий, однако актуальной единой методики расчета ацидофикации, основанной на зарубежном опыте, не обнаружено.

Таким образом, представляется необходимым проведение комплексного исследования ацидофикации осадка сточных вод в различных видах технической реализации процесса. Планируется исследование в лабораторных и полупромышленных условиях, предполагающее ацидофикацию при осветлении сточных вод, в отдельном ферментере-

ацидофикаторе, а также в объеме биореактора. Сточные воды и сырой осадок будут отбираться с действующих очистных сооружений, что позволит привести результаты к единой оценке и сравнить с расчетным ацидофикационным потенциалом. В результате исследования планируется получение единой расчетной методики ацидофикации осадка городских канализационных очистных сооружений, а также подготовка технологических рекомендаций по каждому виду технической реализации процесса.

Литература

1. Гульшин И. А. Адаптация активного ила с анаммокс к пониженным температурам иловой смеси в биореакторе // Инженерный вестник Дона. 2020. №. 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6367.
2. Гульшин И. А. Исследование низкокислородного реактора очистки сточных вод со встроенным вторичным отстойником // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7524.
3. Кевбрина М. В., Гаврилин А. М., Пронин А. А. Внедрение современных технологий при строительстве и реконструкции очистных сооружений АО «Мосводоканал» // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. №. 6. С. 36-45.
4. Козлов М. Н., Стрельцов С. А., Кевбрина М. В., Гаврилин А. М., Гавизова Н. Г. Ацидофикация (преферментация) как метод стабилизации сырого осадка при очистке сточных вод от биогенных элементов // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. №. 5. С. 13-20.
5. Tong J., Chen Y. Enhanced biological phosphorus removal driven by short-chain fatty acids produced from waste activated sludge alkaline fermentation // Environmental science & technology. 2007. Т. 41. №. 20. pp. 7126-7130.
6. Wang J., Liu G., Shao Y., Zhang Q., Wei Q., Luo F., Sun W., Liu S., Liu Y., Zhang J., Qi L., Wang H. Regulation of anaerobic fermentation for producing

short-chain fatty acids from primary sludge in WWTPs by different alkalis // Journal of Environmental Management. 2021. V. 299. P. 113623.

7. Кевбрина М.В., Гаврилов Д.В., Белов Н.А., Агарев А.М. Промышленные испытания с переводом одного первичного отстойника в режим ацидофикации на Курьяновских очистных сооружениях // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. №2. С. 46-52.

8. Жмур Н. С. Преферментация как метод улучшения свойств активного ила и интенсификации процесса глубокого извлечения из сточных вод соединений азота и фосфора // Водоснабжение и канализация. 2012. №. 1-2. С. 18-31.

9. Бойко Т. А. Интенсификация процессов дефосфотизации сточных вод с использованием летучих жирных кислот: дис. – Новосибирск: Диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук. А, 2006. 163 с.

10. Fan Z., Zeng W., Meng Q., Liu H., Ma C., Peng Y. Chemical Engineering Journal. 2022. V. 428. P. 131098.

11. Fan Z., Zeng W., Meng Q., Liu H., Liu H., Peng Y. Science of the Total Environment. 2021. V. 799. P. 149291.

12. Zhang C., Guisasola A., Baeza J. A. Chemosphere. 2023. V. 313. P. 137576.

13. Skalsky D. S., Daigger G. T. Water Environment Research. 1995. V. 67. №. 2. pp. 230-237.

14. Nadeem K., Alliet M., Plana Q., Azimi S., Rocher V., Albasi C. Science of the Total Environment. 2022. V. 809. P. 151109.

References

1. Gulshin I. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. №. 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6367.

2. Gulshin I. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №. 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7524.

3. Kevbrina M. V., Gavrilin A. M., Pronin A. A. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika. 2021. №. 6. pp. 36-45.
 4. Kozlov M. N., Strel'cov S. A., Kevbrina M. V., Gavrilin A. M., Gavizova N. G. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika. 2013. №. 5. pp. 13-20.
 5. Tong J., Chen Y. Environmental science & technology. 2007. T. 41. №. 20. pp. 7126-7130.
 6. Wang J., Liu G., Shao Y., Zhang Q., Wei Q., Luo F., Sun W., Liu S., Liu Y., Zhang J., Qi L., Wang H. Journal of Environmental Management. 2021. V. 299. pp. 113623.
 7. Kevbrina M.V., Gavrilov D.V., Belov N.A., Agarev A.M. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika. 2023. №2. pp. 46-52.
 8. Zhmur N. S. Vodosnabzhenie i kanalizacija. 2012. №. 1-2. pp. 18-31.
 9. Bojko T. A. Intensifikacija processov defosfotizacii stochnyh vod s ispol'zovaniem letuchih zhirnyh kislot [Intensification of Wastewater Dephosphotization Processes Using Volatile Fatty Acids] dis. Novosibirsk: Dissertacija na soiskanie uch. stepeni kand. tehn. nauk. 2006. 163 p.
 10. Fan Z., Zeng W., Meng Q., Liu H., Ma C., Peng Y. Chemical Engineering Journal. 2022. V. 428. p. 131098.
 11. Fan Z., Zeng W., Meng Q., Liu H., Liu H., Peng Y. Science of the Total Environment. 2021. V. 799. p. 149291.
 12. Zhang C., Guisasola A., Baeza J. A. Chemosphere. 2023. V. 313. pp. 137576.
 13. Skalsky D. S., Daigger G. T. Water Environment Research. 1995. V. 67. №. 2. pp. 230-237.
 14. Nadeem K., Alliet M., Plana Q., Azimi S., Rocher V., Albasi C. Science of the Total Environment. 2022. V. 809. pp. 151109.
-