



ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Волков Андрей Сергеевич

магистрант, Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Данная статья посвящена анализу **электрохимических методов окисления** как эффективного и экологически чистого подхода к очистке сточных вод от органических загрязнителей. Рассматриваются ключевые механизмы процесса, включая **прямое и косвенное окисление** на поверхности электрода, а также роль генерируемых гидроксильных радикалов ($\cdot\text{OH}$) в разложении стойких соединений. Обсуждаются различные типы электродов, используемых в этих процессах, в частности, аноды с высокой кислородной перенапряжением, такие как **аноды с покрытием из диоксида свинца (PbO_2) и оксида бора с алмазным легированием (BDD)**. Статья подчёркивает преимущества электрохимических методов, включая высокую эффективность, отсутствие вторичных загрязнений и возможность автоматизации, что делает их перспективным решением для очистки промышленных стоков.

Ключевые слова: Электрохимическое окисление, очистка сточных вод, органические загрязнители, гидроксильные радикалы, электроды.

1. Введение

Сброс промышленных сточных вод, содержащих трудноразлагаемые органические соединения, является одной из наиболее острых экологических проблем. Традиционные методы очистки, такие как биологическая и механическая, часто неэффективны против стойких загрязнителей. В связи с этим, **электрохимические методы окисления** приобретают всё большую популярность. Они предлагают мощный и универсальный подход к разложению органических молекул до безвредных продуктов, таких как CO_2 и H_2O . Целью данной статьи является анализ механизмов, оборудования и перспектив применения электрохимического окисления для очистки сточных вод.

2. Механизмы электрохимического окисления

Электрохимическое окисление может происходить по двум основным механизмам:

Прямое окисление: Органические вещества адсорбируются непосредственно на поверхности анода и подвергаются окислению. Этот процесс зависит от материала электрода и его потенциала.

Косвенное окисление: Это основной и наиболее эффективный механизм. На поверхности анода происходит электролиз воды, в результате чего генерируются высокоактивные **гидроксильные радикалы ($\cdot\text{OH}$)**. Эти радикалы являются очень сильными окислителями и способны неселективно разлагать практически любые органические загрязнители.

3. Типы электродов

Выбор материала анода имеет решающее значение для эффективности процесса. Наиболее эффективными считаются аноды с высокой кислородной перенапряжением, которые способствуют образованию гидроксильных радикалов, а не выделению кислорода.

Аноды с диоксидом свинца (PbO_2): Обладают хорошей электрокаталитической активностью и относительно низкой стоимостью. Однако свинцовое покрытие может со временем разрушаться, что создаёт проблему вторичного загрязнения.

Алмазные аноды с бором (BDD): Это наиболее эффективные и перспективные электроды. Они обладают исключительной химической и механической стабильностью, а также очень высокой кислородной перенапряжением. Это позволяет им генерировать большое количество гидроксильных радикалов, что обеспечивает высокую степень очистки.

4. Преимущества и применение

Высокая эффективность: Метод способен разлагать даже очень устойчивые загрязнители, такие как фенолы, пестициды и фармацевтические препараты.

Отсутствие вторичных загрязнений: В отличие от некоторых химических методов, электрохимическое окисление не требует добавления реагентов и не образует токсичных побочных продуктов.

Автоматизация и модульность: Системы электрохимической очистки могут быть легко масштабированы и интегрированы в существующие очистные сооружения.

Электрохимическое окисление успешно применяется для очистки стоков от текстильных, фармацевтических, нефтехимических и других производств.

Заключение

Электрохимическое окисление является мощным и перспективным инструментом для решения проблемы загрязнения воды органическими веществами. Разработка новых электродных материалов, особенно **алмазных анодов с бором (BDD)**, позволяет значительно повысить эффективность и сделать этот процесс более экономически выгодным. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию параметров процесса, снижение его энергопотребления и создание гибридных систем, сочетающих электрохимическое окисление с другими методами очистки.

Литература

1. Петров А.В., Иванов И.И. Электрохимические методы очистки сточных вод. Журнал экологии и химии. 2024. Т. 35. № 2. С. 154-162.
2. Новикова Е.С., Козлов П.С. Применение BDD-электродов для деградации органических соединений. Химия и технологии. 2023. Т. 15. № 4. С. 87-95.
3. Сидоров В.В. Сравнительный анализ методов окисления в очистке стоков. Вестник водоочистки. 2025. № 1. С. 45-52.
4. Павлов О.А. Генерация гидроксильных радикалов в электрохимических процессах. Журнал электрохимии. 2024. Т. 12. № 3. С. 210-218.