



УДК 66.087.5

СПАСЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМОВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ

Лелюх Полина Юрьевна

студент

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Аннотация. Загрязнение природных вод вследствие сброса загрязненных вод, образованных в результате деятельности человека оказывает негативное воздействие на экосистему Земли. По этой причине поиск, разработка и внедрение недорогих, доступных, быстрых и эффективных методов очистки загрязненных вод является важным условием для защиты окружающей среды от пагубного воздействия деятельности человека. Электрокоагуляция (ЭК) считается эффективной технологией для очистки загрязненной воды, при которой коагулянты вводятся на месте путем электролитического окисления расходуемого анода. Среди остальных рассматриваемых методов очистки загрязненной воды метод ЭК в последнее время приобретает все большую популярность как перспективная альтернатива для очистки загрязненной воды, поскольку метод ЭК обладает очень привлекательными преимуществами с экологической и экономической точки зрения. В данной статье проводится обзор использования метода ЭК для очистки загрязненных вод от загрязняющих веществ. В рамках обзора представлено описание метода ЭК, выделены основные направления возможного использования метода ЭК для очистки загрязненной воды с примерами, а также представлены основные преимущества и недостатки метода ЭК.

Ключевые слова: электрокоагуляция, очистка воды, защита окружающей среды.

1. Введение

Загрязнение природных вод за счет сброса загрязненных вод в результате деятельности человека (города, сельское хозяйство, промышленность) влияет на людей и экологическую систему во всем мире из-за глобального кризиса в области санитарии. Во-первых, неочищенные сточные воды содержат большое количество патогенов, способных вызвать большое количество, в том числе и смертельно опасных заболеваний. Во-вторых, накопление органических загрязняющих веществ в природных водах стимулирует рост бактерий и микроорганизмов, что приводит к истощению запасов кислорода и нарушению речной экосистемы [1].

Помимо этого, с ростом промышленности и увеличением количества населения Земли доступ к чистой и безопасной питьевой воде является все более актуальным. Вода является



важнейшим элементом для обеспечения устойчивости и надежности нашей экологической системы. Несмотря на то, что 1400 млн. м³ воды покрывают 71% поверхности Земли, доля пресной воды составляет менее 2,5% от этого количества. Огромное количество пресной воды находится в ледниках, заснеженных горных цепях и грунтовых водах, что оставляет менее 1% безопасной пресной воды для питьевых целей. По данным Всемирной организации здравоохранения, на рубеже XX и XXI веков свыше 1 млрд. человек не имели доступа к источникам чистой и безопасной питьевой воды. По различным оценкам к 2050 году более 50% населения Земли не будут иметь доступ к источникам чистой и безопасной питьевой воды [2].

2. Процесс электрокоагуляции

Под электрокоагуляцией (ЭК) понимается процесс производства коагулянтов в процессе очистки воды за счет растворения электродов путем подачи через них электрического тока. Этот метод состоит из трех основных этапов: образование коагулянтов (дестабилизирующих агентов), дестабилизация загрязняющих веществ и образование хлопьевидных осадков, которые легко удаляются из воды. Изначально дестабилизирующие элементы (такие как Al и Fe) производятся путем электрохимической реакции из погруженных растворяемых электродов. После эти элементы оказывают дестабилизирующее воздействие на загрязняющие вещества за счет создания противоположного электростатического заряда. Затем происходит образование связующих мостиков, образуются хлопьевидные осадки, которые впоследствии становятся легко удаляемыми из воды. Таким образом, можно сказать, что ЭК сочетает в себе преимущества трех традиционных методов обработки, к которым относятся химическая коагуляция, флотация и электрохимические методы [2].

3. Использование метода ЭК для очистки природных вод

Использование метода ЭК для уменьшения загрязнения природных вод в основном заключается в применении метода для очистки загрязненных вод до момента их сброса в природные водоемы. Согласно [2] можно выделить:

- удаление красителей;
- удаление тяжелых металлов;
- удаление органических веществ;
- удаление организмов и патогенов;
- удаление других загрязнителей.

3.1 Удаление красителей

В работе [3] хорошо демонстрируется возможность удаления красителей при помощи метода электрокоагуляции. В исследовании удалению из загрязненных вод подвергались более 25 типов красителей, среди которых были такие как бриллиантово-зеленый раствор, Red F3B и Blue RSN. По результатам более 90% исследованных красителей были удалены в течение 1 часа



при напряжении 25 В и 0,5 г/л [3].

3.2 Удаление тяжелых металлов

В последние несколько лет наблюдается значительный интерес в использовании ЭК для очистки воды, содержащей тяжелые металлы, в результате которых подтверждена эффективность удаления 95-100% [2]. Тем не менее, эффективность очистки зависит от множества факторов, к которым относятся, например, плотность тока, материал электрода, время очистки и водородный показатель pH [4].

В [5] продемонстрирована эффективность использования процесса ЭК для удаления мышьяка III и V в концентрации 2 мг/л с использованием трех различных электродов. Эффективность следующая: железо > титан > алюминий. При использовании железного электрода эффективность составила 99%.

3.3 Удаление органических веществ

Отмечается способность ЭК к удалению органических веществ. В [6] показана разработка нового устройства, сочетающего в себе реактор ЭК с ультразвуковым полем для очистки воды от органических загрязнений. В данной исследовании электроды изготовлены из четырех алюминиевых пластин общей площадью 500 см². Рабочая область представлена пластиковым контейнером объемом 1 л. Работа этого скомбинированного метода оптимизирована с учетом нескольких ключевых факторов: pH раствора, расстояние между электродами и плотность тока. Результаты исследования показали, что такой комбинированный метод удалил 97,5% органических веществ после 5 минут ультразвукового облучения, 20 минут электролиза при плотности тока 4 мА/см². Исходный pH = 7, зазор между электродами составлял 5 мм.

3.4 Удаление организмов и патогенов

Помимо удаления из воды органических веществ существуют свидетельства о том, что ЭК может устранить несколько типов биологических загрязнений, таких как бактерии и водоросли, в результате чего можно рассматривать метод ЭК как перспективный метод дезинфекции воды [2].

Например, в [7] разработан новый реактор ЭК с добавлением активированного углеродного волокна в качестве электродов для удаления бактерий *Escherichia coli* (E. coli) из питьевой воды. Образцы воды, содержащие бактерии в количестве 22 клетки на литр обрабатывались с использованием этого типа электродов при различных напряжениях и различном времени обработки воды. Выяснено, что бактерии E. coli полностью удаляются из воды в течение 8 часов обработки под напряжением 0,8 В.

В [8] продемонстрирована способность удаления водорослей из воды при помощи ЭК. Исследователи использовали реактор ЭК с алюминиевым анодом и титановым катодом для



очистки озерной воды, содержащей хлорофилл. В результате эксперимента определена оптимальная доза заряда, необходимого для достижения высокоэффективного удаления водорослей из воды с минимальным высвобождением избыточного алюминия.

3.5 Удаление других загрязнителей

Также в [2] отмечено, то метод ЭК применяется для удаления других веществ, таких как фториды и нитраты.

В [9] проводилось исследование с использованием реактора периодического действия с алюминиевыми электродами для очистки фторидсодержащей воды с концентрацией 5 мг/л. Плотность тока изменялась от 0,5 до 2 мА/см², начальный диапазон pH от 4 до 8 и концентрацию электролита от 0,01 до 0,03 моль Na₂SO₂. Наивысшая эффективность удаления 97,6% была достигнута после 30 мин электролиза при плотности тока, начальном pH и концентрации электролита 2 мА/см², pH = 4 и 0,01 моль соответственно.

В [10] использовали реактор ЭК с алюминиевыми электродами для денитрификации синтетической питьевой воды в условиях периодического потока, содержащих 100 мг/л нитрата.

Процесс денитрификации был оптимизирован для различных плотностей тока (1-3 мА/см²), расстояния между электродами (от 3 до 10 мм), времени обработки (до 70 мин) и концентрации нитратов от 0,05 до 0,150 г/л. В результате электрокоагулятор с алюминиевыми электродами удалил 85% нитратов в течение 55 минут электролиза при плотности тока 2 мА/см² и межэлектродном расстоянии 5 мм, тем самым обеспечивая очистку воды до требуемых норм.

4. Преимущества и недостатки ЭК

4.1 Преимущества ЭК

Метод ЭК может считаться экологически безопасным методом очистки воды, поскольку имеет несколько преимуществ с экологической точки зрения. Например [2]:

- метод ЭК не производит вторичных загрязнителей;
- по сравнению с традиционным процессом коагуляции, хлопьевидные осадки значительно снижают объем образующегося осадка;
- осадок, образующийся при ЭК, может быть использован в качестве компонента стройматериалов;
- по сравнению с традиционными методами химической и биологической очистки, установки ЭК способны удалять очень малые частицы, поскольку они легко притягиваются к электрическому полю;
- из-за низкого потребления электроэнергии, энергия, необходимая для выполнения метода ЭК, может быть получена от экологически чистых источников энергии, таких как



ветряные мельницы или солнечных панелей;

– одним из побочных продуктов установок ЭК является водород, который потенциально может использоваться как часть энергии для обеспечения работы блока ЭК.

4.2 Недостатки ЭК

Метод ЭК как и любая другая технология обработки имеет недостатки, которые могут негативно сказаться на эффективности использования метода. Например [2]:

– электроды необходимо периодически заменять по мере их растворения в результате процесса окисления;

– образование оксидной пленки на поверхности анода в процессе электролиза снижает растворение анода, что в свою очередь снижает эффективность удаления вредных веществ, максимизирует потребление энергии и ограничивает извлечение водорода;

– недостаточное разнообразие конструкций реакторов.

5. Вывод

Очистка воды от загрязняющих веществ в настоящее время приобретает все большее значение, поскольку это напрямую сказывается на здоровье человека и на состоянии экосистемы. В данной статье проведен обзор перспективного использования метода ЭК для спасения природных вод от загрязняющих веществ. В рамках обзора раскрыт принцип метода ЭК, выделены перспективные направления использования ЭК для очистки загрязненной воды, а также представлены основные преимущества и недостатки метода ЭК на современном этапе развития.

Список литературы:

1. Wen Y., Schoups G., Van De Giesen N. Organic pollution of rivers: Combined threats of urbanization, livestock farming and global climate change. Scientific reports, 2017, vol. 7, no. 1, pp. 1-9.
2. Hashim K.S., AlKhaddar, R., Shaw, A., Kot, P., Al-Jumeily, D., Alwash, R., Aljefery, M.H. Electrocoagulation as an eco-friendly River water treatment method. In Advances in Water Resources Engineering and Management, 2020, pp. 219-235.
3. Jia J., Yang J., Liao J., Wang W., & Wang Z. Treatment of dyeing wastewater with ACF electrodes. Water research, 1999, vol. 33, no. 3, pp. 881-884.
4. Bazrafshan E., Mohammadi L., Ansari-Moghaddam A., Mahvi A.H. Heavy metals removal from aqueous environments by electrocoagulation process—a systematic review. Journal of environmental health science and engineering, 2015, vol. 13, no. 1, pp. 1-16.
5. Kumar P.R., Chaudhari S., Khilar K.C., Mahajan S.P. Removal of arsenic from water by electrocoagulation. Chemosphere, 2004, vol. 55, no. 9, pp. 1245-1252.



6. Zanki A.K., Mohammad F.H., Hashim K.S., Muradov M., Kot P., Kareem M.M., Abduljadi B. Removal of organic matter from water using ultrasonic-assisted electrocoagulation method. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, July 2020, Vol. 888, No. 1, pp. 012033-012040.
7. Matsunaga T., Nakasono S., Kitajima Y., Horiguchi K. Electrochemical disinfection of bacteria in drinking water using activated carbon fibers. *Biotechnology and bioengineering*, 1994, vol. 43, no. 5, pp. 429-433.
8. Alfafara C.G., Nakano K., Nomura N., Igarashi T., Matsumura M. Operating and scale-up factors for the electrolytic removal of algae from eutrophied lakewater. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 2002, vol. 77, no. 8, pp. 871-876.
9. Un U.T., Koparal A.S., Ogutveren U.B. Fluoride removal from water and wastewater with a batch cylindrical electrode using electrocoagulation. *Chemical engineering journal*, 2013, vol. 223, pp. 110-115.
10. Hashim K.S., Shaw A., Al Khaddar R., Pedrola M.O., Phipps, D. Energy efficient electrocoagulation using a new flow column reactor to remove nitrate from drinking water—Experimental, statistical, and economic approach. *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 196. pp. 224-233.