

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИИ, ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИИ И ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ**

***Аннотация.** В работе обобщены основные методы электрохимической очистки. Изучены процессы работы электрофлотации, электрокоагуляции и гальванокоагуляции. Проведён сравнительный анализ данных методов, и выбран наиболее эффективный из них. Рассмотрены основные характеристики работы и эффективности.*

**P.A. Yadykin, A.S. Kozodaev**  
National Research University «MPEI»  
Moscow, Russia

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF GALVANOCOAGULATION, ELECTROFLOTATION AND ELECTROCOAGULATION**

***Abstract.** The work summarizes the main methods of electrochemical cleaning. The processes of electroflotation, electrocoagulation and galvanocoagulation have been studied. A comparative analysis of these methods was carried out, and the most effective of them was selected. The main characteristics of work and efficiency are considered.*

Наиболее распространенными методами электрохимической очистки загрязненных сточных вод являются электрокоагуляция, электрофлотация и гальванокоагуляция. Целью данной работы является сравнительный анализ электрохимических методов очистки воды.

Для этого необходимо решить следующие задачи: провести краткий обзор технологий, сравнить основные параметры и выбрать наиболее эффективный и перспективный метод.

Одним из наиболее эффективных методов очистки воды от различных загрязнений является электрофлотация, степень очистки может достигать 93-96%. Такой эффект достигается; при использовании растворимых электродов, образующих гидроксиды, которые обладают адсорбирующим эффектом. Также данный метод позволяет регулировать размер образовавшихся пузырьков, что влияет на протекание процесса флотации [1].

Главная отличительная черта электрофлотации – осуществление процесса очистки без добавления коагулирующих реагентов, а также высокая дисперсность газовых пузырьков (от 15 до 100 мкм) [1].

Однако существенным недостатком данного метода является пассивация электродов, процесс образования на аноде тонкой плёнки с высоким сопротивлением. В настоящее время известны способы снижения пассивации: изменение полярности, механическая очистка и др. Можно и вовсе избежать данного процесса путём применения нерастворимых электродов (графита), однако это резко снижает эффективность процесса, т.к. не образуются гидроксиды, обладающие коагуляционными и сорбционными свойствами [1].

Электрокоагуляцию целесообразно использовать для очистки сточных вод от диспергированных частиц. Применяя метод электрокоагуляции, можно достичь высокой эффективности в очистке сточных вод от нефтепродуктов и масел (54-68 %), а также от жиров (92-99 %). При использовании электрофлотации повышается водородный показатель среды рН до щелочных значений. В связи с чем необходимо нейтрализовывать отходящий сток до нейтральных значений [1].

Наряду с электрокоагуляцией и электрофлотацией применяется гальванокоагуляция. Метод основан на использовании эффекта короткозамкнутого гальванического элемента.

При контакте разнородных частиц образуется короткозамкнутый гальванический элемент, в котором происходит растворение более электроотрицательного металла, например, алюминия или другого металла. При этом образуется коллоидный гидроксид, который является основным водоочистным средством. Незначительные расстояния между частицами способствуют повышению плотности тока, что наряду с развитой поверхностью частиц способствует интенсификации растворения металла [2].

Гальванокоагуляционный метод целесообразно применять при очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов, цветных и благородных металлов, неорганических анионов (сульфатов, хлоридов и др.), флотореагентов, нефтепродуктов и различных органических примесей.

В гальванокоагуляторах с высоким эффектом извлекаются тяжелые металлы (98–99 %), а также происходит умягчение воды за счет образования комплексных солей с участием солей жесткости [2].

Отличительным признаком гальванокоагуляции является отсутствие коагулирующих реагентов и эффекта пассивации, что делает использование данного метода наиболее перспективным.

Метод весьма экономичен и обладает низкой удельной энергоемкостью благодаря тому, что электрическая цепь между элементами гальванопары возникает при погружении их в

обрабатываемый раствор в условиях отсутствия внешнего источника энергии [2].

Однако если при реализации метода гальванокоагуляционной очистки элементы, образующие гальванопару, будут неподвижны друг относительно друга, то из-за возникновения диффузионного барьера на границе раздела фаз снизится степень очистки: произойдет неизбежная цементация элементов гальванопары, что сделает практически неосуществимым сам метод [2].

В ходе гальванокоагуляции одновременно протекают следующие физико-химические процессы: катодное восстановление и осаждение ионов металлов, образование гидроксидов металлов, сорбция примесей на свежесформированных поверхностях, коагуляция.

**Таблица 1 – Сравнительный анализ электрохимических методов очистки воды**

№	Наименование метода	Плюсы	Минусы
1	2	3	4
2	Электро-флотация	- Высокая степень очистки (до 93-96%); - Возможность управлять пузырьками воздуха; - Образование гидроксидов	- Пассивация; - Нагрев воды
3	Электро-коагуляция	- Степень очистки от 54% до 99%	- Повышение pH; - Необходимость нейтрализации
4	Гальвано-коагуляция	- Высокая степень очистки (до 99%); - Возможность изменения гальванопары; - Образование гидроксидов	- Необходимо перемешивать гальванопару; - Нельзя допускать высоких значений pH на входе перед гальванокоагулятором

Таким образом, необходимым условием эффективного проведения процесса очистки сточных вод методом гальванокоагуляции является перемешивание элементов гальванопары. В качестве элементов гальванической пары чаще всего используют следующие: Fe – Cu, Fe – C (кокс), Mg – C, Al – C и др.

Экспериментальные исследования были проведены в виде серии четырех опытов с разными физико-химическими характеристиками исходной сточной воды (pH и величина ХПК) и условиями гальванокоагуляции (время пребывания воды в гальванокоагуляторе) [3].

Гальванокоагуляция является достаточно универсальным методом и может использоваться для очистки от органических загрязнений, результаты экспериментов представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Очистка сточных вод от органических примесей [3]**

№	Номер опыта	Характеристик и сточной воды		Реагентный метод очистки		Гальванокоагуляционный метод очистки		
		рН	ХПК, мг О/л	рН	ХПК, мг О/л	рН	ХПК, мг О/л	Расход, л/ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	I	9,3	2661	11,9	1900	50	1958	-
3	II	10,7	1520	11,9	887	50	1175	10,3
4	III	9,3	1584	11,9	1056	150	952	8,8
5	IV	9,6	4356	-		200	2693	-

На основании совокупности изложенных данных в этой работе можно сделать следующие выводы:

1. Метод гальванокоагуляции позволяет получить извлечение органических загрязнений из сточных вод сложного состава примерно на том же уровне, что и реагентный метод, при этом не происходит вторичного загрязнения вод анионной частью применяемых реагентов.

2. Метод гальванокоагуляции более эффективно удаляет металлы из сточных вод по сравнению с реагентным.

3. Использование в качестве расходных материалов отходов металлообработки, отсутствие вторичного загрязнения делает метод гальванокоагуляции перспективным для очистки сточных вод сложного состава.

### **Список использованных источников**

1. Рерих В.А., Ельтищева Д.Д., Рылеева Е.М. Электро-и гальванокоагуляционные установки: преимущества и недостатки // Инновационные наукоемкие технологии. - г. Тула: "Инновационные технологии", 2018. - С. 33-36.

2. Назаров В.Д., Фурсов С.В. Гальванокоагулятор для очистки сточных вод от тяжелых металлов // Башкирский химический журнал. - 2013. - №3. - С. 112-116.

3. Попов В.Г., Тягунова В.Г., Диньмухаметова Л.С. Сравнение результатов очистки промышленных сточных вод сложного состава реагентным и гальванокоагуляционным методами // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 1. – С. 101-105.