

Библиографические ссылки

1. *Линевег Ф.* Измерение температур в технике. Справочник. М. : Металлургия, 1980.
2. *Кондратьев Г. М.* Тепловые измерения. М. : Машгиз, 1957.
3. *Мэклин Э. Д.* Терморезисторы. М. : Радио и связь, 1983.
4. *Гендин Г. С.* Все о резисторах : справочное издание. М. : Горячая Линия-Телеком, 2000.
5. *Шефтель И. Т.* Терморезисторы. М. : Наука, 1973.
6. *Серяков А. В.* Автоматизированный калориметр постоянного объема для исследования растворов электролитов // Теплофизические свойства растворов, расплавов и композитов : сб. научн. тр. ; Институт теплофизики СО РАН. Новосибирск, 1991. С. 139–153.
7. *Груздев В. А., Серяков А. В.* Жидкостный калориметр // Теплофизические свойства веществ : тр. 8-й Всесоюзн. конф. Новосибирск, 1989. Ч. 1. С. 256–261.
8. *Камке Э.* Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М. : Наука, 1976.
9. *Демидович Б. П., Марон И. А.* Основы вычислительной математики. М. : Наука, 1966.
10. *Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. В.* Вычислительные методы для инженеров. М. : Высшая школа, 1994.
11. *Хемминг Р. В.* Численные методы. М. : Наука, 1968.
12. *Дэвенпорт Дж., Сирэ И., Турнье Э.* Компьютерная алгебра: Системы и алгоритмы алгебраических вычислений. М. : Мир, 1991.
13. *Мудров А. Е.* Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. Томск : Раско, 1991.
14. *Steinhart J. S., Hart S. R.* Calibration curves for thermistors // Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts. 1968. Vol. 15. № 4. P. 497–503.
15. Cornerstone Sensors. A, B, C Coefficients for Steinhart-Hart Equation. Temperature Sensors for Health, Science and Industry. 2010. 2 p. California 92083. USA.

© А. В. Серяков, 2013

УДК 628.16.087

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОАГУЛЯЦИИ НА СТЕПЕНЬ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ

И. Я. Шестаков¹, О. В. Раева²

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31. E-mail: yakovlevish@mail.ru

²Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов и материаловедения 660025, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 95. E-mail: O.V.Raeva@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований очистки воды, заключающейся в пропускании через нее переменного асимметричного тока с использованием нерастворимых разнородных электродов, введении коагулянта и отстаивании.

Ключевые слова: вода, электрохимический способ, переменный ток, коагулянт, отстаивание.

ASSESSMENT OF COAGULATION INFLUENCE ON INDEX OF PURIFICATION OF WATER FROM METAL IONS

I. Ya. Shestakov¹, O. V. Raeva²

¹Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev 31 "Krasnoyarskiy Rabochiy" prospect, Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: yakovlevish@mail.ru

²Siberian Federal University, Institute of Non-Ferrous Metals and Material Science 95 "Krasnoyarskiy Rabochiy" prospect, Krasnoyarsk, 660025, Russia. E-mail: O.V.Raeva@mail.ru

The article presents the results of experimental studies of water purification, consisting of passing through it asymmetric alternating current with application of insoluble heterogeneous electrodes, introducing coagulating agent and settling.

Keywords: water, electrochemical method, alternating current, coagulating agent, settling.

Загрязнение воды является одной из острых экологических проблем в мире. Более 90 % сточных вод сбрасываются в открытые водоемы без предварительной очистки. Загрязнены реки, озера, подземные

источники. В большой мере причиной тому являются сточные воды гальванических производств, содержащие целый ряд ионов металлов, пагубно воздействующих на здоровье людей и окружающую среду.

Попытки создания установок для нейтрализации сточных вод гальванических производств не дают положительных результатов, потому что на нейтрализацию направляют смешанные стоки, содержащие целый «букет» особо опасных тяжелых металлов. Из-за повышенного загрязнения природных водоисточников традиционно применяемые технологии обработки воды стали недостаточно эффективными [1–3].

К одному из наиболее перспективных направлений очистки воды следует отнести электрохимические методы, и в частности, электрохимические методы очистки воды на переменном токе промышленной частоты.

Однако большое потребление электроэнергии и использование растворимых электродов ограничивают применение электрохимических процессов на практике.

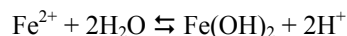
В Сибирском государственном аэрокосмическом университете разработан способ очистки воды от анионов и катионов электрохимическим методом с применением нерастворимых электродов и переменного асимметричного тока [4–9].

Для реализации предлагаемого способа процесс очистки проводят в электролизере из чередующихся электродов, выполненных в виде пластин. Материал электродов: нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, титановый сплав ОТ 4-0. Расстояние между электродами 12 мм. Объем заливаемой воды 1 л. Электроды подключались параллельно к источнику переменного тока частотой 50 Гц; боковые стенки при использовании электролизера являлись рабочими. Температура очищаемой воды 20–25 °С. Переменный электрический ток пропускался через воду в течение 10 мин при силе тока 0,5 А и напряжении на клеммах электродов 4,1 В.

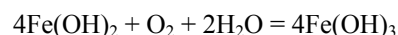
Обработке подвергалась вода, содержащая ионы кадмия (II), меди (II), никеля (II) и хрома (VI). Начальная концентрация каждого иона в воде 0,5 мг/л.

После пропускания переменного электрического тока в воду вводился коагулянт – сульфат закиси железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (железный купорос), далее вода отстаивалась. Экспериментальные данные подтверждают, что сульфат закиси железа по сравнению с другими коагулянтами (например, железо (III) хлористое $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, железо (III) сернокислое $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) обладает хорошей растворимостью в воде, поэтому нашло широкое практическое применение в очистке воды.

При добавлении железного купороса в воду происходит его гидролиз, с образованием хорошо растворимого в воде гидроксида железа (II):



Образующийся гидроксид железа (II) под действием кислорода, растворенного в воде, окисляется до гидроксида железа (III), выпадающего в осадок в виде хлопьев:



Именно образующийся гидроксид железа (III) и является истинным коагулянт (комплексобразователем).

Соотношение начальных концентраций иона комплексобразователя и удаляемого иона ($C_{\text{оFe}^{2+}} / C_{\text{оi}}$) изменялось от 1:1 до 2,5:1. Время отстаивания воды ($\tau_{\text{отс}}$) изменялось от 1 до 10 суток.

Количественный анализ ионов, содержащихся в воде после очистки, проводился на масс-спектрометре Agilent 7500 ICP-MS.

Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Степень очистки определялась по формуле, %

$$Y = \left(\frac{C_0 - C_k}{C_0} \right) 100,$$

где C_0 , C_k – начальная и конечная концентрации удаляемого иона металла, мг/л.

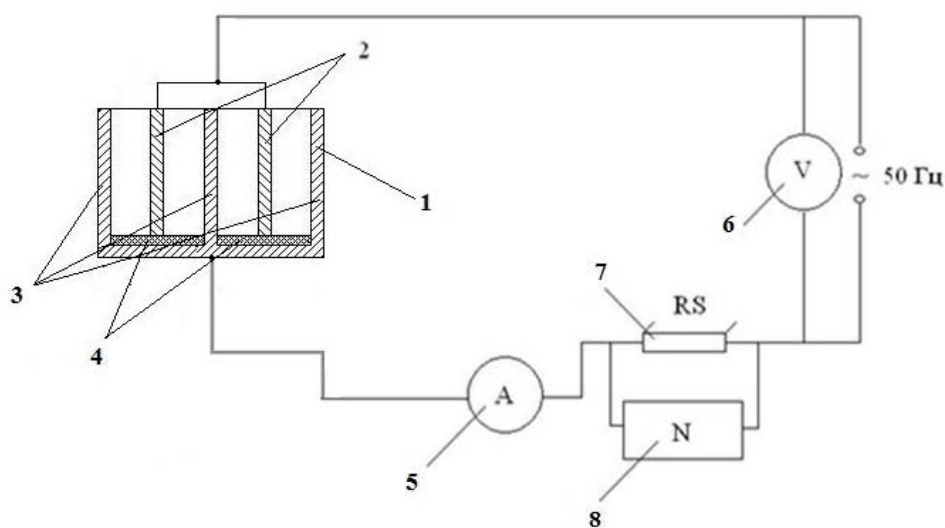


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки:

- 1 – корпус; 2 – титановые электроды ОТ4-0; 3 – стальные электроды 12Х18Н10Т;
- 4 – пластины диэлектрические (оргстекло); 5 – амперметр; 6 – вольтметр;
- 7 – шунт измерительный; 8 – осциллограф С1-83

Удельные энергозатраты W определялись по формуле, (кВт·ч)/м³:

$$W = \frac{IU\tau}{V} 10^{-3},$$

где I – сила тока, А; U – напряжение на клеммах электродов, В; τ – время пропускания электрического тока, ч; V – объем заливаемой воды, м³; 10^{-3} – переводной коэффициент из Вт в кВт.

Исследование влияния соотношения начальных концентраций иона комплексобразователя и удаляемого иона на степень очистки воды проводилось при постоянном времени отстаивания (10 сут).

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 2.

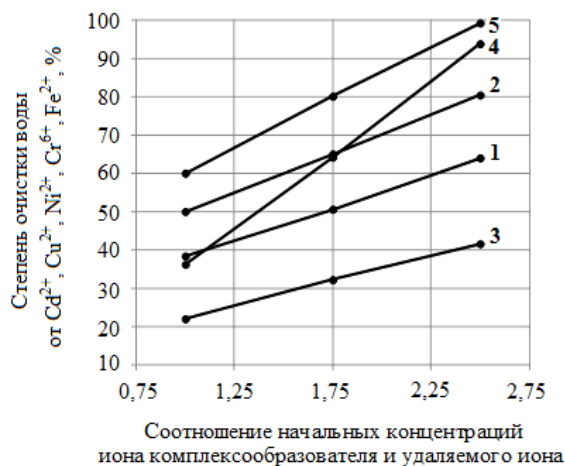


Рис. 2. Зависимость степени очистки воды от соотношения начальных концентраций иона комплексобразователя и удаляемого иона: 1 – кадмия; 2 – меди; 3 – никеля; 4 – хрома; 5 – железа

Исследование влияния времени отстаивания воды на степень очистки проводилось при постоянном соотношении начальных концентраций иона комплексобразователя и удаляемого иона (2,5:1). Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 3.

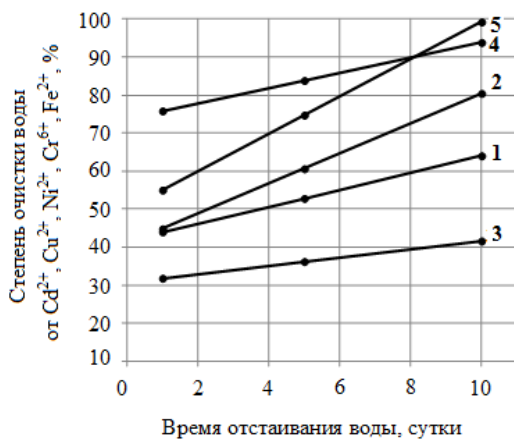


Рис. 3. Зависимость степени очистки воды от времени отстаивания воды. Удаляемые ионы: 1 – кадмий; 2 – медь; 3 – никель; 4 – хром; 5 – железо

Из графиков видно, что увеличение соотношения начальных концентраций иона комплексобразователя и удаляемого иона и времени отстаивания приводит к значительному увеличению степени очистки воды от рассматриваемых ионов при малых удельных энергозатратах (0,34 кВт·ч/м³).

При увеличении соотношения начальных концентраций от 1:1 до 2,5:1 степень очистки увеличивается для кадмия в 1,7 раза, меди – 1,6, никеля – 1,9, хрома – 2,6 и железа – 1,7.

При увеличении времени отстаивания воды от 1 до 10 суток степень очистки увеличивается для кадмия в 1,5 раза, меди – 1,8, никеля – 1,3, хрома – 1,2 и железа – 1,8.

Экспериментальные исследования показали, что наибольшая степень очистки воды от всех рассматриваемых ионов металлов достигается при пропускании через очищаемую воду переменного асимметричного тока с использованием нерастворимых электродов (нержавеющая сталь 12X18Н10Т, титановый сплав ОТ 4-0), введением коагулянта – сульфата закиси железа FeSO₄·7H₂O в соотношении начальных концентраций иона комплексобразователя и удаляемого иона 2,5:1 и отстаиванием воды в течение 10 суток. При этом степень очистки воды равна: от кадмия 64 %, меди – 80,4 %, никеля – 41,6 %, хрома – 93,8 % и железа – 99,2 %. Удельные энергозатраты составляют $W = 0,34$ (кВт·ч)/м³.

Библиографические ссылки

1. Ключков Б. Я. Экологические проблемы гальванотехники // Машиностроитель. 1997. № 6. С. 33–35.
2. Водное хозяйство промышленных предприятий : справочное издание. В 2-х кн. Кн. 1 / Аксенов В. И. [и др.]; под ред. В. И. Аксенова. М. : Теплотехник, 2005.
3. Яковлев С. В., Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод. М. : АСВ, 2004.
4. Стрюк А. И., Шестаков И. Я., Фадеев А. А., Фейлер О. В., Суряков А. А., Кушир А. А. Способ очистки воды и водных растворов от анионов и катионов. Патент РФ № 2213701, С 02 F 1/46//С 02 F 103:16. Оpubл. Б. И. № 28, 10.10.2003.
5. Стрюк А. И., Шестаков И. Я., Фадеев А. А., Фейлер О. В., Суряков А. А., Кушир А. А. Установка очистки воды и водных растворов от анионов и катионов. С. № 18532, С 02 F 1/46. Оpubл. Б. И. № 18. 27.06.2001.
6. Шестаков И. Я., Вдовенко В. Г. Способ электрохимической очистки воды и водных растворов от ионов тяжелых металлов. А. с. №1724591. С 02 F 1/46. Оpubл. Б. И. № 13 07.04.1992.
7. Шестаков И. Я., Герасимова Л. А. Исследование электрохимических способов очистки воды и водных растворов от ионов тяжелых металлов // Сб. САА. 1996. С. 32–35.
8. Шестаков И. Я., Раева О. В., Фейлер О. В. О механизме электрохимической очистки сточных вод переменным током // Вестник СибГАУ. 2011. № 1/34. С. 147–150.
9. Шестаков И. Я., Раева О. В. Электрохимический метод очистки сточных вод переменным током // Техника и технологии. СФУ. 2011. № 4/3. С. 348–355.

© Шестаков И. Я., Раева О. В., 2013