

УДК 621.628

Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-3-536-542

**Для цитирования:** Шестаков И. Я., Хилюк А. В. Зависимость степени очистки воды от удельного количества электричества, напряженности электрического поля и времени отстаивания // Сибирский аэрокосмический журнал. 2021. Т. 22, № 3. С. 536–542. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-3-536-542.

**For citation:** Shestakov I. Y., Khilyuk A. V. Dependence of the degree of water purification on the specific amount of electricity and the definition time. *Siberian Aerospace Journal*. 2021, Vol. 22, No. 3, P. 536–542. Doi: 10.31772/2712-8970-2021-22-3-536-542.

## **Зависимость степени очистки воды от удельного количества электричества, напряженности электрического поля и времени отстаивания**

И. Я. Шестаков, А. В. Хилюк\*

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева  
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

\*E-mail: h-anna7@bk.ru

*Известные методы очистки сточных вод, образующихся в производстве ракетно-космической техники с применением гальванических технологий, не позволяют обеспечить предельно допустимую концентрацию ионов металлов в очищенной воде либо являются дорогостоящими или сложными в эксплуатации. Общетоксичный, эмбриотропный и мутагенный эффект металлов хорошо изучен. Эти металлы, в том числе и железо, попадая вместе с водой к продуктам питания в живые организмы, способны в них кумулироваться, вызывая у людей патогенез болезней сердца, мозга, печени, раковые опухоли.*

*Ионы железа, входят в состав сточных вод большинства отраслей промышленности, что требует повышенного контроля и разработки эффективных методов очистки сточных вод.*

*В статье представлена методика проведения экспериментов, рассмотрен метод комбинированной очистки воды, включающий электрохимическое воздействие и адсорбцию. Представлены результаты исследований этого метода очистки воды от ионов железа. Выявлена зависимость степени очистки от удельного количества электричества, проходящего через очищаемую воду, напряженности электрического поля и времени отстаивания. При  $Q_{\text{ср}} = 4,7$  Кл/л,  $E = 1058$  В/м, использовании кварцевого песка в качестве адсорбента и времени отстаивания в течении 24 ч концентрация ионов железа уменьшилась с 1,65 до 0,82 мг/л. Предлагаемый комбинированный метод очистки требует недорогих и доступных материалов и прост в эксплуатации.*

*Ключевые слова:* комбинированный метод, удельное количество электричества, напряженность электрического поля, железо, степень очистки, переменный ток, постоянный ток, сорбенты.

## **Dependence of the degree of water purification on the specific amount of electricity and the definition time**

I. Y. Shestakov, A. V. Khilyuk\*

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology  
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

\*E-mail: h-anna7@bk.ru

*The known methods of wastewater treatment generated in the production of rocket and space technology using electroplating technologies do not allow to ensure the maximum permissible concentration of metal ions in the treated water, or are expensive or difficult to operate. The general toxic, embryotropic and mutagenic effect of metals is well studied. These metals, getting together with water to food products in living organisms, are able to accumulate in them, causing the pathogenesis of heart diseases, brain, liver, and cancerous tumors in people.*

*Iron ions are part of the wastewater of most industries, which requires increased control and the development of effective methods of wastewater treatment.*

*The article presents a technique for conducting experiments, a method of combined water purification, including electrochemical action and adsorption, is considered. The results of studies of this method of water purification from iron ions are presented. The dependence of the degree of purification on the specific amount of electricity passing through the purified water, the strength of the electric field and the settling time is revealed. With  $Q_{av} = 4.7 \text{ C / l}$ ,  $E = 1058 \text{ V / m}$ , using quartz sand as an adsorbent and settling time for 24 hours, the concentration of iron ions decreased from 1.65 to 0, 82 mg / l. The proposed combined cleaning method requires inexpensive and affordable materials and is easy to operate.*

*Keywords: combined method, specific amount of electricity, electric field strength, iron, degree of purification, alternating current, direct current, sorbents.*

## **Введение**

В производстве ракетно-космической техники применяются гальванические технологии, в результате которых происходит загрязнение сточных вод ионами металлов [1; 2]. Известные методы очистки сточных вод не позволяют обеспечить предельно допустимую концентрацию ионов металлов в очищенной воде либо являются дорогостоящими или сложными в эксплуатации в промышленности. Одним из часто встречающихся загрязняющих компонентов является ионы железа, входящего в состав сточных вод большинства отраслей промышленности, в том числе и гальванических производств, что требует повышенного контроля и разработки эффективных методов очистки сточных вод. Проблема обезвреживания производственных сточных вод гальванических производств является одной из наиболее актуальных, в значительной степени определяющих экологическую обстановку в водных бассейнах России [3–5] и риски для здоровья населения [6; 7], что предполагает наличие не только высокого результата очистки, но и оптимальных параметров при внедрении в технологический процесс и включает расходы на электроэнергию, расходные материалы, время обработки и время отстаивания.

## **Методика проведения эксперимента**

Исследование влияния постоянного электрического поля и удельного количества электричества на степень очистки воды от ионов железа комбинированным методом проводили в ячейке (рис. 1) с использованием графитового плоского электрода с отверстиями 3, выполняющего роль анода (толщиной 100 мм) и сетки из нержавеющей стали 12X18H10T (толщиной 1 мм) 7, выполняющей роль катода, расположенных последовательно. Ячейка 1 выполнена из диэлектрического материала в виде цилиндрической трубы. В пространство между электродами засыпали сорбенты (кварцевый песок) 5 [8–13]. Объем обрабатываемой воды 1 л. На электроды подавали напряжение 18 В, что обеспечивало силу тока 0,034 А. При помощи зажима 6 устанавливали необходимый расход воды через адсорбент. В воде 2 растворяли соли Fe (III) при средней концентрации иона 1,65 мг/л. Для регистрации параметров процесса использовали стандартные приборы – вольтметр (класс точности 0,4), амперметр (0,5), MW14 фотометр портативный для определения содержания общего железа в воде [14]. Степень очистки определяли по формуле, %

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

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

Удельные энергозатраты  $W$  на очистку единицы объема воды (кВт·ч)/м<sup>3</sup> рассчитывались по выражению

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

где  $I$  – сила тока, А;  $U$  – напряжение на клеммах электродов, В;  $\tau_{пр}$  – время пропускания электрического тока через очищаемую воду, ч;  $V$  – объем заливаемой воды, м<sup>3</sup>;  $10^{-3}$  – переводной коэффициент из Вт в кВт.

Напряженность электрического поля  $E$ , рассчитывалась по выражению

$$E = U / L, \text{ В/м},$$

где  $U$  – напряжение на клеммах электродов, В;  $L$  – межэлектродное расстояние.

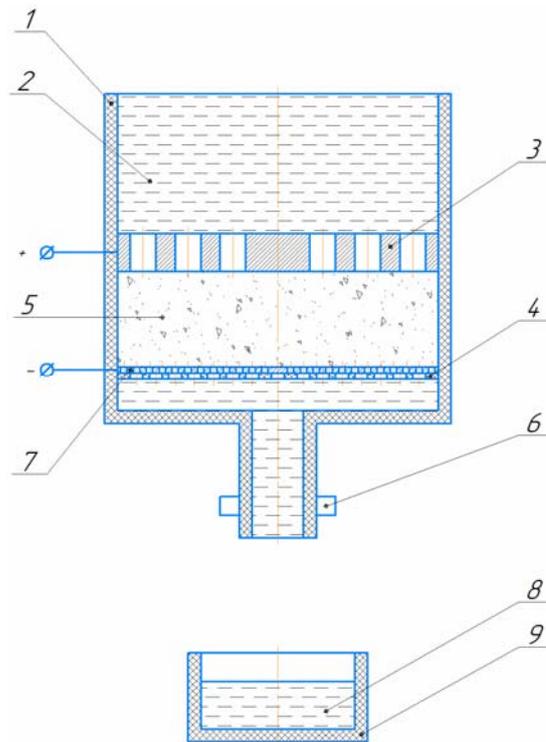


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  
 1 – корпус ячейки; 2 – вода с ионами металлов; 3 – анод; 4 – решетка;  
 5 – адсорбент; 6 – зажим; 7 – катод (сетка); 8 – вода; 9 – ёмкость

Fig. 1. The scheme of the experimental setup:  
 1 – the cell body; 2 – water with metal ions; 3 – anode; 4 – grid;  
 5 – adsorbent; 6 – clamp; 7 – cathode (grid); 8 – water; 9 – capacity

### Результаты исследований

На рис. 2 представлены зависимость степени очистки от удельного количества электричества, проходящего через очищаемую воду, напряженности электрического поля и времени отстаивания.

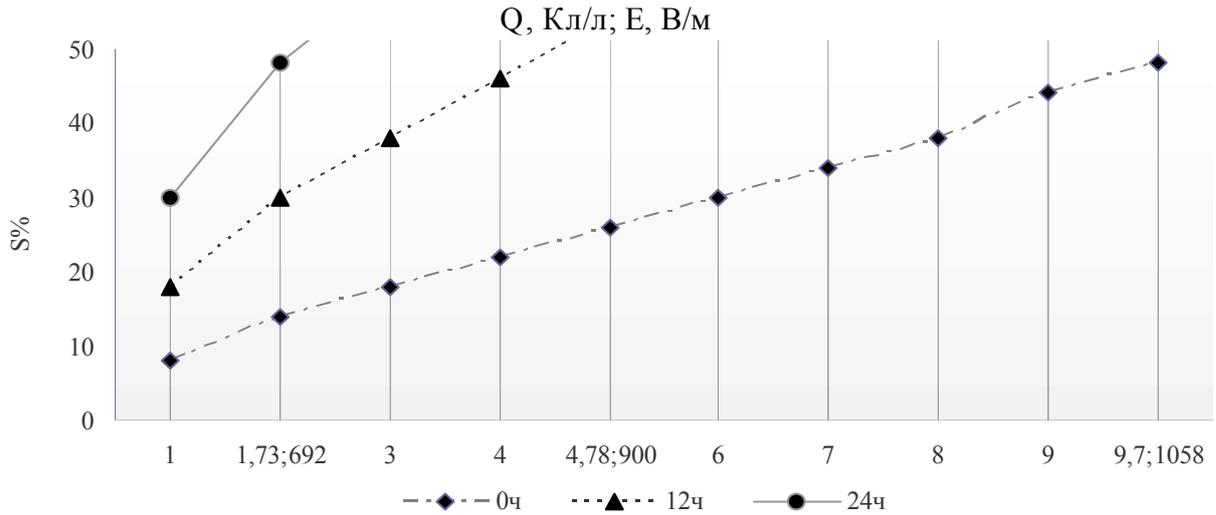


Рис. 2. Зависимость степени очистки от удельного количества электричества (среднее значение), проходящего через воду, напряженности электрического поля и времени отстаивания

Fig. 2. Dependence of the degree of purification on the specific amount of electricity (average value) passing through the water, the strength of the electric field and the settling time

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что эффективность комбинированного метода зависит от удельного количества электричества, проходящего через очищаемую воду, напряженности электрического поля и времени отстаивания. Степень очистки улучшается с увеличением времени отстаивания [5–7].

Удельные энергозатраты, напряженность электрического поля и степень очистки комбинированного метода составили:

$$W_0 = 0,035 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3,$$

$$E = 1058 \text{ В/м},$$

$$Y = 50 \text{ \%}.$$

### Заключение

При удельном количестве электричества ( $Q = 9,7 \text{ Кл/л}$ ), напряженности электрического поля ( $E = 1058 \text{ В/м}$ ) и отстаивании воды в течение 24 ч степень очистки составляет 50 %.

Зависимость степени очистки от количества электричества пропорциональна напряженности электрического поля. В работе [15] исследовался комбинированный метод очистки воды с использованием в качестве анода нержавеющей стали, которая подвергалась анодному растворению, поэтому удельные энергозатраты по расчету больше, чем в представленном методе. Степень очистки в работе [15] составила 80 %, так как наблюдался переход растворенного железа с анода в воду в гидроксид, которая выступала в качестве коагулянта.

Увеличение степени очистки наблюдается при повышении напряженности электрического поля либо удельного количества электричества. Для достижения степени очистки равной 50 % необходимо провести отстаивание в течение 24 ч, при этом удельные энергозатраты составят  $0,035 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ , что значительно меньше чем в использовании предыдущего метода ( $0,45 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ). Наиболее близкими по результатам оказались данные при 12 и 24 ч времени отстаивания. Для достижения степени очистки более 80 % необходимо повысить вышеперечисленные пара-

метры в несколько раз: напряженность электрического поля, удельное количество электричества и время отстаивания, что в конечном счете повлияет на удельные энергозатраты.

### Библиографические ссылки

1. Исхакова И. О., Ткачева В. Э. Инновационные методы очистки сточных вод современного гальванического производства // Вестник Казанского технологич. ун-та. 2016. Т. 19, № 10. С. 143–146.
2. Ковалев Р. А., Бурдова М. Г., Гришина И. В. Сравнительный анализ очистки стоков гальваники при реагентном и электрохимическом способах обработки // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. № 10. С. 343–346.
3. Золотокопова С. В., Чан Хоан Куок, Нго Тхе Кыонг. Сравнительный анализ накопления тяжелых металлов в мышцах гидробионтов реки Шерепок (Вьетнам) // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2018. № 1. С. 118–123.
4. Исследование накопления пестицидов в печени некоторых видов промысловых рыб Азовского моря в 2009–2011 гг. [Электронный ресурс] / Л. А. Бугаев, А. В. Войкина, В. А. Валиуллин и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского гос. аграрного ун-та 2012. № 07 (81). URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/66.pdf> (дата обращения: 03.08.2021).
5. Хилюк А. В. Исследование влияния загрязняющих веществ и электроактивированной воды на гидробионтов // Решетневские чтения : материалы XXII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем, академика М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2018. Т. 2. С. 66–69.
6. Галимова А. Р., Тунакова Ю. А. Поступление, содержание и воздействие высоких концентраций металлов в питьевой воде на организм // Вестник Казанского технологич. ун-та. 2013. Т. 16, № 20. С. 165–169.
7. Егорова Н. А., Канатникова Н. В. Влияние железа в питьевой воде на заболеваемость населения г. Орла // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 11. С. 1049–1053.
8. ГОСТ Р 51641–2000 Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия. М. : ИВС «УРАЛТЕСТ», 2000.
9. Братилова М. М., Гречушкин А. Н. Исследование свойств фильтрующих загрузок для очистки воды от железа [Электронный ресурс] // Universum: Химия и биология : электрон. науч. журн. 2015. № 6 (14). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svoystv-filtruyuschih-zagruzok-dlya-ochistki-vody-ot-zheleza> (дата обращения: 29.12.2019).
10. Патент РФ 2519383. Способ очистки воды и водных растворов от анионов и катионов / Шестаков И. Я., Раева О. В. ; опубл.10.06.2014, Бюл. № 16. 3 с.
11. Хилюк А. В., Рогов В. А., Прусакова В. А. Воздействие электростатического поля на адсорбцию в процессе очистки природной воды // Вестник КрасГАУ. 2013. Вып. 12. С. 134–137.
12. Тагибаев Д. Д. Фильтровальные характеристики зернистых фильтрующих материалов // Инновационная наука. 2017. № 1–2. С. 90–92.
13. Кузнецов Л. К., Габитов А. И. Технология фильтрования в физико-химических процессах водоподготовки // Баш. хим. ж. 2009. № 2. С. 84–92.
14. ГОСТ 4011–72 Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа. М. : Изд-во стандартов, 1974.
15. Шестаков И. Я., Хилюк А. В. Влияние постоянного электрического поля на адсорбционную очистку воды от ионов железа // Сибирский журнал науки и технологий. 2020. Т. 21, № 1. С. 136–141. Doi: 10.31772/2587-6066-2020-21-1-136-141.

**References**

1. Iskhakova I. O., Tkacheva V. E. [Innovative wastewater treatment methods for modern electroplating production]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2016, Vol. 19, No. 10, P. 143–146 (In Russ.).
2. Kovalev R. A., Burdova M. G., Grishina I. V. [Comparative analysis of electroplating effluent treatment with reagent and electrochemical treatment methods]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2018. No. 10, P. 343–346 (In Russ.).
3. Zolotokopova S. V., Chan Khoan Kuok, Ngo Tkhe Kyong [Comparative analysis of the accumulation of heavy metals in the muscles of aquatic organisms of the Sherepok River (Vietnam)]. *Vestnik AGTU. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*. 2018, No. 1, P. 118–123 (In Russ.).
4. Bugaev L. A., Voykina A. V., Valiullin V. A., Smyr T. M., Karpushina Yu. E. [Investigation of the accumulation of pesticides in the liver of some commercial fish species of the Sea of Azov in 2009–2011]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU)*. 2012. No. 07 (81) (In Russ.). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/66.pdf> (accessed 03.08.2021).
5. Khilyuk A. V. [Study of the effect of pollutants and electroactivated water on aquatic organisms]. *Reshetnevskie chteniya: materialy XXII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Pamyati general'nogo konstruktora raketno-kosmicheskikh sistem, akademika M. F. Reshetneva*. 2018, Vol. 2, P. 66–69 (In Russ.).
6. Galimova A. R., Tunakova Yu. A. [Intake, content and impact of high concentrations of metals in drinking water on the body]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013, Vol. 16, No. 20, P. 165–169 (In Russ.).
7. Egorova N. A., Kanatnikova N. V. [The influence of iron in drinking water on the morbidity of the population of the city of Orel]. *Gigiena i sanitariya*. 2017, Vol. 96, No. 11, P. 1049–1053 (In Russ.).
8. *GOST R 51641–2000 Materialy fil'truyushchie zernistye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [State Standard R 51641–2000. Granular filtering materials. General specifications ]. Moscow, IVS “URALTEST”, 2000.
9. Bratilova M. M., Grechushkin A. N. [Investigation of the properties of filter media for water purification from iron]. *Universum: Khimiya i biologiya : elektron. nauchn. zhurn.* 2015, No. 6 (14) (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svoystv-filtruyuschih-zagruzok-dlya-ochistki-vody-ot-zheleza> (accessed 03.08.2021).
10. Shestakov I. Ya., Raeva O. V. *Sposob ochistki vody i vodnykh rastvorov ot anionov i kationov* [Method for purifying water and aqueous solutions from anions and cations]. Patent RF, No. 2519383, 2014.
11. Khilyuk A. V., Rogov V. A., Prusakova V. A. [Effect of an electrostatic field on adsorption in the process of natural water purification]. *Vestnik KrasGAU*. 2013, Vol. 12, P. 134–137 (In Russ.).
12. Tagibaev D. D. [Filtration characteristics of granular filter materials]. *Innovatsionnaya nauka*. 2017, No. 1–2, P. 90–92 (In Russ.).
13. Kuznetsov L. K., Gabitov A. I. [Filtration technology in physical and chemical processes of water treatment]. *Bash. khim. zh.* 2009, No. 2. P. 84–92 (In Russ.).
14. *GOST 4011–72 Voda pit'evaya. Metody izmereniya massovoy kontsentratsii obshchego zheleza* [State Standard 4011–72. Drinking water. Methods for measuring the mass concentration of total iron]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1974.

15. Shestakov I. Ya., Khilyuk A. V. [Influence of a constant electric field on the adsorption purification of water from iron ions]. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2020, Vol. 21, No. 1. P. 136–141. Doi: 10.31772/2587-6066-2020-21-1-136-141 (In Russ.).

© Шестаков И. Я., Хилюк А. В., 2021

---

**Шестаков Иван Яковлевич** – доктор технических наук, профессор, доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра электронной техники и телекоммуникаций. E-mail: yakovlevish@mail.ru.

**Хилюк Анна Викторовна** – старший преподаватель, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра безопасности жизнедеятельности. E-mail: h-anna7@bk.ru.

**Shestakov Ivan Yakovlevich** – Dr. Sc., Professor; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: yakovlevish@mail.ru.

**Khilyuk Anna Viktorovna** – senior lecturer, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: h-anna7@bk.ru.

---