

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ В РФ

DOI: 10.34828/UdSU.2023.89.14.008

УДК 574.24:336.0

Л.И. Соколов, В.А. Силинский

ВЛИЯНИЕ КАТОДНЫХ ОСАДКОВ НА АКТИВНОСТЬ И ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ПРИРОДНОЙ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ

Аннотация. Исследование относится к технологии получения электрохимического гипохлорита натрия из минеральных подземных вод, который обладает сильным окислительным действием. Он используется для обеззараживания бытовых, промышленных сточных вод, а также при подготовке питьевой воды. Рассмотрены методы, влияющие на эффективность проведения электролиза, способные снижать образование катодных отложений на электродах. Разработанные методы могут применяться при использовании электролиза на минеральных подземных водах в электролизных установках различного типа и конструкций. Технологические решения получения электролизного гипохлорита натрия применимы непосредственно вблизи добычи минеральных подземных вод. Использование результатов данного исследования открывает возможность получения концентрированного гипохлорита натрия с увеличенным выходом целевого продукта.

Ключевые слова: минеральные подземные воды, электролиз, ультразвук, гипохлорит натрия, катодный налет.

Для цитирования: Соколов Л.И., Силинский В.А. Влияние катодных осадков на активность и жизненный цикл электролитического гипохлорита натрия, полученного из природной подземной воды // Управление техносферой: электрон. журнал, 2023. Т.6. Вып.3. URL: <https://technosphere-ing.ru> С. 403–413. DOI: 10.34828/UdSU.2023.89.14.008

Введение

Существует 2 способа получения хлорсодержащего реагента – гипохлорита натрия (ГХН), альтернативного жидкому хлору:

– получение химическим способом (с концентрацией по активному хлору 170–190 г/л);

– получение методом электролиза хлоридных растворов в установках (с концентрацией по активному хлору 5–9 г/л).

Для получения ГХН в электролизных установках используются чаще всего искусственно созданные хлоридные растворы (растворы поваренной соли). Однако, известны случаи, когда в качестве электролизера используются хлоридные растворы природного происхождения (морская вода, минеральные подземные воды) [1].

Использовать хлоридные растворы природного происхождения – экономически выгодно, в отличие от растворов, приготовленных из поваренной соли [2–3]. Однако, при электролизе минеральных вод, взятых из подземных источников, на поверхности электродов образуются нерастворимые соединения в виде белого осадочного налета солей жёсткости. Одним из способов подготовки таких вод к электролизу является удаление ионов кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}). Это может быть достигнуто ионнообменным или химическим методом, что удорожает и усложняет процесс получения реагента [4].

Цель исследований: изучение условий, влияющих на эффективность проведения электролиза при получении гипохлорита натрия из природных минеральных вод в электролизных установках.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: изучить условия проведения электролиза на минеральных подземных водах; зафиксировать рост концентрации активного хлора в готовом продукте – хлорсодержащем растворе (ГХН); проанализировать влияние качественного состава минеральных вод на процесс электролиза; сформулировать методы, влияющие на эффективность получения оптимальной концентрации активного хлора в готовом продукте.

Для предотвращения выбросов в окружающую среду нерастворимых соединений, которые образуются при подготовке воды для электролизных установок, необходимо проводить мероприятия по эффективности процесса электролиза.

Схема получения и использования гипохлорита натрия из подземных минеральных вод представлена на рис.1.

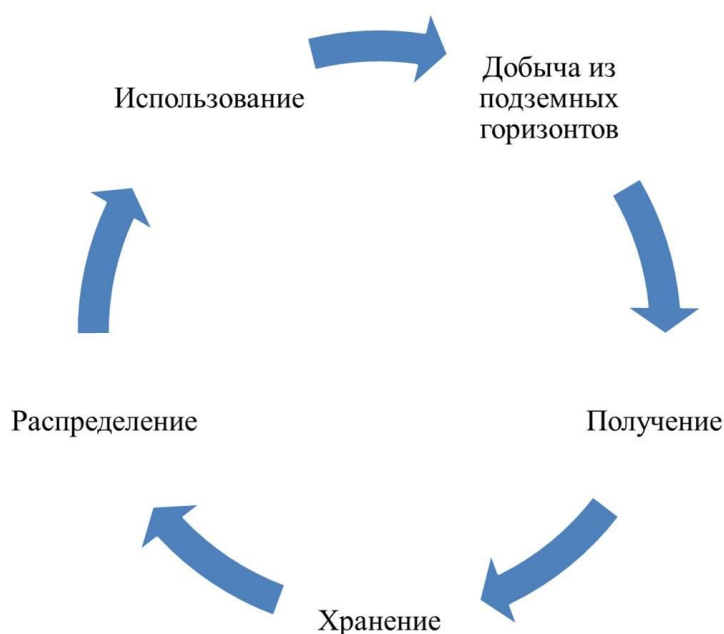


Рис.1. Схема получения и использования гипохлорита натрия из подземных минеральных вод (жизненный цикл)

Условия и методика проведения исследований

В основу получения активного электролизного гипохлорита натрия заложены следующие факторы: исходная концентрация хлоридов, качество используемого раствора; анодная плотность тока, материал электродов, продолжительность протекания электролиза.

На процесс протекания электролиза значительное влияние оказывает используемый материал электродов.

При проведении исследований электролиза на минеральных природных водах использовали графитовые электроды. На основе изученных литературных данных был сделан вывод, что именно графит является наиболее доступным дешевым материалом, но при протекании электролиза поддается быстрому разрушению, так как аноды находятся под воздействием химически агрессивной среды [5–6]. Поэтому в работе рассматриваются мероприятия, способствующие эффективному росту активного хлора в готовом продукте и при которых процесс разрушения электродов происходил бы значительно медленнее.

Для проведения исследований при оценке динамики образования катодных отложений (осадков) использовали:

- воду с исходной концентрацией хлоридов 200 г/л;
- воду с исходной концентрацией хлоридов 200 г/л, разбавленную водопроводной водой до концентрации 20 г/л.

Результаты исследований

Исследования проводили на чистых графитовых электродах, при постоянной силе тока 6 А. Через каждые 10 минут электролиза наглядно наблюдали увеличение слоя отложений на катоде. Затем оценивалась эффективность проведения процесса электролиза.

При проведении электролиза минерализованных вод на электродах, в частности на поверхности катода, образовывался белый аморфный осадок, объем которого увеличивался при протекании электролиза. Образование на катоде белого осадочного налета привело к замедлению роста активного хлора в получаемом продукте. Образование осадка характеризуется нахождением в электролите солей кальция и магния.

В таблице 1 наглядно представлено нарастание катодных отложений на 40-ой и 90-ой минутах электролиза воды с исходными концентрациями хлоридов 200 г/л и 20 г/л.

Таблица 1

Динамика образования катодных отложений

Вода с исходной концентрацией хлоридов 200 г/л			Вода с исходной концентрацией хлоридов 20 г/л		
1	2	3	4	5	6
0 мин	40 мин	90 мин	0 мин	40 мин	90 мин
Продолжительность электролиза, мин					

Наибольшее количество катодных отложений при проведении эксперимента образуется при электролизе минерализованной воды с исходной концентрацией 200 г/л, по завершении электролиза на 90-ой минуте происходит образование плотного белого осадка, который полностью покрывает поверхность катода.

В таблице 2 представлены результаты роста активного хлора в течение времени протекания электролиза минерализованной воды с исходными концентрациями хлоридов 200 г/л и 20 мг/л.

Таблица 2

Концентрация активного хлора относительно времени электролиза

Продолжительность электролиза, мин	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Концентрация активного хлора, г/л	Исходная вода с концентрацией хлоридов 200 г/л								
	1,5	3,0	5,5	6,3	8,1	8,4	8,7	8,9	9,1
Концентрация активного хлора, г/л	Исходная вода с концентрацией хлоридов 20 г/л								
	1,2	2,9	3,2	3,8	4,1	4,9	5,2	5,4	5,6

Анализируя полученные результаты, можно отметить значительный рост активного хлора в первые тридцать минут процесса. После 60-ой минуты электролиза в обоих случаях наблюдается постепенное замедление роста активного вещества. Разница между максимальными концентрациями активного хлора в готовом продукте при электролизе минерализованной воды с концентрациями 200 и 20 г/л на финальных минутах электролиза незначительна при значительной разнице объема осадка, образующегося на электродах.

Таким образом, рекомендуется в случае использования высокоминерализованных вод в качестве сырья для получения гипохлорита натрия разбавление их водопроводной водой до необходимой исходной концентрации хлоридов, что приведет к снижению концентраций солей кальция и магния и, соответственно, к увеличению срока службы электродов.

Также при проведении исследований оценивалось влияние смены полярности электродов (реверс тока) на эффективность проведения электролиза.

Исследования проводились на минерализованной воде с исходным содержанием хлоридов 20 г/л в тех же условиях, что и в первой части работы, но при этом производился реверс тока через каждые 20 минут процесса. В течение всего времени эксперимента (90 минут) наблюдался рост активного хлора в получаемом продукте. Однако максимальная концентрация активного

вещества была достигнута уже на 40-ой минуте процесса. При этом влияние реверса электрического тока показало эффективную очистку катода от образующегося налета осадка из солей жёсткости. Сразу же после смены полюсов наблюдалось устранение налета, осадок исчезал, растворяясь в потоке воды, поверхность электрода становилась чистой.

Мероприятия по оценке эффективности работы графитовых электродов показали, что наиболее быстрым методом удаления налета – осадка на катоде – является смена полярности электродов.

Результаты эксперимента с использованием смены полярности тока на электродах представлены в таблице 3.

Таблица 3

Концентрация активного хлора относительно времени электролиза с использованием реверса тока

Продолжительность электролиза, мин	10	20	реверс	30	40	реверс	50	60	реверс	70	80	реверс	90
Концентрация активного хлора, г/л	1,3	3,0		4,1	5,6		5,0	5,2		5,0	5,4		5,6

Также были проведены исследования по увеличению остаточного активного хлора в готовом продукте ГХН после обработки ультразвуком воды, поступающей в электролизёр. В данной работе был проверен способ получения гипохлорита натрия электролизом природной минерализованной воды, характеризующийся тем, что предварительно воду подвергают ультразвуковому воздействию [7].

Выводы

Использование результатов данного исследования открывает возможность получать концентрированный гипохлорит натрия с увеличенным выходом целевого продукта. Использование в качестве электролита природных подземных вод позволяет отказаться от этапа искусственного приготовления

хлоридного раствора, что упрощает технологию получения дезинфектанта на месте его потребления и снижает эксплуатационные затраты. В конечном итоге предлагаемая технология позволяет экономить энергию, наиболее эффективно использовать природные ресурсы, а именно подземные минерализованные воды, что в целом приводит к значительной экономии средств. А применение ультразвукового воздействия на исходный электролит позволяет увеличивать выход продукта.

На эффективность получения электролизного гипохлорита натрия влияют следующие факторы: исходная концентрация хлоридов электролита, качество используемого раствора, анодная плотность тока, материал электродов, продолжительность протекания электролиза.

При проведении электролиза на минеральных природных водах с повышенной жесткостью (250^0 Ж) необходимо проводить процедуры, продлевающие работоспособность электродов и снижающие объём катодных осадков: реверс тока на электродах, разбавление высоконцентрированных вод водопроводной водой и периодическая промывка 3-% раствором соляной кислоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драй О.И., Фесенко А.Л., Вергунов А.И. Производство гипохлорита натрия из растворов различной природы: сборник докладов научно-практической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В.Яковлева. Москва: МГСУ, 2012. 240 с.
2. Фесенко Л.Н., Пчельников И.В., Игнатенко С.И. Оценка экономической эффективности получения гипохлорита натрия электролизом морской воды: сборник докладов научно-практической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В.Яковлева. Москва: МГСУ, 2012. 240 с.
3. Силинский В.А. Экономическое обоснование получения гипохлорита натрия из высокоминерализованных подземных вод // Молодые исследователи – регионам:

материалы международной научной конференции (Вологда, 18-19 апреля 2017 г.): Т.1. Вологда: ВоГУ, 2017. С. 404–406.

4. Игнатенко С.И. Оборудование ООО НПП «ЭКОФЕС» в области импортозамещения электролизных установок крупнотоннажного производства гипохлорита натрия для обеззараживания воды // Водоснабжение и санитарная техника, 2020. № 9. С. 31–36.
5. Пчельников И.В. и др. Исследование коррозионных и электрохимических свойств оксидных покрытий анодов для производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия // Инженерный вестник Дона, 2014. № 1.
6. Sokolov L., Silinsky V., Kolobova S. Sodium Hypochlorite Production from Salted Groundwater. [Electronic Resource]. Journal of Applied Chemical Science International – Т. 12 (1), 2021. pp. 17–26. URL: <https://www.ikprress.org/index.php/JACSI/article/view/6476>.
7. Патент 2722175 Российская Федерация, МПК С25В 1/26. Способ получения электролитического гипохлорита натрия. С.В. Колобова, Е.А. Мезенева, Л.И. Соколов, В.А. Силинский; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный университет. №: 2019139636; заявл. 05.12.2019; опубл. 28.05.2020, бюл. № 16.

Поступила в редакцию 02.04.2023

Сведения об авторах

Соколов Леонид Иванович

д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, ул. Ленина 15. Россия.

E-mail: sokolovli@mail.ru

Силинский Виктор Алексеевич

Аспирант, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, ул. Ленина 15. Россия.

E-mail: viktor.silinsky@yandex.ru

L.I. Sokolov, V.A. Silinsky

INFLUENCE OF CATHODIC PRECIPITATION ON THE ACTIVITY AND LIFE CYCLE OF ELECTROLYTIC SODIUM HYPOCHLORITE OBTAINED FROM NATURAL UNDERGROUND WATER

Annotation. The study relates to the technology of obtaining electrochemical sodium hypochlorite from mineral groundwater, which has a strong oxidizing effect. It is used for the disinfection of domestic, industrial wastewater, as well as in the preparation of drinking water. Methods that affect the efficiency of electrolysis and can reduce the formation of cathode deposits on the electrodes are considered. The developed methods can be applied when using electrolysis on mineral underground waters in electrolysis plants of various types and designs. Technological solutions for the production of electrolytic sodium hypochlorite are applicable directly near the extraction of mineral groundwater. The use of the results of this study opens up the possibility of obtaining concentrated sodium hypochlorite with an increased yield of the target product.

Keywords: mineral underground waters, electrolysis, ultrasound, sodium hypochlorite, cathode deposit.

For citation: Sokolov L.I., Silinsky V.A. [Influence of cathodic precipitation on the activity and life cycle of electrolytic sodium hypochlorite obtained from natural underground water] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2023, vol. 6, issue 3. (In Russ.) Available at: <https://technosphere-ing.ru/> pp. 403–413. DOI: 10.34828/UdSU.2023.89.14.008

REFERENCES

1. Dry O.I., Fesenko A.L., Vergunov A.I. *Proizvodstvo gipokhlorita natriya iz rastvorov razlichnoi prirody* [Production of sodium hypochlorite from solutions of various nature]. Collection of reports of the scientific-practical conference dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences SV Yakovlev. Moscow: MGSU, 2012. 240 p. (In Russ.).
2. Fesenko L.N., Pchel'nikov I.V., Ignatenko S.I. *Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti polucheniya gipokhlorita natriya elektrolizom morskoi vody* [Evaluation of the economic efficiency of obtaining sodium hypochlorite by electrolysis of sea water]. Collection of reports of the scientific-practical conference dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences SV Yakovlev. Moscow: MGSU, 2012. 240 p. (In Russ.).
3. Silinsky V.A. *Ekonomicheskoe obosnovanie polucheniya gipokhlorita natriya iz vysokomineralizovannykh podzemnykh vod* [Economic justification for obtaining sodium hypochlorite from highly mineralized groundwater]. Young Researchers to the Regions:

- Proceedings of the International Scientific Conference (Vologda, April 18-19, 2017): V.1. Vologda: VSU, 2017, pp. 404-406. (In Russ.).
4. Ignatenko S.I. *Oborudovanie OOO NPP «EKOFEС» v oblasti importozameshcheniya elektroliznykh ustanovok krupnotonnazhnogo proizvodstva gipokhlорita natriya dlya obezzarazhivaniya vody* [Equipment of NPP ECOFES LLC in the field of import substitution of electrolysis plants for large-scale production of sodium hypochlorite for water disinfection]. *Water supply and sanitary engineering*, 2020, no. 9, pp. 31–36. (In Russ.).
 5. Pchel'nikov I.V. *Issledovanie korrozionnykh i elektrokhimicheskikh svoystv oksidnykh pokrytii anodov dlya proizvodstva nizkokontsentrirоvannogo gipokhlорita natriya*. [Investigation of the corrosion and electrochemical properties of oxide coatings of anodes for the production of low-concentration sodium hypochlorite]. *Engineering Bulletin of the Don*, 2014. No. 1. (In Russ.).
 6. Sokolov L., Silinsky V., Kolobova S. Sodium Hypochlorite Production from Salted Groundwater. [Electronic Resource]. *Journal of Applied Chemical Science International - V.12* (1), 2021. pp. 17-26. Available it: <https://www.ikprpress.org/index.php/JACSI/article/view/6476>
 7. *Patent 2722175 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C25B 1/26. Sposob polucheniya elektroliticheskogo gipokhlорita natriya* [Patent 2722175 Russian Federation, IPC C25B 1/26. Method for producing electrolytic sodium hypochlorite]. S.V.Kolobova, E.A.Mezeneva, L.I.Sokolov, V.A.Silinsky; applicant and patent holder Vologda State University. No.: 2019139636; dec. 05.12.2019; publ. 28.05.2020, bul. No. 16. (In Russ.).

Received 02.04.2023

About the Authors

Sokolov Leonid Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vologda State University», Vologda, Lenin str. 15. Russia.

E-mail: sokolovli@mail.ru

Silinsky Viktor Alekseevich

Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vologda State University», Vologda, Lenin str. 15. Russia.

E-mail: viktor.silinsky@yandex.ru