

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

РУТКОВСЬКА КАТЕРИНА СЕРГІЇВНА

УДК 621.35


ДИСЕРТАЦІЯ
ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ СИНТЕЗ ГІПОХЛОРИТУ НАТРІЮ З
ДЕПОЛЯРИЗАЦІЄЮ КАТОДНОГО ПРОЦЕСУ

161 – Хімічні технології та інженерія

16 – Хімічна та біоінженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 К.С. Рутковська

*Згоден з вмістом
іншими примірниками
дисертації зєсвідчую
Вчений секретар*

Науковий керівник:

Тульський Геннадій Георгійович,
доктор технічних наук, професор

проф. Зеловоротний О.Ю. Харків – 2021

17.12.2021



АНОТАЦІЯ

Рутковська К.С. Електрохімічний синтез гіпохлориту натрію з деполяризацією катодного процесу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія (16 – Хімічна та біоінженерія). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків, 2021.

Роботу виконано на кафедрі Технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Об'єкт досліджень – катодні процеси при електролізі водних розчинів натрію гіпохлориту.

Предмет досліджень – закономірності перебігу суміщених катодних процесів при електролізі водних розчинів натрію гіпохлориту.

Дисертаційне дослідження присвячене удосконаленню електрохімічного синтезу гіпохлориту натрію за рахунок гальмування катодного відновлення гіпохлорит-іону при бездіафрагмовому електролізі натрію гіпохлориту. Для гальмування катодного відновлення гіпохлорит-іону було запропоновано застосувати газодифузійний електрод для деполяризації катодного процесу за рахунок катодного відновлення кисню, що підводився до межі розподілу електроліт-газодифузійний електрод.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження. Висвітлено її наукову новизну та практичну цінність.

Перший розділ присвячено комплексному аналізу науково-технічної інформації щодо теоретичних основ електрохімічного синтезу натрію гіпохлориту та проблем практичної реалізації, механізму та кінетики

відновлення кисню, аналізу електродних матеріалів для відновлення кисню та конструкції газодифузійного електроду. Визначено, що одержання натрію гіпохлориту з концентрацією вище за 10...14 г/л неможливо, через перебіг катодного відновлення гіпохлорит-іонів. До концентрації 6...8 г/л катодне відновлення гіпохлорит-іону не має суттєвого значення. Але подальший електроліз характеризується значними втратами гіпохлорит-іону за рахунок його відновлення. Зроблено висновок, що для одержання високих концентрацій доцільно застосувати деполяризацію катодного процесу, наприклад, за рахунок відновлення кисню. Перспективним вважається використання киснем повітря, яке може подаватися через газодифузійний катод.

У другому розділі дисертації наведено перелік реактивів та матеріалів, які було використано під час виконання досліджень, методики проведення експериментальних досліджень та аналізів. Вольт-амперні залежності отримували за допомогою імпульсного потенціостата MTech PGP-550S. Для дослідження кінетики електродних процесів використовували графітовий газодифузійний електрод. В якості основи електродів використовувався поруватий графіт ПГ-50. Графіт ПГ-50 має високу хімічну стійкість в широкому діапазоні концентрацій. Його поруватість становить 50 %, що дозволяє встановити баланс між дисперсністю пухирців повітря та ефективністю газопроникнення через поруватий електрод. Графітовий газодифузійний електрод монтувався в корпусі титанового струмовідводу. Допоміжний електрод – платиновий. Електрод порівняння – хлорид-срібний. Досліджували кінетику катодного процесу з застосуванням деполяризатора та без нього. Наведено методики нанесення каталітичних покриттів, дослідження зносостійкості матеріалів та методику аналізу розчину.

Третій розділ присвячений дослідженню кінетичних закономірностей та впливу матеріалу електроду на катодні поляризаційні залежності у водному розчині NaCl на поруватому графіті без подачі повітря та з подачею повітря. Для кількісного підтвердження можливості заміни природи

катодного процесу з виділення водню на відновлення кисню було проведено балансовий електрохімічний синтез натрію гіпохлориту із застосуванням активованого катоду при відсутності газодифузійного режиму та з використанням подачі повітря через газодифузійний катод. Одержані результати вказують на гальмування підводу іонів ClO^- до поверхні катоду, що сприяє зниженню втрат ClO^- за рахунок їх катодного відновлення.

У четвертому розділі представлені результати обґрунтування дослідно-промислових випробувань. Розроблена конструкція експериментального електролізера для електрохімічного синтезу натрію гіпохлориту. У якості диспергатора використано мікропористий поліетилен високого тиску щільно притиснутий до сітчастого катоду. Проведено балансовий електрохімічний синтез натрію гіпохлориту із застосуванням активованого катода при відсутності газодифузійного режиму і з використанням подачі повітря через газодифузійний катод. У першому випадку, вихід за струмом натрію гіпохлориту поступово знижується до досягнення граничної концентрації $\sim 14 \text{ г/дм}^3 \text{ NaClO}$. При подачі повітря в газодифузійний електрод концентрація натрію гіпохлориту перевищує аналогічні показники першого випадку. Гранична концентрація NaClO склала $\sim 38 \text{ г/л}$, при обраному газодифузійному режимі. Отримані результати вказують на гальмування підводу іонів ClO^- до поверхні катода, що сприяє зниженню втрат ClO^- за рахунок їх катодного відновлення.

Ключові слова: відновлення кисню, газодифузійний електрод, електросинтез, деполяризація, натрію гіпохлорит, вольт-амперна залежність.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Рутковська К.С. Застосування газодифузійного катоду в електрохімічному синтезі гіпохлориту натрію / К.С. Рутковська,

Г.Г. Тульський, І.В. Сінкевич, В.М. Артеменко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2018. – вип. 39. – С. 23–26.

2. Рутковська К.С. Обґрунтування технологічних показників застосування газодифузійного катоду в електрохімічному синтезі розчинів гіпохлоритів / К.С. Рутковська, Г.Г. Тульський, В.П. Гомозов, О.І. Русінов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ» – 2020. – №2 (4). – С. 10–16.

3. Rutkovska K.S. Combined cathode processes in the electrochemical synthesis of sodium hypochlorite / K.S. Rutkovska, H.H. Tulsnyi, I.H. Chahine, A.G. Tulska // *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: Monograph*. – Kyiv: KNUTD. – 2019. – P. 190–197.

4. Рутковська К.С. Кінетика суміщених катодних процесів у водному розчині NaCl / К.С. Рутковська, Г.Г. Тульський, В.П. Гомозов, Т.В. Ворона // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. – 2020. – № 2 (144). – С. 90–97.

5. Rutkovska K.S. The differential voltametry method for studying the combined cathodic processes in aqueous NaCl solution / K.S. Rutkovska, G.G. Tulsnyi // *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry – 2020: Monograph*. – Kyiv: KNUTD. – 2020. – P. 240–243.

6. Рутковская Е.С. Выбор каталитического покрытия газодиффузионного катода для электрохимического синтеза NaClO / Е.С. Рутковская, Г.Г. Тульский, М.Д. Хассан // *Colloquium-journal*. – 2021. – №14 (101). – С. 20–23.

7. Рутковська К.С. Електрохімічний синтез гіпохлориту натрію з деполяризацією катодного процесу / К.С. Рутковська, Г.Г. Тульський // *Електрохімія сьогодні: здобутки, проблеми та перспективи: колективна монографія*. – Київ: МПБП «Гордон». – 2021. – 134–135 с.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

8. Рутковська К.С. Застосування газодифузійного катоду в електрохімічному синтезі гіпохлориту натрію / К.С. Рутковська,

Г.Г. Тульський // XII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів (17–20 квітня 2018 року): матеріали конференції: у 3-х ч. – Ч. 3 / за ред. проф. Є.І. Сокола. – Харків: НТУ «ХП». – 2018. – С. 105–106.

9. Рутковська К.С. Обґрунтування вибору газодифузійного катода в електрохімічному синтезі гіпохлориту натрію / К.С. Рутковська, Г.Г. Тульський // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, 16–18 травня 2018р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». – 296 с.

10. Рутковська К. Застосування газодифузійного катода в електрохімічному синтезі гіпохлориту натрію / К. Рутковська, В. Байрачний, І. Сінкевич, С. Самойленко // VIII Український з'їзд з електрохімії та VI Науково-практичний семінар студентів, аспірантів і молодих учених «Прикладні аспекти електрохімічного аналізу», присвячені 100-річчю Національної академії наук України (Львів, 4-7 червня 2018 р.): Збірник наукових праць: В 2-х частинах : Ч. 2. – Львів: Дослідно-видавничий центр Наукового товариства ім. Шевченка – 2018. – С. 356–358.

11. Рутковська К.С. Вплив матеріалу активатора газодифузійного катода на деполяризацію катодного процесу / К.С. Рутковська, Г.Г. Тульський, Д.С. Белокуров // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15-17 травня 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / – Харків: НТУ «ХП», 2019. – С. 331.

12. Рутковская Е.С. Активация графита в газодифузионных электродах / Е.С. Рутковская, И.Х. Шахин, С.А. Лещенко, Я.Ф. Михайлов // Современные электрохимические технологии и оборудование: материалы докладов Международной научно-технической конференции, 13-17 мая 2019 г. – Минск : БГТУ, 2019. – С. 223–227.

13. Рутковська К.С. Кінетика суміщених катодних процесів на газодифузійному електроді у водному розчині NaCl / К.С. Рутковська, Г.Г. Тульський, Д.С. Белокуров, М.О. Вакуленко // матеріали міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 80-річчю кафедри хімії ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, Харків, 7–8 листоп. 2019 р. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. – С. 157.

14. Рутковська К.С. Обґрунтування технологічних показників застосування газодифузійного катоду в електрохімічному синтезі розчинів гіпохлоритів / К.С. Рутковська, Г.Г. Тульський, О.А. Захарченко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020, 23–25 жовтня 2020 р.: у 5 ч. Ч. II. – Харків: НТУ «ХП». – 2020. – С. 267.

15. Рутковська К.С. Використання методу диференціальної вольтаметрії для дослідження суміщених катодних процесів у водних розчинах NaCl / К.С. Рутковська, Г.Г. Тульський, О.Ю. Бровін // VII науковий семінар студентів, аспірантів і молодих учених «Прикладні аспекти електрохімічного аналізу», 15–16 жовтня 2020 р. – Львів: Малий видавничий центр хімічного та фізичного факультетів ЛНУ імені Івана Франка. – 2020. – С. 25.

16. Рутковська К.С. Обґрунтування технологічних показників застосування газодифузійного катоду в електрохімічному синтезі розчинів гіпохлоритів / К.С. Рутковська, Г.Г. Тульський, О.А. Захарченко // XIV Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців» (01–04 грудня 2020 року): матеріали конференції (за ред. проф. Є.І. Сокола) – Харків: НТУ «ХП». – 2020. – С. 378.

17. Рутковская Е.С. Обоснование технологических показателей применения газодиффузионного катода в электрохимическом синтезе растворов гипохлорита натрия / Е.С. Рутковская, Г.Г. Тульський,

В.Б. Байрачный, А.Г. Тульская // Современные электрохимические материалы и оборудование: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 18–20 мая 2021 г. – Минск: БГТУ. – 2021. – С. 71–74.

18. Рутковська К.С. Каталітичні покриття газодифузійного катода для електрохімічного синтезу гіпохлоритів / К. С. Рутковська , Г.Г. Тульський // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХХІХ міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2021, 18–20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». – С. 235.

SUMMARY

Rutkovska K.S. Electrochemical synthesis of sodium hypochlorite with cathodic depolarization. – Manuscript.

The thesis is submitted to obtain a scientific degree of Doctor of Philosophy, specialty 161 – Chemical Technologies and Engineering (16 – Chemical and Bioengineering). – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2021.

The work was carried out at the Department of Technical Electrochemistry of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The object of research is cathodic processes in the electrolysis of aqueous solutions of sodium hypochlorite.

Subject of research – patterns of combined cathode processes in the electrolysis of aqueous solutions of sodium hypochlorite.

The dissertation research is devoted to the improvement of electrochemical synthesis of sodium hypochlorite due to inhibition of cathodic reduction of hypochlorite ion without diaphragm electrolysis of sodium hypochlorite. To alter the cathodic reduction of the hypochlorite ion, it was proposed to use a gas diffusion electrode to depolarize the cathode process due to the cathodic reduction of oxygen, which was brought to the limit of the electrolyte-gas diffusion electrode.

The introduction substantiates the relevance of the dissertation, formulates its purpose and objectives, defines the object, subject and research methods. Its scientific novelty and practical value are highlighted.

The first section is devoted to a comprehensive analysis of scientific and technical information on the theoretical foundations of electrochemical synthesis of sodium hypochlorite and problems of practical implementation, mechanism and kinetics of oxygen reduction, analysis of electrode materials for oxygen reduction and gas diffusion electrode design. It was determined that the production of sodium hypochlorite with a concentration above 10...14 g/l is impossible due to

the cathodic reduction of hypochlorite ions. Up to a concentration of 6...8 g/l, the cathodic reduction of the hypochlorite ion is not significant. But further electrolysis is characterized by significant losses of hypochlorite ion due to its recovery. It is concluded that to obtain high concentrations it is advisable to use depolarization of the cathode process, for example, by reducing oxygen. Promising is the use of oxygen in the air that can be supplied through the gas diffusion cathode

The second section of the dissertation contains a list of reagents and materials that were used during the research, methods of experimental research and analysis. Volt-ampere dependences were obtained using a pulse potentiostat MTech PGP-550S. A graphite gas diffusion electrode was used to study the kinetics of electrode processes. Porous graphite PG-50 was used as the basis of the electrodes. PG-50 graphite has high chemical resistance in a wide range of concentrations. Its porosity is 50 %, which allows you to establish a balance between the dispersion of air bubbles and the efficiency of gas penetration through the porous electrode. The graphite gas diffusion electrode was mounted in a titanium current collector housing. Auxiliary electrode - platinum. The reference electrode is silver chloride. The kinetics of the cathode process with and without a depolarizer were studied. Methods of catalytic coatings, wear resistance of materials and methods of solution analysis are given.

The third section is devoted to the study of the kinetic laws and the influence of the electrode material on the cathodic polarization dependences in aqueous NaCl solution on porous graphite without air supply, with moderate air supply and excess air supply. Balance electrochemical synthesis of sodium hypochlorite using an activated cathode in the absence of a gas diffusion regime and using air supply through a gas diffusion cathode was performed to quantitatively confirm the possibility of changing the nature of the cathode process from hydrogen evolution to oxygen reduction. The obtained results indicate the inhibition of the supply of ClO^- ions to the cathode surface, which helps to reduce ClO^- losses due to their cathodic reduction.

The fourth section presents the results of substantiation of research and industrial tests. The design of an experimental electrolyzer for electrochemical synthesis of sodium hypochlorite has been developed. Microporous high-pressure polyethylene tightly pressed to the mesh cathode was used as a dispersant. Balance electrochemical synthesis of sodium hypochlorite was performed using an activated cathode in the absence of a gas diffusion mode and using air supply through a gas diffusion cathode. In the first case, the current output of sodium hypochlorite is gradually reduced to reach a maximum concentration of ~14 g/l NaClO. When air is supplied to the gas diffusion electrode, the concentration of sodium hypochlorite exceeds that of the first case. The maximum concentration of NaClO was ~38 g/l, with the selected gas diffusion mode. The obtained results indicate the inhibition of the supply of ClO^- ions to the cathode surface, which helps to reduce ClO^- losses due to their cathodic reduction.

Key words: oxygen reduction, gas diffusion electrode, electrosynthesis, depolarization, sodium hypochlorite, volt-ampere dependence.

LIST OF PUBLICATIONS ON THE SUBJECT OF THE DISSERTATION

Scientific papers, in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Rutkovska K.S. Zastosuvannya gazodifuzijnogo katodu v elektrohimičnomu sintezi gipohloritu natriyu / K.S. Rutkovska, H.H. Tul'skyi, I.V. Sinkevych, V.M. Artemenko // Visnik NTU «KhPI». – 2018. – № 39. – s. 23–26.

2. Rutkovska K.S. Obgruntuvannya tekhnologichnih pokaznikov zastosuvannya gazodifuzijnogo katodu v elektrohimičnomu sintezi rozchiniv gipohloritiv / K.S. Rutkovska, H.H. Tul'skyi, V.P. Homozov, O.I. Rusinov // Visnik NTU «KhPI». Seriya: Himiya, himichna tekhnologiya ta ekologiya. Kh.: NTU «KhPI» – 2020. – №2 (4). – S. 10–16.

3. Rutkovska K.S., Combined cathode processes in the electrochemical synthesis of sodium hypochlorite / K.S. Rutkovska, H.H. Tul'skyi, I.H. Chahine,

A.G. Tulska // Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: Monograph. – Kyiv: KNUTD. – 2019. – P. 190–197.

4. Rutkovska K.S. Kinetika sumishchenih katodnih procesiv u vodnomu rozchini NaCl / K.S. Rutkovska, H.H. Tulsnyi, V.P. Homozov, T.V. Vorona // Visnik Kiiivs'kogo nacional'nogo universitetu tekhnologij ta dizajnu. Seriya: Tekhnichni nauki. – 2020. – № 2 (144). – S. 90–97.

5. Rutkovska K.S. The differential voltametry method for studying the combined cathodic processes in aqueous NaCl solution / K.S. Rutkovska, H.H. Tulsnyi // Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry – 2020: Monograph. – Kyiv: KNUTD. – 2020. – P. 240–243.

6. Rutkovska K.S. Vybory kataliticheskogo pokrytiya gazodiffuzionnogo katoda dlya elektrohimiicheskogo sinteza NaClO / K.S. Rutkovska, H.H. Tulsnyi, M.D. Khassan // Colloquium-journal. – 2021. – №14 (101). – S. 20–23.

7. Rutkovska K.S. Elektrokhimichniy syntez hipokhlorytu natriiu z depoliaryzatsiieiu katodnoho protsesu / K.S. Rutkovska, H.H. Tulsnyi // Elektrokhimiiia sohodennia: zdobutky, problemy ta perspektyvy: kolektyvna monohrafiia. – Kyiv: MPBP «Hordon». – 2021. – 134–135 c.

Published works of approbatory character:

8. Rutkovska K.S. Zastosuvannya gazodufuzijnogo katodu v elektrohimiichnomu sintezi gipohloritu natriyu / K.S. Rutkovska, H.H. Tulsnyi // XII Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya magistrantiv ta aspirantiv (17–20 kvitnya 2018 roku): materialy konferencii: u 3 ch. – Ch. 3 / za red. prof. E.I. Sokola. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2018. – S. 105–106.

9. Rutkovska K.S. Obgruntuvannya viboru gazodufuzijnogo katodu v elektrohimiichnomu sintezi gipohloritu natriyu / K.S. Rutkovska, H.H. Tulsnyi // Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidej XXVI mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2018, 16–18 travnya 2018.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. E.I. Sokola. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 296 s.

10. Rutkovska K. Zastosuvannya gazodufuzijnogo katodu v elektrohimičnomu sintezi gipohloritu natriyu / K. Rutkovska, V. Bairachnyi, I. Sinkevych, S. Samoilenko // VIII Ukraïns'kij z'ïzd z elektrohimiï ta VI Naukovo-praktichnij seminar studentiv, aspirantiv i molodih uchenih «Prikladni aspekti elektrohimičnogo analizu», prisvyacheni 100-richčyju Nacional'noï akademii nauk Ukraïni (L'viv, 4–7 chervnya 2018 r.): Zbirnik naukovih prac': u 2-h chastinah: Ch. 2. – L'viv: Doslidno-vidavnychij centr Naukovogo tovaristvo im. SHEvchenka – 2018. – S. 356–358.

11. Rutkovska K.S. Vpliv materialu aktivatora gazodifuzijnogo katodu na depolyarizaciyu katodnogo procesu / K.S. Rutkovska, H.H. Tuls'kyi, D.S. Bielokurov // Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidej XXVII mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2019, 15–17 travnya 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2019. – S. 331.

12. Rutkovska K.S. Aktivaciya grafita v gazodifuzionnyh elektrodah / K.S. Rutkovska, Y.Kh. Shakhyn, S.A. Leshchenko, Ya.F. Mykhailov // Sovremennye elektrohimičeskie tekhnologii i oborudovanie : materialy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, 13–17 maya 2019 g. – Minsk: BGTU. – 2019. – S. 223–227.

13. Rutkovska K.S. Kinetika sumishchennih katodnih procesiv na gazodifuzijnomu elektrodi u vodnomu rozchini NaCl / K.S. Rutkovska, H.H. Tuls'kyi, D.S. Belokurov, M.O. Vakulenko // materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf., prisvyachenoï 80-richčyju kafedri himii HNUMG im. O.M. Beketova, Kharkiv, 7–8 listop. 2019 r. / – Kharkiv: KHNUMG im. O. M. Beketova. – 2019. – S. 157.

14. Rutkovska K.S. Obgruntuvannya tekhnologichnih pokaznikov zastosuvannya gazodifuzijnogo katodu v elektrohimičnomu sintezi rozchiniv gipohloritiv / K.S. Rutkovska, H.H. Tuls'kyi, O.A. Zaharchenko // Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: tezi dopovidej

XXVIII mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii MicroCAD-2020. 23–25 zhovtnya 2020 r.: u 5 ch. Ch. II. / – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2020. – S. 267.

15. Rutkovska K.S. Vikoristannya metodu diferencial'noï vol'tamerometriï dlya doslidzhennya sumishchenih katodnih procesiv u vodnih rozchinah NaCl / K.S. Rutkovska, H.H. Tulskeyi, O.Yu. Brovyn // VII naukovij seminar studentiv, aspirantiv i molodih uchenih «Prikladni aspekti elektrohimičnogo analizu», 15–16 zhovtnya 2020 r. – L'viv: Malij vidavnichij centr himičnogo ta fizičnogo fakul'tetiv LNU imeni Ivana Franka. – 2020. – S. 25.

16. Rutkovska K.S. Obgruntuvannya tekhnologichnih pokaznikov zastosuvannya gazodifuzijnogo katodu v elektrohimičnomu sintezi rozchiniv gipohloritiv / K.S. Rutkovska, H.H. Tulskeyi, O.A. Zakharchenko // XIV Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya magistrantiv ta aspirantiv «Teoretichni ta praktichni doslidzhennya molodih naukovciv» (01–04 grudnya 2020 roku): materiali konferencii / za red. prof. E.I. Sokolakoła / – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2020. – S. 378.

17. Rutkovskaya E.S. Obosnovanye tekhnolohycheskykh pokazatelei pryomeneniyaz hazodyffuzyonnoho katoda v elektrohymyčeskom synteze rastvorov hypokhloryta natryia / E.S. Rutkovskaya, H.H. Tulskeyi, V.B. Bairachnyi, A.H. Tulskaia // Sovremennye elektrohymyčeskye materyaly i oborudovanye: materyaly Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., h. Mynsk, 18–20 maia 2021 h. – Mynsk: BHTU. – 2021. – C. 71–74.

18. Rutkovska K.S. Katalitychni pokryttia hazodyfuziinoho katoda dlia elektrohimičnogo syntezu hipokhlorytiv / K.S. Rutkovska, H.H. Tulskeyi // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: tezy dopovidei XXIX mizhnarodnoi naukovo-praktyčnoï konferentsii MicroCAD-2021, 18–20 travnia 2021 p.: u 5 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». – C. 235.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	10
1.1 Теоретичні основи електрохімічного синтезу гіпохлорита натрію та проблеми практичної реалізації.....	10
1.2 Кінетика і механізм електрохімічного відновлення кисню.....	17
1.3 Катодні матеріали для відновлення кисню	23
1.4 Аналіз конструкції газодифузійних електродів	32
1.4.1 Гідрофобні матеріали.....	36
1.4.2 Гідрофільні матеріали-електрокаталізатори	37
1.4.3 Способи виготовлення гідрофобізованих електродів	38
1.5 Висновки з літературного огляду та вибір напрямку дослідження	43
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	46
2.1 Конструкція та принцип роботи газодифузійного електроду	46
2.2 Методика визначення фізико-хімічних характеристик пористих графітових електродів.....	48
2.3 Методика одержання каталітично активного шару оксиднометалевих покривів	48
2.4 Дослідження кінетики.....	49
2.5 Метод обертового дискового електрода	52
2.6 Метод диференціальної вольт-амперометрії.....	53
2.7 Методика дослідження зносостійкості матеріалів	54
2.8 Методика аналізу розчинів.....	55
РОЗДІЛ 3 КІНЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ТА ВПЛИВ МАТЕРІАЛУ ЕЛЕКТРОДУ НА КАТОДНІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ЗАЛЕЖНОСТІ	57
3.1 Кінетика катодного процесу у водному розчині NaCl на поруватому графіті	59

3.2 Вплив додавання натрію гідроксиду на графітовому газодифузійному електроді.....	63
3.3 Хроноамперограми графітового газодифузійного катоду.....	68
3.4 Вплив додавання натрію гіпохлориту на графітовому газодифузійному електроді.....	71
3.5 Кінетика катодного процесу у водному розчині NaCl на сітці з 08X18H10T.....	73
3.6 Кінетика катодного процесу на каталітичних покриттях газодифузійного носія: Co, Co-Mo, Co-Mo-TiO ₂	75
3.6.1 Дослідження диференціальних залежностей Co, Co-Mo, Co-Mo-TiO ₂ ..	77
3.6.2 Вплив додавання натрію гіпохлориту на кінетику катодного процесу каталітичних покриттів Co, Co-Mo, Co-Mo-TiO ₂	81
3.7 Кінетика катодного процесу на каталітичних покриттях газодифузійного носія: Co ₂ O ₃ , MnO ₂ , RuO ₂	83
3.7.1 Дослідження диференціальних залежностей Co ₂ O ₃ , MnO ₂ , RuO ₂	86
3.7.2 Вплив додавання натрію гіпохлориту на кінетику катодного процесу каталітичних покриттів Co ₂ O ₃ , MnO ₂ , RuO ₂	88
3.8 Висновки до розділу	91
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ	93
4.1 Опис лабораторної установки для проведення електрохімічного синтезу натрію гіпохлориту	93
4.2 Обґрунтування технологічних показників для проведення електрохімічного синтезу натрію гіпохлориту	96
4.3 Балансовий електрохімічний синтез гіпохлориту натрію	98
4.4 Висновки до розділу	100
ВИСНОВКИ.....	102
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ТА ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ .	104
ДОДАТКИ.....	124