

rozwoju nekantserogennych efektow dla zdrow'ya naseleniya g. Tomsk ot zagryazneniya atmosfery // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. № 2].

17. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска; под ред. А. П. Щербо. СПб. : МАПО, 2002. 370 с. [Okruzhayushchaya sreda i zdrav'e: podkhody k otsenke riska; pod red. A. P. Shcherbo. SPb. : MAPO, 2002. 370 s].

18. Трифонова Т. А., Ширкин Л. А. Оценка и сравнительный анализ рисков для здоровья населения (на примере г. Владимир). Владимир: ВООО ВОИ ПУ "Рост", 2010. 80 с. [Trifonova T. A., Shirkin L. A. Otsenka i sravnitel'nyy analiz riskov dlya zdrav'ya naseleniya (na primere g. Vladimir). Vladimir: VOOO VOI PU "Rost", 2010. 80 s].

19. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 184 від 13.04.2007 р. Про затвердження методичних рекомендацій "Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря".

URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0184282-07#Text>. [Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy # 184 vid 13.04.2007 r. Pro zatverdzhennia metodichnykh rekomendatsii "Otsinka ryzyku dlia zdorovia naselennia vid zabrudnennia atmosfernoho povitria"].

20. Руководство Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при

воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду; утв. гл. гос. санитарным врачом РФ Г. Г. Онищенко від 05.03.2004. [Rukovodstvo R 2.1.10.1920-04 Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdrav'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu; utv. gl. gos. sanitarnym vrachom RF G. G. Onishchenko vid 05.03.2004].

21. Онищенко Г. Г., Новиков С. М., Рахманин Ю. А. и др. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду; под ред. Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. М., 2002. 408 с. [Onishchenko G. G., Novikov S. M., Rakhmanin Yu. A. i dr. Osnovy otsenki riska dlya zdrav'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu; pod red. Yu. A. Rakhmanina, G. G. Onishchenko. M., 2002. 408 s].

22. Кофанова Е. В., Борисов А. А., Евтеева Л. И. Рассеивание вредных веществ в придорожном воздушном пространстве вблизи водных объектов г. Киева // Горная механика и машиностроение. 2018. № 2. С. 31–38. [Kofanova E. V., Borisov A. A., Evteeva L. I. Rasseivanie vrednykh veshchestv v pridorozhnom vozdushnom prostranstve vblizi vodnykh ob"ektov g. Kiev // Gornaya mekhanika i mashinostroenie. 2018. № 2. S. 31–38].

УДК 621.35

Rutkovska K.S.

PhD student,

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

Tulskyi H.H.

doctor of technical sciences, professor, head of the department of technical electrochemistry,

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

Bairachniy V.B.

PhD, associate professor of chemical engineering and industrial ecology,

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

Homozov V.P.

PhD, associate professor of the department technical electrochemistry,

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

TITLE SELECTION OF THE CATALYTIC COATING OF A GAS DIFFUSION CATHODE FOR ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF NACLO

Рутковская Екатерина Сергеевна

аспирант,

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Тульский Геннадий Георгиевич

доктор технических наук, профессор, зав. каф. технической электрохимии,

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Байрачный Владимир Борисович

кандидат технических наук, доцент кафедры химической техники и промышленной экологии

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Гомозов Валерий Павлович

кандидат технических наук, доцент кафедры технической электрохимии,

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ВЫБОР КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ГАЗОДИФфуЗИОННОГО КАТОДА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА NaClO

Summary. To increase the concentration of aqueous solutions of sodium hypochlorite obtained by the diaphragmless electrolysis of sodium chloride solutions, a gas diffusion cathode with a catalytically active coating was developed. The following materials were studied as a catalytically active coating material: manganese oxides, cobalt oxides, ruthenium oxides. A study of the kinetics of combined cathodic processes in the electrochemical synthesis of sodium hypochlorite showed that metal oxide coatings inhibit the process of cathodic reduction of hypochlorite ion. Catalytic activity increases in the series $MnO_2 > Co_2O_3 > RuO_2$. The intensification of the process of molecular oxygen reduction in an aqueous NaCl solution is achieved through the use of a gas diffusion cathode. The study of the influence of the gas diffusion regime on the kinetics of cathodic processes made it possible to substantiate the ranges of potentials and current densities in the electrochemical synthesis of NaClO. Due to the use of the developed gas diffusion cathode, it was possible to achieve a concentration of NaClO of 28...30 g/dm³ with diaphragm-free electrolysis of sodium chloride solutions.

Аннотация. Для увеличения концентрации водных растворов гипохлорита натрия, полученного при бездиафрагменном электролизе растворов хлорида натрия, разработан газодиффузионный катод с каталитически активным покрытием. В качестве материала каталитически активного покрытия были исследованы: оксиды марганца, оксиды кобальта, оксиды рутения. Исследование кинетики совмещенных катодных процессов в электрохимическом синтезе гипохлорита натрия показало, что оксиднометаллические покрытия тормозят процесс катодного восстановления гипохлорит-иона. Каталитическая активность возрастает в ряду $MnO_2 > Co_2O_3 > RuO_2$. Интенсификация процесса восстановления молекулярного кислорода в водном растворе NaCl достигается за счет применения газодиффузионного катода. Исследование влияния газодиффузионного режима на кинетику катодных процессов позволило обосновать диапазоны потенциалов и плотностей тока в электрохимическом синтезе NaClO. За счет использования разработанного газодиффузионного катода удалось достигнуть концентрации NaClO более 30 г/дм³ при бездиафрагменном электролизе растворов хлорида натрия.

Key words: oxygen reduction, gas diffusion electrode, electrosynthesis, cathode depolarization, sodium hypochlorite, current-voltage dependence

Ключевые слова: восстановление кислорода, газодиффузионный электрод, электросинтез, деполяризация катодного процесса, гипохлорит натрия, вольт-амперная зависимость

Введение. В связи с ростом числа заболеваний, связанных с вирусным или бактериальным заражением, большое внимание уделяется производству дезинфицирующего раствора гипохлорита натрия в локальных установках, непосредственно на месте применения таких растворов. Локальные установки электрохимического синтеза гипохлорита натрия работают, в основном, по бездиафрагменной схеме. Максимально возможное содержание гипохлорита натрия, полученного в таких установках, составляет 10...14 г·дм⁻³. Дальнейший рост концентрации гипохлорита натрия лимитируется катодным восстановлением гипохлорит-ионов. Одним из путей усовершенствования существующих методов электрохимического синтеза водных растворов NaClO является разработка электродных материалов, обладающих высокой электрокаталитической активностью и стабильностью [1–4].

Так же, важной задачей являются снижение удельного расхода электроэнергии, повышение селективности электродных процессов, стабильность показателей электролиза. Наиболее перспективным способом интенсификации электрохимического синтеза водных растворов NaClO является использование деполяризации катодного процесса. А именно – применение кислородной (воздушной) деполяризации при использовании пористых газодиффузионных электродов [2–5]. Таким образом, появляется

возможность синтезировать водные растворы гипохлорита натрия с более высокими концентрациями. А снижение потенциала катода приведет к снижению напряжения электролиза в целом.

Поэтому использование газодиффузионного катода при бездиафрагменном электролизе водного раствора NaCl является перспективным направлением совершенствования бездиафрагменного синтеза гипохлорита натрия [3].

Постановка задачи. Для установления возможности применения газодиффузионного катода в электрохимическом синтезе водных растворов гипохлоритов необходимо обосновать состав газодиффузионного катода, исследовать влияние газодиффузионного режима на кинетику катодных процессов, определить диапазоны потенциалов и плотности тока протекания совмещенных катодных реакций.

Для интенсификации электрохимического синтеза водных растворов гипохлоритов необходимо подобрать и определить оптимальный состав активных покрытий газодиффузионных электродов, обеспечивающих максимальное снижение потенциала электрода, его высокую электропроводность и износостойкость. В качестве перспективных каталитических покрытий газодиффузионного электрода были выбраны: оксиды марганца, оксиды кобальта, оксиды рутения [5–9].

Методика. Для исследования кинетики электродных процессов использовали графитовый газодиффузионный электрод. В качестве пористого токоподвода для проведения исследований использовали пористый графит ПГ-50 с закрепленной с фронтальной стороны сеткой полотняного плетения из 08X18H10T. Графит ПГ-50 обладает высокой химической стойкостью в широком диапазоне концентраций, пористость составляет 50 %, что позволяет использовать его в качестве основы газодиффузионного электрода. Катодный процесс протекал в гетерофазной среде на поверхности сетки полотняного плетения из 08X18H10T. Поверхность сетки активировалась каталитическими в кислородной реакции материалами: оксиды марганца, оксиды кобальта, оксиды рутения. Нанесение оксидных материалов осуществляли термическим разложением соответствующих пассивных растворов.

Подача кислорода была организована от воздушного компрессора с тыльной стороны

графитового электрода с возможностью управления подаваемого объема воздуха.

Нанесение каталитически активного слоя оксидометаллических покрытий осуществлялось методом термического разложения пассивных растворов. Для улучшения адгезии композиционного покрытия стальную основу подвергали электрохимическому обезжириванию в растворе (г·дм⁻³): NaOH – 30, Na₃PO₄ – 30, Na₂CO₃ – 30. Плотность тока 5 А·дм⁻², температура 303 К, время обработки 3 минуты. Травление оксидных пленок с поверхности стальных образцов проводили химически в растворе (г·дм⁻³): HNO₃ – 100, KF – 50. Время обработки 15 минут [2].

На сухую подготовленную поверхность образца, с помощью кисти, наносился пассивный раствор так, чтобы количество пассивного раствора не приводило к образованию капель и наплывов. Составы растворов представлены в таблице.

Таблица 1

Состав растворов для нанесения активного оксидометаллического покрытия

Покрытие	Компоненты раствора	Содержание компонентов, (г·дм ⁻³)
RuO ₂	Ru(OH)Cl ₃	150
	HCl	36
	C ₃ H ₈ O	3
MnO ₂	Mn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	300
	C ₃ H ₈ O	3
Co ₂ O ₃	Co(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	300

После нанесения пассивного раствора образцы помещались в сушильный шкаф и сушились до полного удаления влаги при температуре 313...323 К. Затем, образцы помещались в муфельную печь и подвергались термической обработке при температуре 593...673 К.

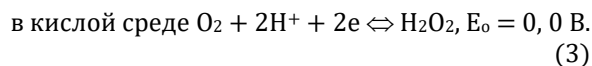
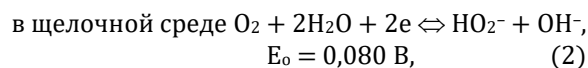
Предварительная сушка пассивного раствора позволяет избежать растрескивания покрытия при нагревании образца в муфельной печи выше температуры вскипания пассивного раствора. После охлаждения цикл обработки повторяли 3 раза.

Вольт-амперные зависимости получали с помощью импульсного потенциостата MTech PGP-550M. Скорость развертки потенциала от 10 до 100 мВ/с. Катод – газодиффузионный, анод – платиновый. Электрод сравнения – хлорсеребряный. Все значения потенциалов пересчитаны относительно водородного электрода.

Результаты. В водных растворах гипохлоритов, до достижения потенциалов водородной реакции, реализуется восстановление молекулярного кислорода по следующим реакциям [4–5]:

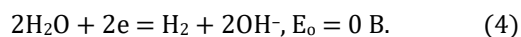


или через промежуточное образование пероксида водорода:



Исследования методом меченых атомов [4–5] показали, что механизмы (2) и (3) являются энергетически более предпочтительными. Реализация механизма (1) невозможна из-за необходимости одновременного переноса четырех электронов за один электрохимический акт.

Выделение водорода на катоде описывается следующей реакцией:



При анализе полученных циклических вольт-амперных зависимостей необходимо учитывать значение равновесных потенциалов каждого из приведенных процессов для определения диапазонов потенциалов и плотностей тока протекания данных процессов.

Исследование восстановления кислорода на сетке полотняного плетения из 08X18H10T позволили определить диапазоны потенциалов и плотностей тока, на которых протекают: только восстановление кислорода, восстановление кислорода и выделение водорода, и преимущественное выделение водорода. На первых двух диапазонах катодные процессы протекают с

низкой скоростью. Так, для диапазона восстановления кислорода плотность тока достигает 3 mA/cm^2 . На участке совмещенного восстановления кислорода и выделения водорода плотность тока достигает 8 mA/cm^2 [3]. Такие незначительные значения плотности тока требуют поиска новых материалов, которые позволят повысить скорость катодного процесса. Поэтому, для интенсификации электрохимического восстановления молекулярного кислорода были

подобраны электродные материалы с низким перенапряжением кислородной и, одновременно, с высоким перенапряжением водородной реакции, а именно: оксиды марганца, оксиды кобальта, оксиды рутения.

Результаты обработки вольт-амперных циклических зависимостей на нанесенных оксидно-металлических покрытиях катодов в $3 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaCl}$ без подачи воздуха и с подачей воздуха представлены в табл. 2–4.

Таблица 2

Вольт-амперные зависимости в $3 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaCl}$ без подачи воздуха и с подачей воздуха при скорости развертки – 100 мВ/с

E, В	j , mA/cm^2							
	Сетка из 08X18H10T		Оксиды марганца		Оксиды кобальта		Оксиды рутения	
	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.
0	0,25	0,07	2,45	2,29	1,67	0,99	1,41	0,97
–0,1	0,52	0,29	4,57	4,31	3,22	3,33	2,29	1,96
–0,3	1,41	0,92	8,53	8,43	6,47	7,08	4,11	3,93
–0,5	2,71	2,85	12,81	13,27	10,35	11,39	6,15	6,03
–1	5,76	6,51	24,98	26,82	22,33	24,21	14,07	13,91

Исходя изданных табл. 2, для всех исследуемых материалов наблюдаются определенные участки восстановления кислорода и совместного восстановления кислорода и выделения водорода. Первый участок восстановления кислорода наблюдается до равновесных потенциалов водородной реакции (приблизительно $-0,42$). Скорость восстановления кислорода небольшая и составляет $3 \dots 5 \text{ mA/cm}^2$. На втором участке (при потенциалах более отрицательных, чем равновесный водородной реакции) наблюдается значительный рост скорости катодной реакции за счет выделения водорода. Кислород, при этом, восстанавливается на предельной плотности тока. На третьем участке (более $-1,5 \text{ В}$) скорость катодного процесса

практически полностью определяется скоростью выделения водорода.

В случае реализации газодиффузионного режима ход зависимостей значительно не изменился. Отсутствие значительного влияния объясняется большой скоростью развертки потенциала (100 мВ/с), при которой электролит не успевал обеднеть по растворенному кислороду. Для определения влияния концентрации кислорода, растворенного в электролите, были получены вольт-амперные зависимости со скоростью развертки потенциала 10 мВ/с . Вольт-амперные зависимости катодного процесса на полученных оксидометаллических покрытиях представлены в табл. 3.

Таблица 3

Вольт-амперные зависимости в $3 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaCl}$ без подачи воздуха и с подачей воздуха при скорости развертки – 10 мВ/с

E, В	j , mA/cm^2							
	Сетка из 08X18H10T		Оксиды марганца		Оксиды кобальта		Оксиды рутения	
	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.
0	0,27	0,19	0,94	0,31	0,46	0,07	0,58	0,44
–0,1	0,59	0,53	1,85	1,21	0,99	0,87	0,91	0,88
–0,3	1,51	1,55	3,46	3,08	2,29	2,32	1,73	1,93
–0,5	2,71	2,88	5,11	5,05	4,03	4,16	2,75	3,14
–1	6,39	7,12	10,35	10,44	9,65	10,09	5,98	6,77

В условиях обеднения электролита растворенным кислородом значение плотности тока в исследуемом диапазоне потенциалов значительно изменились (табл. 3). Реализация газодиффузионного режима работы пористого катода повлияла лишь на третью участок вольт-амперной зависимости – преимущественное выделение водорода. Катодный ток на этом участке был значительно снижен. Рассчитанные парциальные вольт-амперные зависимости показали, что выход по току водорода на этом

участке значительно уменьшается, а восстановление кислорода, соответственно, растет.

Следующей стадией исследований стало определение влияния на скорость совмещенных реакций катодного процесса при добавлении в хлоридный раствор гипохлорита натрия в количестве $0,08 \text{ моль/дм}^3$ (табл. 4).

Добавление гипохлорит-иона практически не влияет на плотность тока на первом и втором участках вольт-амперных зависимостей. Наблюдается снижение катодной плотности тока при потенциалах, более негативных от

равновесного потенциала водородной реакции. Это указывает на определенное торможение процесса выделения водорода.

Таблица 4

Вольт-амперные зависимости в 0,08 моль/дм³ NaClO без подачи воздуха и с подачей воздуха. Скорость развертки – 10 мВ/с

E, В	j, мА/см ²							
	Сетка из 08X18H10T		Оксиды марганца		Оксиды кобальта		Оксиды рутения	
	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.
0	0,41	0,44	1,52	1,13	1,52	2,01	0,62	0,67
-0,1	0,55	0,60	2,34	1,76	2,42	3,45	0,90	0,93
-0,3	0,94	1,07	4,46	3,26	4,56	5,91	1,80	1,56
-0,5	1,71	1,85	6,57	4,85	7,01	7,98	3,39	2,54
-1	5,39	4,80	13,49	10,57	14,21	14,62	8,94	6,19

На третьем участке плотность тока тоже уменьшается (табл. 4). Это значит, что гипохлорит-ионы в количестве 0,08 моль/дм³ не принимают участие в катодном восстановлении. При использовании плоских электродов в этих диапазонах потенциалов уже происходит катодное восстановление гипохлорит-ионов с ВТ 10...15 %.

Это указывает на положительный результат применения газодиффузионного режима работы катода в электрохимическом синтезе гипохлорита натрия.

Влияние подачи воздуха в газодиффузионный катод наблюдается при сравнении обратного хода циклических вольтамперных зависимостей табл. 5.

Таблица 5

Обратный ход вольт-амперных зависимостей в 3 моль/дм³ NaCl при j=0 мА/см²

Скорость развертки	Сетка из 08X18H10T		Оксиды марганца		Оксиды кобальта		Оксиды рутения	
	Без возд.	Возд.	Без возд.	Возд.	Без возд.	Возд.	Без возд.	Возд.
10	-0,74	-0,58	-0,58	-0,42	-0,75	-0,68	-0,75	-0,48
100	-0,94	-0,94	-0,55	-0,53	-0,74	-0,73	-0,82	-0,69

На поверхности стальной сетки наблюдается рост тока обратного хода в диапазоне потенциалов -1,0 до 0 В (табл. 5). Что указывает на увеличение адсорбированных частиц, участвующих в катодном процессе. Как было показано ранее, этот диапазон потенциалов соответствует 1-й и 2-й участкам полученных зависимостей (табл. 2–4), на которых происходят преимущественное восстановления кислорода. Поэтому, рост тока обратного хода, при потенциалах позитивнее -1,0 В, можно объяснить влиянием адсорбции кислорода на поверхности газопроницаемых сетчатых стальных катодов при подаче воздуха. Для катодов с покрытием оксидами металлов эффект от подачи воздуха наиболее проявлен на Co₂O₃, MnO₂. На RuO₂ подача воздуха не привела к увеличению тока обратного хода.

Анализ обратного хода вольт-амперных зависимостей указывает на снижение адсорбции водорода при потенциалах обратного хода до -1 В, что указывает на увеличение выхода по току совмещенной реакции восстановления кислорода.

Таким образом, все три оксидометаллических покрытия показали возможность увеличения плотности тока на всех исследовательских участках вольт-амперной зависимости при работе газодиффузионного катода. В порядке возрастания катодной плотности тока их можно расположить в следующий ряд: оксиды рутения, оксиды кобальта, оксиды марганца.

Полученные циклические зависимости позволили определить диапазоны потенциалов и плотностей токов для различных режимов работы

газодиффузионного электрода. Результаты указывают на расширение диапазона потенциалов, в котором восстановления кислорода протекает с высоким выходом по току.

Проведенные вольт-амперные исследования позволили установить технологические показатели электрохимического синтеза водного раствора NaClO, полученного бездиафрагменным электролизом водного раствора 3 моль/дм³ NaCl с деполаризацией катодного процесса кислородом воздуха. Так, при j = 0,2 А/см², Т = 290 К был синтезирован водный раствор NaClO с концентрацией более 30 г/дм³. Полученная концентрация гипохлорита натрия представляет коммерческий интерес и может быть реализована в локальных установках синтеза водных растворов NaClO.

Выводы. Исследование кинетики совмещенных катодных процессов на газодиффузионном электроде в водном растворе 3 моль/дм³ NaCl позволило установить диапазоны электродного потенциала, плотность тока протекания реакции восстановления кислорода, совмещенного восстановления кислорода и преимущественно выделения водорода.

Обоснованно состав активных покрытий газодиффузионных электродов, обеспечивающих максимальное снижение потенциала электрода, его высокую электропроводность и износостойкость. По показателям тока обмена катодного процесса в 3 моль/дм³ NaCl каталитически активные покрытия расположились в следующий ряд

$\text{MnO}_2 > \text{Co}_2\text{O}_3 > \text{RuO}_2$. Для сетчатых катодов с покрытием оксидами металлов эффект от подачи воздуха наиболее проявленный на Co_2O_3 , MnO_2 . На RuO_2 подача воздуха не привела к увеличению тока обратного хода. В растворе гипохлорита натрия наибольший предельный ток в реакции восстановления кислорода выявлен на оксидах кобальта. Это указывает, что наибольшую каталитическую активность имеют сетчатые электроды с каталитически активным покрытием Co_2O_3 .

Рекомендованной плотностью тока, для исследуемой конструкции газодиффузионного катода составляет 15 mA/cm^2 при температуре 291...293 К. Катодное восстановление гипохлорит-ионов, при этих условиях, снижается на 55...60 %.

Список использованной литературы

1. Kim H.J. Effects of a low concentration hypochlorous acid nasal irrigation solution on bacteria, fungi, and virus / H.J. Kim, J.G. Lee, J.W. Kang, H.J. Cho // *Laryngoscope*. – 2008. – Vol.118. – P. 1862–1867.
2. Гиренко Д. В. Синтез низкоконтрированных растворов гипохлорита натрия в электролизерах без разделения межэлектродного пространства / Д. В. Гиренко, А. Б. Величенко // *Вопр. химии и хим. технологии*. – 2018. – № 4. С 82–91.
3. Гиренко Д.В. Электролиз низкоконтрированных растворов хлорида натрия в электролизере с неразделенным электродным пространством. Влияние концентрации NaCl / Д.В. Гиренко, А.А. Пилецкая, А.Б. Величенко // *Вопр. химии и хим. технологии*. – 2013. – № 3. – С. 199–204.
4. Тарасевич М.Р. Неплатиновые катодные катализаторы для топливных элементов со щелочным электролитом (обзор) / М.Р.Тарасевич, Е.С. Давыдова // *Электрохимия*. – 2016. – Том 52, №3. – С. 1–30. DOI: 10.7868/S0424857016030117.
5. Тарасевич М.Р. Оптимизация газодиффузионного катода для щелочного электролита / М.Р. Тарасевич, Б.В. Клейменов, П.В. Мазин, Л.Н. Кузнецова // *Электрохимическая энергетика*. – 2008. – Т. 8, № 3. – С.174–179.
6. Тульская А.Г. Композиционные газодиффузионные аноды для реализации сульфатнокислотного способа получения водорода / Б.И. Байрачный, А.Г. Тульская, В.Б. Байрачный // *Журнал прикладной химии*. – 2013. – Т. 86. – Вып. 11. – С. 1780–1785.
7. Nefedov V.G. Analysis of the conditions of the formation of gas bubble nuclei in the course of water electrolysis / V.G. Nefedov, A.G. Atapin // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2019, No. 4, pp. 120–126.
8. Нефедов В.Г. Оценка факторов, влияющих на аномалии электропроводности тонких слоев жидкости у поверхности воздух-электролит / В.Г. Нефедов, Д.В. Бондарь // *Вопр. химии и хим. технологии*. – 2007. – № 4. – С 121–126.
9. Штефан В.В. Вольтамперометрія осадження сплаву CO-MO / В.В. Штефан, А.С. Єпіфанова, О.В. Кобзєв, М.М. Метеньканич // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»* Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 39 (1315). – С. 80–83. doi: 10.20998/2079-0821.2018.39.16.