

Букет О.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бутенко О.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ІНДУКТИВНА СКЛАДОВА ІМПЕДАНСУ ЯК МАРКЕР ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ КОРОЗІЇ СТАЛЕВИХ АНОДІВ В МІНЕРАЛЬНІЙ ОЛИВІ

У статті розглянуто виникнення індуктивного зміщення кута фази електрохімічного імпедансу сталі в мінеральній оливі до -15° , що вказує на електрохімічний механізм гетерогенних реакцій при частотах нижче 1 кГц, що призводить до придатності цієї системи як анода амперометричного датчика кисню при температурах вище 50 $^\circ\text{C}$.

Проблематика: Існує проблема інтерпретації ролі індуктивної складової в спектрі електрохімічного імпедансу. Відомо лише, що це пов'язано з рухом іонів в приелектродному шарі електроліту.

Методом є демонстрація можливості застосування амплітудно-фазово-частотних діаграм Боде, а саме виявлення в них індуктивної складової, для експрес-аналізу системи «метал-рідка фаза» на предмет придатності їх для створення електрохімічних сенсорів.

Поляризація синусоїдальною напругою з подальшим аналізом спектрів електрохімічного імпедансу успішно застосовується для дослідження слабоелектропровідних середовищ, оскільки її простіше реалізувати, ніж метод поляризаційних кривих, а результати отримують на порядки швидше, ніж у випадку гравіметрії. Проблема становить лише інтерпретація одержаних даних. У роботі розкрито роль індуктивної складової імпедансу як маркера наявності електрохімічного механізму електродних процесів у системі «сталь-неводне середовище», також доведено наявність електрохімічної корозії сталі в мінеральній оливі й показано, що її роль росте з підвищенням температури відповідно росту впливу індуктивного зміщення зсуву кута фази електрохімічного імпедансу.

Методологія. В роботі використано метод спектроскопія електрохімічного імпедансу з аналізом отриманих даних переважно у вигляді фазочастотної складової діаграми Боде.

Оригінальність. Новизна роботи полягає в пропозиції використовувати виявлене індуктивне зміщення фазового кута імпедансу як маркер наявності електрохімічного механізму перебігу реакцій в неводних розчинах. Практична цінність. Використання діаграм Боде істотно спрощує і скорочує тривалість детектування електрохімічного механізму на декілька порядків і відкриває нові вектори досліджень можливості перебігу електрохімічних процесів і підбору в тому числі електродних матеріалів.

Ключові слова: електрохімічна корозія, електрохімічний імпеданс, діаграма Боде, індуктивне зміщення кута фази, амперометричний сенсор.

Постановка проблеми. Існує проблема інтерпретації ролі індуктивної складової в спектрі електрохімічного імпедансу. Відомо лише, що це пов'язано з рухом іонів в приелектродному шарі електроліту.

Мета. Методом є демонстрація можливості застосування амплітудно-фазово-частотних діаграм Боде, а саме виявлення в них індуктивної складової, для експрес-аналізу системи «метал-рідка фаза» на предмет придатності їх для створення електрохімічних сенсорів.

Поляризація синусоїдальною напругою з подальшим аналізом спектрів електрохіміч-

ного імпедансу успішно застосовується для дослідження слабоелектропровідних середовищ, оскільки її простіше реалізувати, ніж метод поляризаційних кривих, а результати отримують на порядки швидше, ніж у випадку гравіметрії. Проблема становить лише інтерпретація одержаних даних. У роботі розкрито роль індуктивної складової імпедансу як маркера наявності електрохімічного механізму електродних процесів у системі «сталь-неводне середовище», доведено наявність електрохімічної корозії сталі в мінеральній оливі й показано, що її роль росте з підвищенням температури відповідно росту впливу індуктивного

зміщення зсуву кута фази електрохімічного імпедансу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Неводні розчини набувають все більшого поширення в хімічній технології [1]. Одним з їх недоліків з точки зору технічної електрохімії є принципово нижча електропровідність [2] порівняно з водними розчинами, наслідком чого є пропорційне сповільнення електрохімічних реакцій. Відповідно, дослідження корозійних або інших анодних процесів, наприклад, в мінеральних оливах ускладнюється на стільки, що пряме визначення електрохімічної складової традиційними методами поляризаційних кривих або гравіметрією унеможливорюється або суттєво ускладнюється. Тому важливим є відпрацювання застосування більш сучасних методів досліджень, як вимірювання спектрів імпедансу. Імпедасметрію слабоелектропровідних середовищ організувати й провести незрівнянно простіше [3], ніж метод поляризаційних кривих, а результати будуть одержані на багато порядків швидше ніж у випадку гравіметрії. При цьому, відкритою лишається проблема інтерпретації одержаних результатів [4, 5], варіант вирішення якої подано у даній роботі.

Показано спробу застосувати поляризацію синусоїдальною напругою з подальшим аналізом спектрів електрохімічного імпедансу на предмет потенційної придатності системи «сталь-мінеральна олива» для застосування як витратного анода малопотужної електрохімічної системи сенсора кисню. Такий сенсор буде мати свою, ще незайняту, ринкову нішу експлуатації за температур від 50 до 250 °С, як раз між областями застосування сенсорів на основі водних розчинів (до 50 °С [6-8]) і сенсорів на основі високотемпературних твердих електролітів (вище 300 °С [9-11]).

Постановка завдання. Метою є демонстрація можливості застосування амплітудно-частотних діаграм Бode, а саме виявлення в них індуктивної складової, для експрес-аналізу систем «метал-рідка фаза» на предмет придатності їх для створення електрохімічних сенсорів.

Досягнення поставленої мети реалізується зняттям спектру електрохімічного імпедансу найдоступніших електродного матеріалу й неводного рідкого середовища (сталь 08кп і мінеральна олива) за близьких до стандартних і підвищених температур та аналізом одержаних амплітудно-частотних характеристик (діаграм Бode).

Виклад основного матеріалу. Досліди проводили занурюючи два плоских електрода зі сталі 08кп розміром 20×15×0.1 мм у відкритий стакан

з моторною оливою, який термостатували на водяній бані. Електроди розміщені паралельно вздовж більшого розміру на відстані 0.1 мм один від одного. Міжелектродна відстань задана двома фторопластовими розділювачами шириною 1 мм. Електродна пара загалом фіксувалася фторопластовими джгутами. Струмівідводи є продовженням електродів й виготовлені разом з ними з одної цільної смужки сталі задля уникнення проблем з додатковими електродними парами, що можуть виникнути у місцях електричних контактів. Вимірювання проводили імпедансметром VersaSTAT 3 АМЕТЕК за найвищої можливої амплітуди коливань напруги в 1 В для одержання максимально можливого струмового відгуку, з огляду на високий омичний опір досліджуваної системи.

Система двох сталевих електродів розділених масляним фактично ізолятором демонструє очікувано великий активний і реактивний опір (рис. 1). За частот вище 100 кГц відтворюваність модуля комплексного опору є хорошою, що є очевидним для електропровідності плоского конденсатора [12-15]. А от за нижчих частот помітним стає вплив нехарактерної для плоского конденсатора складової зі значними випадковими відхиленнями.

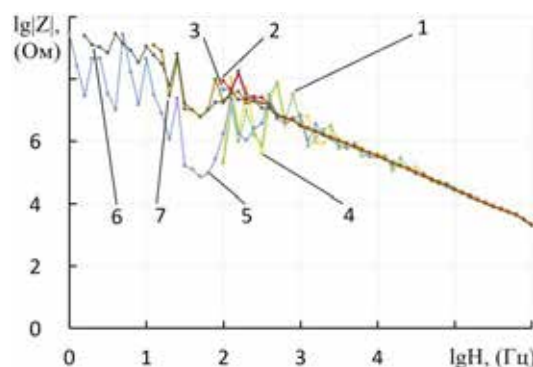


Рис. 1. Діаграма Бode для системи двох електродів із сталі 08кп в моторній оливі свіжій (1-3) і відпрацьованій (4-7) за температури 20 °С. Тривалість від початку занурення електродів в оливу: 1, 4 – через 2...5 хв; 2, 5 – через 10 хв; 3, 6 – через 20 хв; 7 – через 30 хв.

Відомо, що поляризаційний опір електрохімічних реакцій суттєво впливає на загальний опір протікання струму в електрохімічних системах за частот нижче 1...10 кГц [16, 17]. З рис. 1 видно, що у діапазоні 0.03...10 кГц спостерігається зниження модуля комплексного опору явно за рахунок додаткової (окрім реактивного опору конденсатора) складової провідності, яка відтворюється

з помітними випадковими похибками. Однозначно записати цю складову на рахунок електрохімічного механізму без спеціальних пояснень не дозволяє факт зростання загального комплексного опору при подальшому зниженні частоти у діапазоні 1...30 Гц при значних випадкових відхиленнях імпедансу, хоча в електрохімічних системах з водним розчином електроліту в цьому діапазоні частот має спостерігатися практично незмінне з частотою й добре відтворюване значення комплексного опору [15, 18, 19].

Більш-менш корельовані результати при частотах нижче 100 Гц одержані на відпрацьованій оливі (криві 4-7, рис. 1). За цих частот величина випадкових відхилень у свіжій оливі на стільки зростає, що результати неможливо показати на рис. 1 для кривих 1-3, інакше рисунок буде засмічений хаотичними зигзагами до повної його нечитабельності. Принципова відмінність цих двох застосованих рідких фаз у контексті даної роботи полягає в значно вищій концентрації потенційних деполаризаторів (спричиняють утворення іонів) і лігандів (сприяють утворенню іонів) у відпрацьованій оливі порівняно зі свіжою внаслідок тривалих процесів крекінгу й окиснення. З цього можна зробити припущення, що за температури 20 °C збільшення тривалості катодних і анодних півперіодів поляризації сталі, відповідне частотам нижче 1 кГц, супроводжується на стільки значним і необоротним споживанням деполаризаторів та лігандів, що за високої в'язкості середовища їх стає недостатньо для забезпечення певного рівня провідності, необхідної для електрохімічного механізму.

Загалом, причиною просідання імпедансу за частот 30...100 Гц у відпрацьованій оливі можна у першому наближенні назвати електрохімічні реакції, яким потенційно вже вистачає часу півперіодів коливань з частотою нижче 1 кГц для необоротного перебігу. Відповідно, їх необоротність за умови низького вмісту деполаризаторів і лігандів стає причиною їх припинення при подовженні півперіодів коливань з частотою нижче 30 Гц, внаслідок чого електрохімічна складова виключається з процесу проведення струму, а комплексний опір росте й повертається до залежності більш характерної для плоского конденсатора.

Рис. 1 містить також деякі дані хронологічного змісту, а саме чітко видиме зниження величини випадкових відхилень по мірі подовження тривалості витримки електродів в оливі. Так найбільші відхилення у свіжій та відпрацьованій оливі спостерігаються практично одразу після занурення

електродів (відповідно криві 1 і 4 на рис. 1), та зводяться практично нанівель за півгодини витримки в оливі (відповідно криві 3 та 6, 7 на рис. 1). Вірогідною причиною є конкурентна адсорбція компонентів повітряного середовища (сорбувалися до занурення) і компонентів оливи, що зумовлює в подальших дослідженнях враховувати цей фактор.

У контексті дослідження малоелектропровідних середовищ більш чутливими є зміщення кута фази імпедансу. На рис. 2 як раз подано фазово-частотну складову діаграми Бode, з якої краще видно результати конкурентної адсорбції згаданої вище. Очевидно, що стабільні значення близько -90° є однозначним маркером ємнісного ефекту. Тобто, в діапазоні частот від 1 кГц і вище два дослідні електроди в моторній оливі ведуть себе як плоский конденсатор, що є очікуваним і вповні адекватним результатом [15, 16, 20]. За частот нижче 1 кГц, коли тривалість півперіоду поляризації стає достатньою для виходу іонів заліза з металу та їх переміщення на відчутну для електрохімічного механізму відстань, спостерігається різке зростання випадкових відхилень, припущення щодо природи яких вже було зроблене вище. Звертають на себе увагу відхилення кривої 1 на рис. 2, які є помітними навіть при високих частотах, що підтверджує хронологічну тенденцію щодо конкурентної адсорбції та стабілізації стану поверхні електродів з часом. Тобто, результати амплітудно-частотно-фазового аналізу з рис. 1 і рис. 2 вказують на потребу витримувати електроди в маслі перед кожним дослідом близько 30 хв для одержання адекватних результатів.

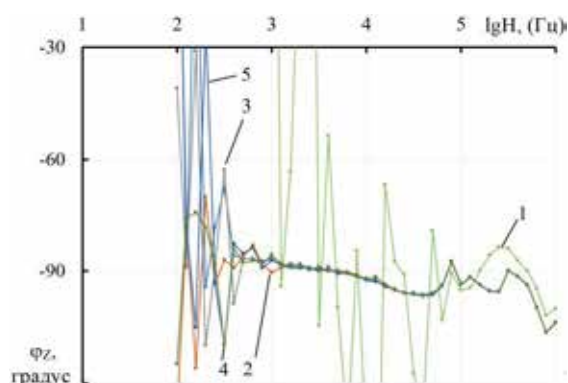


Рис. 2. Вплив тривалості занурення електродів із сталі 08кп у свіжу оливу на фазово-частотну характеристику імпедансу при 20 °C: 1 – через 2...5 хв після занурення; 2 – через 10 хв; 3 – через 15 хв; 4 – через 20 хв; 5 – через 25 хв

Адсорбційні, дифузійні й міграційні процеси очікувано прискорюються з підвищенням темпе-

ратури, що ілюструє рис. 3 для 50 °С: одразу після занурення електродів у свіжу оливу (крива 1, рис. 3) за частот вище 1кГц (в умовах відсутності електрохімічних процесів) результати вимірювань добре відтворюються.

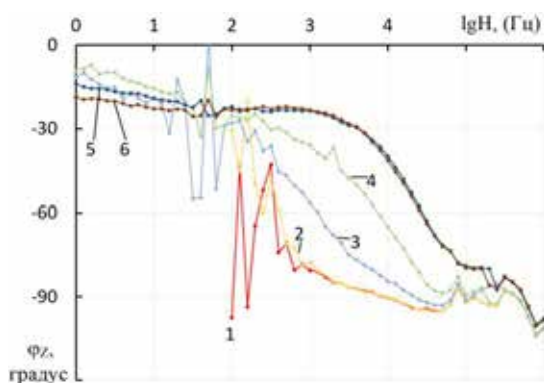


Рис. 3. Вплив індуктивної складової імпедансу системи двох електродів зі сталі 08кп у свіжій моторній оливі при 50 °С на хід фазово-частотних характеристик: 1 – через 2...5 хв після занурення електродів в оливу; 2 – через 10 хв; 3 – через 15 хв; 4 – через 20 хв; 5 – через 25 хв; 6 – через 30 хв.

Тривалість витримки електродів в оливі впливає за цих умов на зміщення кута фази імпедансу, який при зниженні частоти до 10...100 кГц і нижче стає відчутно позитивнішим й сягає стабільних значень близько -15° . Оскільки електротехнічні еквівалентні моделі реальних електрохімічних систем є загальноприйнятими [4, 15], то можна стверджувати, що підвищення температури на 30 °С призвело до підключення індуктивної складової реактивного опору, яка сама по собі змщує кут фази на $+90^\circ$, а за умов взаємодії з ємнісною складовою (її характерний кут зміщення -90° буде прагнути зсунути кут фази до нуля).

Чим довше витримка електродів в оливі, тим ближче криві залежності зміщення кута фази на рис. 3 наближаються до нуля, що каже на зростання ролі індуктивної складової з часом. Оскільки на сьогодні індуктивну складову у даному контексті інтерпретують як результат гальмування руху іонів у рідкій фазі пор електродів [21], то зміщення кута фази імпедансу від ємнісних -90° ближче до нуля зі збільшенням температури, тривалості контакту електродів з оливою та зниженням частоти можна пояснити ростом кількості іонів та довжини шляху їх переміщення, що все разом вказує на збільшення ролі електрохімічного механізму електродних процесів.

Провели порівняння фазово-частотних характеристик імпедансу сталевих електродів у свіжій

та відпрацьованій оливі за температури 50 °С (рис. 4). Цікаво, що стабільшу фазово-частотну характеристику демонструє тільки система на свіжій оливі (крива 1, рис. 4).

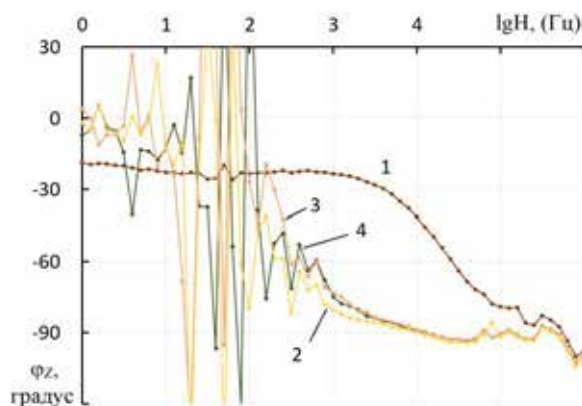


Рис. 4. Порівняння зміщення фази імпедансу електродів зі сталі 08кп у свіжій (1) і відпрацьованій (2-4) оливі за температури 50 °С: 1, 4 – через 35 хв перебування в оливі; 2, 3 – відповідно через 15 і 25 хв.

У відпрацьованій оливі, за умов можливого перебігу електрохімічних реакцій при частотах нижче 1 кГц, спостерігається ріст випадкових відхилень (криві 2-4) при тому, що хронологія зняття цих кривих (від 15 до 35 хв від занурення) та їх хід дозволяють стверджувати цілковиту стабілізацію процесів, пов'язаних з переходом сталевих електродів із повітря в оливу. Зважаючи, що кут фази для відпрацьованої оливи змщується при частоті 1 Гц аж до нуля, можна однозначно стверджувати, що відповідні електродні процеси перебігають за електрохімічним механізмом. Вірогідно деяке збільшення їх швидкості порівняно зі свіжою оливою веде до появи електрохімічних шумів, аналогічних таким, що виникають в електрохімічних системах з водним розчином електролітів внаслідок нестационарних і стохастичних процесів в умовах виникнення й підтримання пасивного стану [22].

Можна дати ще простіше й достовірніше пояснення більшим стохастичним відхиленням на рис. 4 для відпрацьованої оливи порівняно зі свіжою. Зміщення кута фази для першої майже до нуля при аналогічному зміщенні для другої лише до -15° вказує на більшу кількість іонів у відпрацьованій оливі, що очевидно має сприяти більшій швидкості електрохімічних реакцій, яка за умови переміщення іонів на більшу відстань зумовлює ріст тривалості перехідних процесів. Раніше проведені роботи авторів статті показали [23-26], що тривалість перехідних процесів відтворю-

ється суттєво гірше стаціонарних характеристик електрохімічних систем. Враховуючи, що вимірювання імпедансу на певній частоті вимагає проходження певного числа періодів коливань, усереднене виміряне значення кожного разу відповідатиме таким станам приелектродного шару, які не вкладаються в одну монотонну функціональну залежність від часу, що й зумовлює зображені на рис. 4 відхилення.

Висновки. Одержані на парі сталевих електродів у моторній оливі амплітудно-фазово-частотні характеристики Боде показали наявність суттєвої електрохімічної складової електродних процесів, пов'язаних з корозією, що дозволяє сподіватися на перспективу розробки малопотужних електрохімічних систем (як сенсори кисню) з дешевими сталевими електродами у масляному розчині.

Електрохімічний механізм корозії доведено за характерним для індуктивної складової позитивним зміщенням кута фази імпедансу від типових для ємності -90° до компромісного між ємністю й індуктивністю нуля у випадку відпрацьованої оливи, або до -15° – у випадку оливи свіжої.

Перехід від свіжої оливи до відпрацьованої (збільшення концентрації іонів у рідкій фазі), підвищення температури та зниження частоти коливань напруги поляризації (подовження шляху міграції іонів) сприяють росту індуктивної складової, сліди впливу якої проявляються вже за частот нижче 10...100 кГц й стабілізують зміщення кута фази імпедансу ближче до нуля за частот нижче 1 кГц, що відповідає частотам появи поляризаційного опору електрохімічних реакцій як активної складової імпедансу.

Список літератури:

1. Barthel J., Gores Heiner-J., Schmeer G., Wachter R. Non-aqueous electrolyte solutions in chemistry and modern technology Topics in Current Chemistry – Springer, Berlin; Heidelberg, New York: 1983. – V.III – P.33-143.
2. Lyklema J. Principles of interactions in non-aqueous electrolyte solution Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 18. – 2013. – P. 116–128.
3. Macdonald J., Macdonald J.R., Garber J. A. Analysis of Impedance and Admittance Data for Solids and Liquids Journal of The Electrochemical Society. – Vol. 124. – No. 7. – 1977. – P. 1022-1030.
4. Lasia A. Electrochemical Impedance Spectroscopy and Its Applications Modern Aspects of Electrochemistry red.: B. E. Conway, J. Bockris, R.E. White, Edts. Kluwer Academic Plenum Publishers: New York, 1999. Vol. 32. – P. 143-248.
5. Harrington D.A. Electrochemical Impedance Spectroscopy. – Trondheim: NTNU, 2004. 66 p.
6. Cämmerer M., Mayer Th., Penzel St., Rudolph M., Borsdorf H. Application of Low-Cost Electrochemical Sensors to Aqueous Systems to Allow Automated Determination of NH₃ and H₂S in Water Sensors. 2020. – 20. – P. 2814 – 2829.
7. Букет О., Лінючева О., Нагорний О., Лінючов О. Електрохімічний сенсор хлору на основі галогенідного електроліту з медіатором для аварійних викидів Т. 6. – Випуск 6. – 2014. С. 42-47.
8. T.S. Munonde, Ph.N. Nomngongo. Nanocomposites for Electrochemical Sensors and Their Applications on the Detection of Trace Metals in Environmental Water Samples Sensors. 2021. – 21. – P. 131 – 158.
9. Ghosh A., Zhang C., Shi S.Q., Zhang H. High-Temperature Gas Sensors for Harsh Environment Applications CLEAN Soil Air Water. 2019. p 47. -1800491.
10. Gorbova E., Tzorbatozoglou F., Molochas C., Chloros D., Demin A., Tsiakaras P. Fundamentals and Principles of Solid-State Electrochemical Sensors for High Temperature Gas Detection Catalysts. – 2022. – 12. – P. 1-33.
11. Zhuiykov S., Ono T., Yamazoe N., Miura N. High-temperature NO_x sensors using zirconia solid electrolyte and zinc-family oxide sensing electrode Solid State Ionics. 152 – 153. 2002. P. 801 – 807.
12. K. Tamizh Selvi, K. Alamelu Mangai, M. Priya, S. Sagadevan. Investigation of the dielectric and impedance properties of ZnO MgO nanocomposite Physica B: Physics of Condensed Matter. 594. 2020. 412355.
13. Amalendu Chandraa, Biman Bagchi. Frequency dependence of ionic conductivity of electrolyte solutions Chinese Journal of Chemical Physics. – January, 2000. – P. 1876-1888.
14. Sayers B. Impedance Spectroscopy—Theory, Experiment, and Applications chef-edit. E. Barsoukov, J.R. Macdonald (Eds.). – New York, NY: Wiley Inter-science, 2005. – P. 356–357.
15. J. Kang, J. Wen, Sh.H. Jayaram, A. Yu, X. Wang. Development of an equivalent circuit model for electrochemical double layer capacitors (EDLCs) with distinct electrolytes Electrochimica Acta. – 115. – 2014. – P. 587–598.
16. K.R. Cooper, M. Smith. Electrical test methods for on-line fuel cell ohmic resistance measurement Journal of Power Sources. – 160. – 2006. – P. 1088–1095. 17. H.P. Hack, P.J. Moran, J.R. Scully, in: L.L. Scribner, S.R. Taylor (Eds.), The Measurement and Correction of Electrolyte Resistance in Electrochemical Tests-ASTM STP 1056 American Society for Testing and Materials. – Philadelphia, PA. – 1990. – P. 5–26.

18. S. Pruneanu, A. Boughriet, A. Henderson, C. Malins, Z. Ali, L. Olenic. Impedimetric Measurements for Monitoring Avidin-Biotin Interaction on Self-Assembled Monolayer Particulate Science and Technology. – V.26. – Iss. 2. – 2008. – P. 136-144.
19. K. P. Radha, P. Mahalakshmi, S. Chitra. Magnitude Bode Plot Analysis of Solid Polymer Electrolyte PMMA Complexed with Adipic Acid Der Pharma Chemica – 2016. – 8(11). – P. 222-226.
20. G. S. Lakshmi, Rubanenko O., Rubanenko O., Labzun M. Dielectric Properties Analysis of Paper Capacitor AIP Conference Proceedings. – 2269. – 2020. – 030020.
21. K. Ariyoshi, A. Mineshige, M. Takeno, T. Fukutsuka, T. Abe, S. Uchida, Z. Siroma. Electrochemical Impedance Spectroscopy Part 2 Electrochemistry (The Electrochemical Society of Japan). – 90(10). – 102008. – 2022. – p. 1-16.
22. Buket, O.I., Linyucheva, O.V., Bludenko, A.V., Nahornyi, O.V. Influence of corrosion on the effective resistance of Amperometric sensor Materials Science. – Volume 50. – Issue 5. – 2014. – P. 81-86.
23. Букет О.І., Лінючева О.В., Кушмирук А.І. Вплив адсорбції визначуваного компоненту на час перехідних процесів в амперометричних газових сенсорах Наукові вісті НТУУ "КПІ" – 2009, № 3, С. 131-137.
24. Букет О.І., Лінючева О.В., Ващенко О.М., Татарченко Г.О. Вплив поляризації допоміжного електрода на час перехідних процесів в амперометричних газових сенсорах Наукові вісті НТУУ "КПІ" – 2010, № 3. С. 94-99.
25. Букет О.І., Лінючева О.В., Блуденко А.В., Нагорний О.В., Лінючев О.Г. Вплив електроосмотичних явищ на час перехідних процесів у амперометричних газових сенсорах Наукові вісті НТУУ «КПІ» – 2013, № 6(92). – С. 83-88.
26. Букет О.І. Вплив надповільної корозії на тривалість перехідних процесів в амперометричних газових сенсорах Наукові вісті НТУУ "КПІ" – 2015, № 3. – с. 23-26.

Buket O.I., Butenko O.S. INDUCTIVE COMPONENT OF IMPEDANCE AS A MARKER OF ELECTROCHEMICAL CORROSION OF STEEL ANODES IN MINERAL OIL

The article considers the occurrence of an inductive phase angle shift of the electrochemical impedance of steel in mineral oil up to -15° , which indicates the electrochemical mechanism of heterogeneous reactions at frequencies below 1 kHz, which leads to the suitability of this system as an anode of an amperometric oxygen sensor at temperatures above 50°C .

Problem: *There is a problem of interpreting the role of the inductive component in the electrochemical impedance spectrum. It is only known that this is associated with the movement of ions in the near-electrode layer of the electrolyte.*

The method is to demonstrate the possibility of using amplitude-phase-frequency Bode diagrams, namely, the detection of an inductive component in them, for express analysis of the "metal-liquid phase" system for their suitability for creating electrochemical sensors.

Sinusoidal voltage polarization with subsequent analysis of electrochemical impedance spectra is successfully used to study weakly conductive media, since it is easier to implement than the polarization curve method, and the results are obtained orders of magnitude faster than in the case of gravimetry. The only problem is the interpretation of the obtained data. The paper reveals the role of the inductive component of impedance as a marker of the presence of an electrochemical mechanism of electrode processes in the "steel-non-aqueous medium" system, the presence of electrochemical corrosion of steel in mineral oil is also proven and it is shown that its role increases with increasing temperature in accordance with the increase in the influence of the inductive displacement of the phase angle of the electrochemical impedance.

Methodology. *The paper uses the electrochemical impedance spectroscopy method with the analysis of the obtained data mainly in the form of the phase-frequency component of the Bode diagram.*

Originality. *The novelty of the work lies in the proposal to use the detected inductive phase angle shift of the impedance as a marker of the presence of an electrochemical mechanism of the course of reactions in non-aqueous solutions. Practical value. The use of Bode diagrams significantly simplifies and reduces the duration of detecting the electrochemical mechanism by several orders of magnitude and opens up new vectors for research into the possibility of the course of electrochemical processes and the selection of electrode materials, including.*

Key words: *electrochemical corrosion, electrochemical impedance, Bode diagram, inductive phase angle shift, amperometric sensor.*