

УДК 543.55:547.565.2

doi:10.20998/2413-4295.2021.03.10

ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРОХІНОНУ

Г. О. ПЕТРУШИНА^{1*}, Ю. В. БОЙКО¹, А. Б. ВІШНІКІН², Я. Р. БАЗЕЛЬ³, О. П. ЧИГВІНЦЕВА¹¹ кафедра хімії, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, УКРАЇНА² кафедра аналітичної хімії, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, УКРАЇНА³ кафедра аналітичної хімії, Ужгородський національний університет, Ужгород, УКРАЇНА

*e-mail: petrushyna.h.o@dsau.dp.ua

АНОТАЦІЯ Гідрохінон має високу токсичність і тому його вміст повинен ретельно контролюватися. Розробка нових простих у виготовленні електродів з кращими аналітичними характеристиками, що мають невисоку вартість аналізу, є актуальною задачею. Для визначення гідрохінону нами запропонований електрод на основі графіту та композиційного матеріалу, що складається з поліуретану (полімерна матриця), графітового порошку (для підвищення електропровідності матеріалу) та 18-молібдодифосфату як реагенту. До переваг поліуретанів при їх використанні для модифікації електродів можна віднести високу адгезію полімеру до поверхні електроду внаслідок наявності великої кількості полярних груп. Крім того, його специфічні властивості забезпечують високі фізико-механічні властивості полімеру. Молібденовий гетерополіаніон структури Доусона 18-молібдодифосфат-аніон $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ є достатньо сильним окисником – реакція з деякими відновниками відбувається майже миттєво, відновлення протікає без деструкції $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$, що дозволяє використовувати його багаторазово. Взаємодія $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ з різними відновниками відбувається при різних кислотності розчинів. Таким чином, варіювання рН розчину дозволяє визначати декілька речовин у сумісній присутності. Для підвищення електропровідності додавали у композиційний матеріал дрібнодисперсний графітовий порошок. З оптимальним значенням опору є зразки із вмістом графітового порошку від 50% до 70%. $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ додавали у кількості 20 % до загальної маси композиційного матеріалу. Синтезованим полімерним композиційним матеріалом з поліуретану та $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ модифікували графітовий електрод. Визначені основні електрохімічні характеристики запропонованого електрода. Відновлення $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ гідрохіноном відбувається у нейтральному середовищі (рН 6). Час відгуку при різних концентраціях становить 8 хв (при температурі 19°C). У даного електрода відсутній «ефект пам'яті», відносна похибка становить від 1,3 до 1,9 %, а відхилення потенціалу – у межах 3-5 мВ. Межа визначення становить $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Вплив присутніх речовин оцінювали за допомогою константи селективності. Запропонований електрод має високу селективність по відношенню до великого числа неорганічних іонів. Для регенерації електрода його необхідно витримати у розчині 3%-вого гідроген пероксиду протягом 10 хвилин.

Ключові слова: гетерополікомплекс структури Доусона; 18-молібдодифосфат; гідрохінон; потенціометричний сенсор; полімерний композиційний матеріал; поліуретан

A POTENTIOMETRIC SENSOR FOR DETERMINATION OF HYDROCHINONE

H. PETRUSHYNA¹, YU. BOIKO¹, A. VISHNIKIN², YA. BAZEL³, O. CHIGVINTSEVA¹¹ Department of Chemistry, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, UKRAINE² Department of Analytical Chemistry, Oles Gonchar Dnipro National University, Dnipro, UKRAINE³ Department of Analytical Chemistry, Uzhhorod National University, Uzhhorod, UKRAINE

ABSTRACT Hydroquinone has a high toxicity and therefore its content must be carefully monitored. The development of new easy-to-manufacture electrodes with the best analytical characteristics, which have a low cost of analysis, is an urgent task. An electrode based on graphite and a composite material consisting of polyurethane (as polymer matrix), graphite powder (to increase the electrical conductivity of the material) and 18-molybdodiphosphate (as a reagent) for hydroquinone determination was proposed. The advantages of polyurethanes for the electrodes modification include high adhesion of the polymer to the electrode surface due to the presence of a large number of polar groups. In addition, its specific properties provide high physical and mechanical properties of the polymer. The molybdenum heteropoly anion of the Wales-Dawson type 18-molybdodiphosphate anion $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ is a strong enough oxidant. The reaction between it and the some reducing agents is almost instantaneous, the recovery proceeds without destruction of $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$, which allows its repeated use. Interaction of $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ with different reducing agents occurs at different acidity of solutions. Thus, varying the pH of the solution allows determining of several substances in a compatible presence. Fine graphite powder in quantity from 50% to 70% was added in composite material to increase the electrical conductivity. $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ was added in an amount of 20% to the total weight of the composite material. The graphite electrode was modified with the synthesized polymer composite material. The main electrochemical characteristics of the proposed electrode are determined. Reduction of $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ with hydroquinone is proceeds in a neutral medium (pH 6). The response time at different concentrations of the hydroquinone is 8 min (at a temperature of 19 °C). This electrode does not have a "memory effect", the relative error is from 1.3 to 1.9%, and the potential deviation is in the range of 3-5 mV. The limit of determination is $2 \cdot 10^{-5}$ mol/l. The effect of the present substances was evaluated using a constant of selectivity. The proposed electrode has a high selectivity for a large number of inorganic ions. The electrode must be soaked in a solution of 3% hydrogen peroxide for 10 minutes to regeneration.

Keywords: Wales-Dawson type heteropoly complex; 18-molybdodiphosphate; hydroquinone; potentiometric sensor; polymer composite material; polyurethane.

Вступ

Унаслідок індустріалізації значні викиди різних забруднювачів з промислових відходів поступають у

навколишнє середовище, зокрема у поверхневій воді. Похідні фенолу характеризуються більш високим вмістом у навколишньому середовищі в порівнянні з іншими найбільш поширеними класами органічних

забруднювачів. Це пов'язано з тим, що ці сполуки застосовуються практично у всіх галузях промисловості: у виробництві лаків і фарб, синтетичних смол, пластифікаторів, поверхнево-активних і дубильних речовин, отрутохімікатів, стабілізаторів, антисептиків та ін. [1] Фенольні сполуки також є перспективними речовинами для отримання біологічно активних препаратів і лікарських засобів [2]. Гідрохінон має яскраво виражені антиоксидантні властивості, що пов'язані з наявністю в його структурі рухомих атомів Гідрогену в гідроксильних групах, які легко віддають його при взаємодії з вільними радикалами [3,4]. Внаслідок цього гідрохінон використовується як антиоксидант у харчовій промисловості, а також як компонент у деяких косметичних засобах.

Гідрохінон має високу токсичність і тому його вміст в об'єктах довкілля повинен ретельно контролюватися [5]. Нині різні методи аналізу, такі як флуоресцентний аналіз [6], спектрофотометрія [7], високоефективна рідинна хроматографія [8,9] і хроматографія-мас-спектрометрія [10], були успішно використані для виявлення гідрохінону, проте ці методи складні, трудомісткі і потребують коштовного обладнання. З іншого боку, відомо, що гідрохінон є електроактивною речовиною, тому для його визначення були запропоновані різні електрохімічні методики аналізу [11–13]. Однак для реалізації високочутливого, селективного і відтворюваного визначення гідрохінону завжди потрібна розробка і синтез нових електрохімічних інтерфейсів [14,15]. В електрохімічному аналізі інтерес викликає визначення органічних речовин на модифікованих електродах на основі вуглецю [16–19], оскільки такі електроди мають покращені аналітичні характеристики. Проте більшість з них, як правило, мають високу вартість, складний процес виготовлення та не завжди мають довгий строк служби, що значно погіршує їх практичне застосування у промисловості та виробництві. Отже, розробка нових простих у виготовленні електродів з кращими аналітичними характеристиками, що мають невисоку вартість аналізу, є актуальною задачею [20].

У сучасному електронному приладобудуванні пріоритетним є створення міцних покриттів, що забезпечують стабільність роботи електронних пристроїв при їх тривалій експлуатації. Полімери, що використовуються у створенні електродів повинні бути хімічно інертними по відношенню до реагенту та визначуваних речовин, мати високу електропровідність та достатню стабільність. Серед полімерів інтерес представляють і поліуретани (ПУ) [21–23], до переваг яких, при їх використанні, для модифікації електродів можна віднести високу адгезію полімеру до поверхні електроду внаслідок наявності великої кількості полярних груп. Крім того, специфічні властивості ПУ забезпечують високі фізико-механічні властивості полімеру.

Молібденовий гетерополіаніон (ГПА) структури Доусона 18-молібдодифосфат-аніон $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ (18-МДФК) є перспективними редокс реагентом [24–26], оскільки він є достатньо сильним окисником – реакція з деякими відновниками відбувається майже миттєво, відновлення протікає без деструкції 18-МДФК, що дає можливість використовувати його багаторазово [27]. Взаємодія 18-МДФК з різними відновниками відбувається при різній кислотності розчинів. Таким чином, варіювання рН розчину дозволяє визначати декілька речовин у сумісній присутності [28,29].

Мета роботи

Метою роботи було дослідження потенціометричних характеристик при визначенні гідрохінону з використанням графітового електрода, модифікованого полімерним композиційним матеріалом (ПКМ) на основі поліуретану та тетрабутиламонійної (ТБА) солі 18-молібдодифосфату.

Виклад основного матеріалу

1. Матеріали та обладнання

Амонійну сіль 18-молібдодифосфату $(NH_4)_6P_2Mo_{18}O_{62} \cdot 14H_2O$ синтезували за методикою [30], модифікованою нами [29]. 0, 1 М розчин 18-МДФК готували розчиненням 7,855 г отриманої солі в колбі на 25 мл.

Для створення ПКМ використовували тетрабутиламонійну сіль 18-МДФК, оскільки амонійна сіль $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ добре розчинна у воді і вимивається із ПКМ у водних розчинах. Синтезували ТБА-18-МДФК осадженням надлишком ТБА броміду із концентрованого розчину ГПА. Осад фільтрували, промивали кілька разів дистильованою водою, і сушили на повітрі у відсутності сонячного світла і парів відновників.

Для приготування композиційного матеріалу використовували графіт марки ЕУЗ-М, середній розмір частинок 50 мкм («Завалівський Графіт», Україна), поліуретан лінійної будови (поліуретановий каучук «Десмокол» виробництва «Хімік-Плюс», Україна).

Використовували дистильовану воду, ортофосфатну кислоту «х.ч.», органічні розчинники (ацетонітрил, ацетон) марок «х.ч.». Гідрохінон перед приготуванням водних розчинів попередньо очищували перекристалізацією із ацетонітрилу [31].

Потенціометричні вимірювання проводили на мілівольметре рН-150мА (Гомель, Білорусь). Для вимірювання рН використовували комбінований електрод (ЕСК-10601/4), потенціал (Е) індикаторного електрода вимірювали відносно хлоридсрібного електрода порівняння.

2. Приготування ПКМ

Для приготування композиційного матеріалу спочатку змішували 5 г ретельно подрібненого графіту і 2 г ТБА солі 18-МДФК. Потім додавали 9 г поліуретанового каучуку і ретельно перемішували суміш до однорідності. Виливали на поверхню

електрода і залишали на повітрі до повного висихання. Товщина зразка ПКМ становила 2 мм.

3. Електрод на основі композиційного матеріалу з ПУ та 18-МДФК

На основі синтезованого ПКМ з ПУ та 18-МДФК створений електрохімічний електрод, схема конструкції якого наведена на рис. 1:

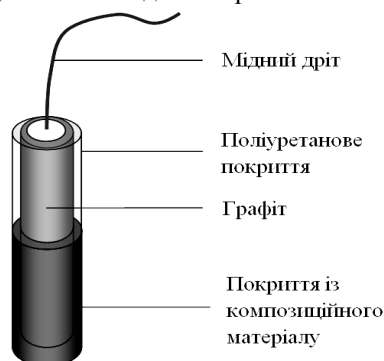


Рис. 1 – Схема конструкції потенціометричного електрода

На нижню частину графітового електрода був нанесений композиційний матеріал, що складається з тетрабутиламонійної солі 18-молібдодифосфату, графітового порошку та поліуретану. До графітового електрода приєднали мідний дріт для з'єднання з приладом, та покрили верхню частину поліуретаном (як захисне покриття).

Обговорення результатів

Визначення основних електрохімічних характеристик електрода

1. Вплив рН на електрохімічне визначення гідрокінону

Досліджена залежність різниці потенціалів від концентрації гідрокінону при різних рН розчину (рис. 2).

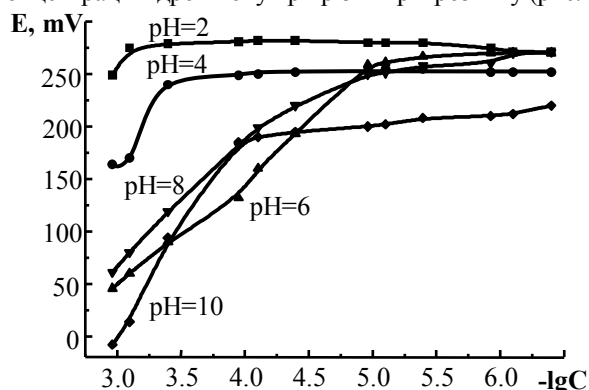


Рис. 2 – Залежність різниці потенціалів від від'ємного десятичного логарифму концентрації гідрокінону при рН 2, 4, 6, 8 і 10

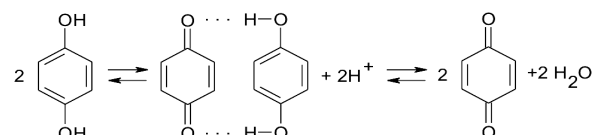
Як видно з рис. 2, найбільший інтервал визначуваних концентрацій мають залежності при рН 6 і 8. При порівнянні характеристик градувальних графіків (ГГ) при цих рН від 5 до 7 (табл. 1), видно, що більшим інтервалом визначуваних концентрацій

характеризується залежність різниці потенціалів від від'ємного логарифму концентрацій при рН 6. Крім того, при цьому рН сигнал наближується до Нернстського – тангенс кута нахилу прямої є близьким до 59 мВ. Таким чином, для електрохімічного визначення гідрокінону з використанням запропонованого електрода створювали рН розчину 6.

Таблиця 1 – Параметри градувальних графіків ($y = a + bx$) електрохімічного визначення гідрокінону при різних рН

рН	5	6	7
<i>a</i>	-44±9	-4±6	-125±18
<i>b</i>	78±2	64±2	89±5
R^2	0.998	0.998	0.994
Інтервал <i>C</i> , <i>mM</i>	0.02-2.2	0.02-10	0.02-1.7

Механізм і швидкість протікання окисно-відновних процесів гідрокінону залежить від рН середовища. Процес окиснення гідрокінону здійснюється у дві стадії: на першій стадії у результаті одноелектронного окиснення утворюються хінгідрон, який на другій стадії віддає ще один електрон з утворенням хінону [32]:



Депротонізація може передувати стадії віддачі електрона від молекули гідрокінону до електрода або протікати одночасно з нею.

Відомо, що у водних розчинах фенольні сполуки можуть перебувати у катіонній, нейтральній або аніонній формах. Так як відрив електрона від нейтральної частинки потребує менше енергії, ніж від катіонної, тому потенціал гідрокінону в нейтральному середовищі, де переважають нейтральні форми молекул, нижче, ніж в кислому [33]. Це пояснює той факт, що відновлення 18-МДФК гідрокіноном швидше відбувається у нейтральному середовищі.

Відновлення 18-молібдодифосфату також залежить від кислотності розчину. Аніон 18-МДФК має достатньо низький заряд (-6), тому при відновленні він приєднує атоми водню гідроксильних груп гідрокінону. Зважаючи на кут нахилу ГГ (табл. 1) при рН 6, на поверхні ПКМ відбувається одноелектронне окиснення 18-МДФК:



2. Часу відгуку електрода

Для визначення часу відгуку електрода фіксували час, починаючи з моменту, коли електроди були опущені у розчин і до моменту, коли зміна потенціалу двох вимірів не перевищувала 1 мВ. Дослід провели при чотирьох різних концентраціях. Як видно з рис. 3, час відгуку при різних концентраціях становить 8 хв. Даний експеримент був проведений при температурі в лабораторії 19°C.

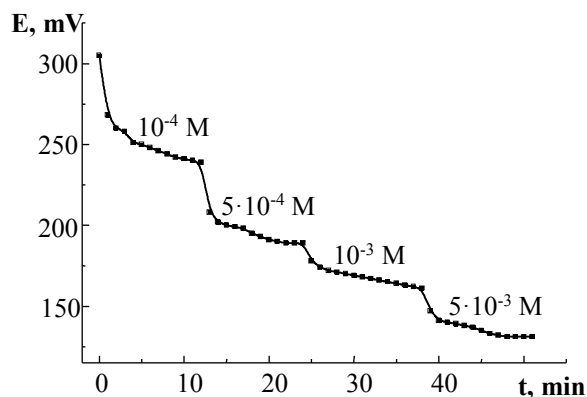


Рис. 3 – Зміна різниці потенціалів у часі при рН 6 та різних концентраціях гідрохінону у розчині

3. Відтворюваність

На рис. 4. наведений графік, що відображає відтворюваність сигналу. Вимірювали потенціал розчинів гідрохінону концентрацією 10^{-4} моль/л при рН 6 через рівні проміжки часу (2 год.). Як видно з рис. 5, усі виміряні значення потенціалів є близькими, тобто у даного електрода відсутній «ефект пам'яті».

У табл. 2 наведено дані з відтворюваності результатів ГГ. Як видно з табл. 2, відносна похибка становить від 1,3 до 1,9 %, а відхилення потенціалу – у межах 3–5 мВ.

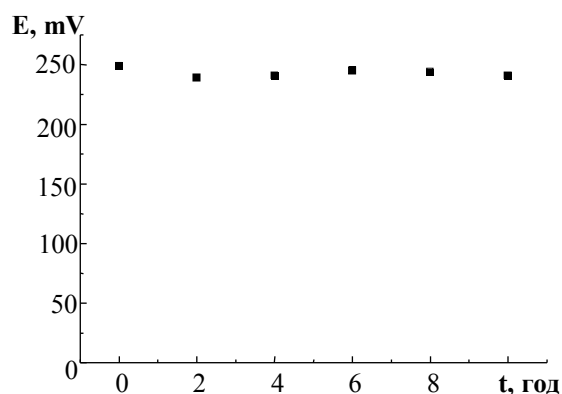


Рис. 4 – Зміна різниці потенціалів у часі при рН 6 та концентрації гідрохінону у розчині 10^{-4} моль/л

Таблиця 2 – Відтворюваність результатів електрохімічного визначення при різних концентраціях гідрохінону та рН 6

С _{гдр.} , М	-lgC	Е _{сер} ±Δ	Sr, %
$5 \cdot 10^{-5}$	4.301	265±4	1.5
10^{-4}	4.000	243±4	1.5
$2 \cdot 10^{-4}$	3.670	221±3	1.3
$5 \cdot 10^{-4}$	3.301	196±4	1.5
10^{-3}	3.000	173±5	1.9

4. Градувальний графік

На рис. 5 наведений ГГ, побудований в координатах (Е_{сер}) – (-lgC) із зазначенням довірчого

інтервалу. Рівняння ГГ: $y = (-35 \pm 3) + (70 \pm 1) \cdot (-\lg C)$, $r^2 = 0,999$.

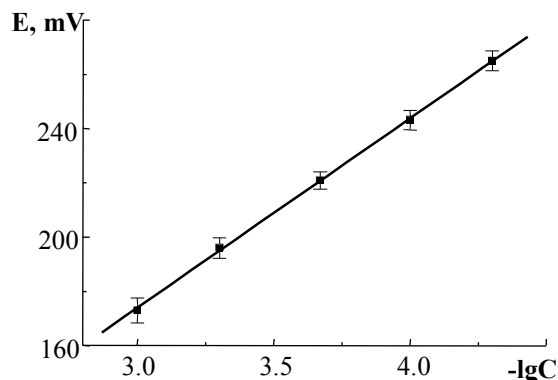


Рис. 5 – Залежність різниці потенціалів від від'ємного десятичного логарифму концентрації гідрохінону при рН 6

Коефіцієнт кореляції практично дорівнює 1, що підтверджує лінійність ГГ, і, що всі точки функції лежать на прямій.

5. Межа визначення

Межа визначення була знайдена як точка перетину ГГ та прямої лінії, що відповідає області низьких концентрацій, коли при зміні концентрації практично не відбувається зміни потенціалу. Вона становить $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

6. Вплив присутніх речовин

Вплив присутніх речовин оцінювали за допомогою константи селективності $K_{A,B}^{pot}$, яку визначали методом фіксованих перешкод для деяких іонів. Е.р.с. комірки вимірювали в розчинах з постійною концентрацією супутнього іона (a_B) 0,1 моль/л (для * 0,01 моль/л і для ** 0,001 моль/л) і різної концентрації гідрохінону від $4 \cdot 10^{-6}$ до $3 \cdot 10^{-4}$. Будували залежність отриманих значень потенціалу від -lg концентрації гідрохінону. Точка перетину екстраполяції лінійних ділянок графіків показує значення концентрації гідрохінону (a_A), яке підставляли для обчислень константи селективності в рівняння Нікольського-Ейзенмана:

$$K_{A,B}^{pot} = \frac{a_A}{a_B^{z_A/z_B}}, \quad (1)$$

де z_A і z_B – заряди визначуваного і супутнього іонів, відповідно.

Знайдені константи селективності представлені в табл. 3. Більшість неорганічних іонів не заважають визначенню при великому їх надлишку.

Як видно з табл. 3, запропонований електрод має високу селективність по відношенню до великого числа неорганічних іонів.

7. Регенерація електрода

Оскільки відновлення 18-МДФК відбувається оборотно, без руйнування його структури, можливе багаторазове використання розробленого електрода.

Після закінчення вимірювання 18-МДФК, що міститься в електроді, необхідно регенерувати. Для цього досить витримати електрод у розчині 3%-вого гідроген пероксиду протягом 10 хвилин.

Таблиця 3 – Константи селективності потенціометричного визначення гідрохінону з використанням запропонованого потенціометричного електрода

Interferents	$K_{A,B}^{pot}$	$-\lg K_{A,B}^{pot}$
Na^+ , Ca^{2+}	$5.2 \cdot 10^{-5}$	4.3
Zn^{2+} , CH_3COO^-	$5.8 \cdot 10^{-5}$	4.2
Cl^-	$7.2 \cdot 10^{-5}$	4.1
CO_3^{2-}	$1.1 \cdot 10^{-4}$	4.0
NH_4^+ , Mg^{2+}	$1.5 \cdot 10^{-4}$	3.8
NO_2^- , $S_2O_3^{2-}$	$1.8 \cdot 10^{-4}$	3.7
NO_3^- , SO_3^{2-}	$2.7 \cdot 10^{-4}$	3.6
Al^{3+}	$2.9 \cdot 10^{-4}$	3.5
SO_4^{2-} , PO_4^{3-}	$4.5 \cdot 10^{-4}$	3.3
Fe^{3+}	$1.7 \cdot 10^{-3}$	2.8
Br^-	$2 \cdot 10^{-3}$	2.7
K^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+}	$2.5 \cdot 10^{-3}$	2.6
F^-	$8.6 \cdot 10^{-3}$	2.1
I^-	10^{-2}	2.0

Висновки

На основі синтезованого полімерного композиційного матеріалу з поліуретану та 18-молібдодифосфату створений електрохімічний електрод. Електрод характеризується достатньою чутливістю та селективністю, у даного електрода відсутній «ефект пам'яті», відносна похибка становить від 1,3 до 1,9 %, а відхилення потенціалу – у межах 3-5 мВ. Єдиним недоліком можна вважати достатньо невеликий час відгуку (8 хв при температурі 19 °C).

Розроблений електрод може бути використаний для визначення відновників, таких як гідрохінон, окисно-відновного потенціалу у біомедичних і клінічних випробуваннях, дослідженнях забруднення сировини, об'єктів навколишнього середовища, аналізі фармацевтичних препаратів, сільськогосподарської продукції і харчових продуктів.

Список літератури

1. Сурякова В. В., Бурмакина Г. В., Рубайло А. И. Разработка методик определения фенолов в питьевой и природной водах методами капиллярного электрофореза и высокоэффективной жидкостной хроматографии. *J. Sib. Fed. Univ. Chem.* 2010. Т. 3. № 3. С. 268–276.
2. Гаврилова М. А., Слепченко Г. Б., Михеева Е. В. Влияние pH среды на электроокисление дигидроксибензолов на модифицированном стеклоуглеродном электроде. *Известия Томского политехнич. ун-та.* 2011. Т. 319. № 3. С. 78–80.
3. Барабой В. А. *Биологическое действие растительных фенольных соединений.* Киев: Наукова думка, 1976, 260 с.
4. Абрамченко В. *Антиоксиданты и антигипоксанты в акушерстве.* СПб.: Химия, 2001. 400 с.
5. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 316 від 01.12.2017 «Про затвердження Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення та Порядку визначення розміру плати, що справляється за понаднормативні скиди стічних вод до систем централізованого водовідведення». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text> (дата звернення 11.02.2021).
6. Patil S. K., Patil S. A., Vadiyar M. M., Awale D. V., Sartape A. S., Walekar L. S., Kolekar G. B., Ghorpade U. V., Kim J. H., Kolekar S. S. Tailor-made dicationic ionic liquid as a fluorescent sensor for detection of hydroquinone and catechol. *J. of Molec. Liquids.* 2017. Vol. 244. P. 39–45. doi:10.1016/j.molliq.2017.08.119.
7. Afkhami A., Khatami H. A. Indirect kinetic-spectrophotometric determination of resorcinol, catechol and hydroquinone. *J. Anal. Chem.* 2001. № 56. P. 429–432. doi:10.1023/A:1016670818466.
8. Marrubini G., Calleri E., Coccini T., Castoldi A. F., Manzo L. Direct analysis of phenol, catechol and hydroquinone in human urine by coupled-column HPLC with fluorimetric detection. *Chromatographia.* 2005. № 62. P. 25–31. doi:10.1365/s10337-005-0570-3.
9. Lee B. L., Ong H. Y., Shi C. Y., Ong C. N. Simultaneous determination of hydroquinone, catechol and phenol in urine using high-performance liquid chromatography with fluorimetric detection. *J. Chromatography B.* 1993. Vol. 619. P. 259–266. doi: 10.1016/0378-4347(93)80115-k.
10. Kerzic P. J., Liu W. S., Pan M. T., Zhou H. Fu, Schnatter A. R., Irons R. D.. Analysis of hydroquinone and catechol in peripheral blood of benzene-exposed workers. *Chem-biol. Interact.* 2010. Vol. 184. P. 182–188. doi: 10.1016/j.cbi.2009.12.010.
11. Li Z., Yue Y., Hao Y., Feng S., Zhou X. A glassy carbon electrode modified with cerium phosphate nanotubes for the simultaneous determination of hydroquinone, catechol and resorcinol. *Microchim. Acta.* 2018. Vol. 185. P. 215. doi:10.1007/s00604-018-2748-z.
12. Dang Y., Wang X., Cui R., Chen Sh., Zhou Y. A novel electrochemical sensor for the selective determination of hydroquinone and catechol using synergic effect of electropolymerized nicotinic acid film and Cd-doped $ZnWO_4$ nanoneedle. *J. Electroanalyt. Chem.* 2019. № 2. P. 296–205. doi: 10.1016/j.jelechem.2018.12.059.
13. Song Y., Zhao M., Wang X., Qu H., Liu Y., Chen S. Simultaneous electrochemical determination of catechol and hydroquinone in seawater using $Co_3O_4/MWCNTs/GCE$. *Materials Chem. and Phys.* 2019. Vol. 272. P. 217–223. doi:10.1016/j.matchemphys.2019.05.071.
14. Cui S., Li L., Ding Y., Zhang J. Mesoporous cobalto-cobaltic oxide modified glassy carbon electrode for simultaneous detection of hydroquinone and catechol. *J. Electroanalyt. Chem.* 2016. Vol. 782. P. 225–232. doi:10.1016/j.jelechem.2016.10.007.
15. Zhao L., Yu J., Yue S., Zhang L., Wang Z., Guo P., Liu Q. Nickel oxide/carbon nanotube nanocomposites prepared by atomic layer deposition for electrochemical sensing of hydroquinone and catechol. *J. Electroanal. Chem.* 2018. Vol. 808. P. 245–251. doi: 10.1016/j.jelechem.2017.12.019.
16. Sabbaghi N., Noroozifar M. Nanoraspberry-like copper/reduced graphene oxide as new modifier for simultaneous determination of benzenediols isomers and nitrite. *Anal.*

- Chim. Acta.* 2019. Vol. 1056. P. 16–25. doi:10.1016/j.aca.2018.12.036.
- Goulart L. A., Gonçalves R., Correa A. A., Pereira E. C., Mascaro L. H. Synergic effect of silver nanoparticles and carbon nanotubes on the simultaneous voltammetric determination of hydroquinone, catechol, bisphenol A and phenol. *Microchim. Acta.* 2018. Vol. 185. P. 1–9. doi: 10.1007/s00604-017-2540-5.
 - Wang H., Hu Q., Meng Y., Jin Z., Fang Z., Fu Q., Gao W., Xu L., Song Y., Lu F. Efficient detection of hazardous catechol and hydroquinone with MOF-rGO modified carbon paste electrode. *J. Hazard. Mater.* 2018. Vol. 353. P. 151–157. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.02.029.
 - Qi Y., Cao Y., Meng X., Cao J., Li X., Hao Q., Lei W., Li Q., Li J., Si W. Facile synthesis of 3D sulfur/nitrogen co-doped graphene derived from graphene oxide hydrogel and the simultaneous determination of hydroquinone and catechol. *Sens. & Actuators B: Chem.* 2019. Vol. 279. P. 170–176. doi:10.1016/j.snb.2018.09.067.
 - Zheng G., Zhang Y., Nie T., Jiang X., Wan Q., Li Y., Yang N. Expanded graphite decorated with PdO@C nanoparticles for individual and simultaneous sensing of multiple phenols. *Sens. & Actuators: B. Chem.* 2019. Vol. 291. P. 362–368. doi:10.1016/j.snb.2019.04.072.
 - Chiorcea-Paquim A.-M., Diculescu V. C., Cervini P., Cavalheiro E. T. G., Brett A. M. O. Graphite–castor oil polyurethane composite electrode surfaces – AFM morphological and electrochemical characterization. *J. Electroanal. Chem.* 2014. Vol. 731. P. 172–178. doi:10.1016/j.jelechem.2014.07.027.
 - Mattioli I. A., Baccarin M., Cervini P., Cavalheiro E. T. G. Electrochemical investigation of a graphite-polyurethane composite electrode modified with electrodeposited gold nanoparticles in the voltammetric determination of tryptophan. *J. Electroanal. Chem.* 2019. Vol. 835. P. 212–219. doi:10.1016/j.jelechem.2018.12.056.
 - Baccarin M., Cervini P., Cavalheiro E. T. G. Comparative performances of a bare graphite-polyurethane composite electrode unmodified and modified with graphene and carbon nanotubes in the electrochemical determination of escitalopram. *Talanta.* 2018. Vol. 178. P. 1024–1032. doi:10.1016/j.talanta.2017.08.094.
 - Поуп М. С. *Гетерополи- и изополиметаллаты*. Новосибирск: Наука, 1990. 227 с.
 - Papaconstantinou E., Pope M. T. Heteropoly blues. III. Preparation and stabilities of reduced 18-molybdodiphosphates. *Inorg. Chem.* 1967. Vol. 6. № 6. P. 1152–1155. doi:10.1021/ic50052a019.
 - Briand L. E., Baronetti G. T., Thomas H. J. The state of the art on Wells-Dawson heteropoly-compounds. A review of their properties and applications. *Applied Catal.: ser. A.* 2003. Vol. 256. № 1–2. P. 37–50. doi:10.1016/S0926-860X(03)00387-9.
 - Vishnikin A. B., Al-Shwaiyat M. K., Petrushina G. A., Tsiganok L. P., Andrush V., Bazel Ya. R., Sklenarova H., Solich P. Highly sensitive sequential injection determination of p-aminophenol in paracetamol formulations with 18-molybdodiphosphate heteropoly anion based on elimination of Schlieren effect. *Talanta.* 2012. Vol. 96. P. 230–235. doi:10.1016/j.talanta.2012.02.049.
 - Petrushina G. A., Tsiganok L. P., Vishnikin A. B., Bazel J. R. Simultaneous determination of ascorbic acid and nitrite in meat products. *Meth. Objects Chem. Anal.* 2012. Vol. 7. №1. P. 45–51.
 - Petrushina G. A., Tsiganok L. P., Vishnikin A. B. Spectrophotometric determination of p-aminophenol in the presence of paracetamol by using 18-molybdodiphosphate. *Visn. Dnipropetr. Univ.: Khim.* 2011. Vol. 19. P. 160–164.
 - Руководство по неорганическому синтезу* в 6-ти т. Т. 6. Под ред. Брауэра Г. Москва: Мир, 1986. 360 с.
 - Purification of Laboratory Chemicals (Eighth Edition). *Purification of Organic Chemicals.* 2017. Ch. 3. P. 95–634. doi:10.1016/B978-0-12-805457-4.50003-3.
 - Бобрівник Л. Д., Руденко В. М., Лезенко Г. О. *Органічна хімія: підручник для студентів вищих навчальних закладів*. Київ: Ірпінь. ВТФ «Перун», 2005. 544 с.
 - Айзенштадт А. М., Богданов М. В., Боголицын К. Г., Абросимова А. А. К вопросу об эффективном потенциале родственных лигнину фенолов. *ИВУЗ. Лесной журнал.* 2006. № 3. С 91–97.

References (transliterated)

- Sursiakova V. V., Burmakyna H. V., Rubailo A. Y. Razrabotka metodyk opredeleniya fenolov v pytevoi y pryrodnoi vodakh metodamy kapylliarnoho elektroforeza y vysokoeffektivnoi zhydkostnoi khromatohrafiy [Development of methods for the determination of phenols in drinking and natural waters by capillary electrophoresis and high performance liquid chromatography]. *J. Sib. Fed. Univ. Chem.*, 2010, Vol. 3, no. 3, pp. 268–276.
- Havrylova M. A., Slepchenko H. B., Mykheeva E. V. Vliyanye pH sredey na elektrookyslenye dyhydroksybenzolov na modyfytirovannom steklouhlerodnom elektrode [Influence of pH of the medium on the electrooxidation of dihydroxybenzenes on a modified glassy carbon electrode]. *Yzvestiya Tomskoho polytekhnicheskoho unyversyteta*, 2011, Vol. 319, no. 3, pp. 78–80.
- Baraboi V. A. *Byolohicheskoe deistvie rastytelnykh fenolnykh soedyneniy* [Biological action of plant phenolic compounds]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1976. 260 p.
- Abramchenko V. *Antyoksydanty y antyhypoksanty v akusherstve* [Antioxidants and antihypoxants in obstetrics]. St. Petersburg, Khymiya Publ., 2001, 400 p.
- Nakaz Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budyvnystva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva ukrainy № 316 vid 01.12.2017 «Pro zatverdzhennia Pravyl prymannia stichnykh vod do system tseentralizovanoho vodovidvedennia ta Poriadku vyznachennia rozmiru platy, shcho spravliaietsia za ponadnormatyvni skydy stichnykh vod do system tseentralizovanoho vodovidvedennia»* [Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing of Ukraine № 316 of 01.12.2017 «On approval of the Rules of acceptance of wastewater into centralized drainage systems and the Procedure for determining the amount of payment for excessive discharges of wastewater into centralized drainage systems»]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text> (accessed 11.02.2021).
- Patil S. K., Patil S. A., Vadiyar M. M., Awale D. V., Sartape A. S., Walekar L. S., Kolekar G. B., Ghorpade U. V., Kim J. H., Kolekar S. S. Tailor-made dicationic ionic liquid as a fluorescent sensor for detection of hydroquinone and catechol. *J. of Molec.. Liquids*, 2017, Vol. 244, pp. 39–45, doi:10.1016/j.molliq.2017.08.119.
- Afkhami A., Khatami H. A. Indirect kinetic-spectrophotometric determination of resorcinol, catechol and hydroquinone. *J. Anal. Chem.*, 2001, no. 56, pp. 429–432, doi:10.1023/A:1016670818466.
- Marrubini G., Calleri E., Coccini T., Castoldi A. F., Manzo L. Direct analysis of phenol, catechol and hydroquinone in human urine by coupled-column HPLC with fluorimetric

- detection. *Chromatographia*, 2005, no 62, pp. 25–31, doi:10.1365/s10337-005-0570-3.
9. Lee B. L., Ong H. Y., Shi C. Y., Ong C. N. Simultaneous determination of hydroquinone, catechol and phenol in urine using high-performance liquid chromatography with fluorimetric detection. *J. Chromatography B*, 1993, Vol. 619, pp. 259–266, doi: 10.1016/0378-4347(93)80115-k.
 10. Kerzic P. J., Liu W. S., Pan M. T., Zhou H. Fu, Schnatter A. R., Irons R. D. Analysis of hydroquinone and catechol in peripheral blood of benzene-exposed workers. *Chem-biol. Interact.*, 2010, Vol. 184, pp. 182–188, doi:10.1016/j.cbi.2009.12.010.
 11. Li Z., Yue Y., Hao Y., Feng S., Zhou X. A glassy carbon electrode modified with cerium phosphate nanotubes for the simultaneous determination of hydroquinone, catechol and resorcinol. *Microchim. Acta*, 2018, Vol. 185, p. 215, doi:10.1007/s00604-018-2748-z.
 12. Yuan Dang, Xiaojiao Wang, Rongrong Cui, Shuangli Chen, Yuanzhen Zhou. A novel electrochemical sensor for the selective determination of hydroquinone and catechol using synergic effect of electropolymerized nicotinic acid film and Cd-doped ZnWO₄ nanoneedle. *J. Electroanalyt. Chem.*, 2019, no. 2, pp. 296–205, doi: 10.1016/j.jelechem.2018.12.059.
 13. Song Y., Zhao M., Wang X., Qu H., Liu Y., Chen S. Simultaneous electrochemical determination of catechol and hydroquinone in seawater using Co₃O₄/MWCNTs/GCE. *Materials Chem. and Phys.*, 2019, Vol. 272, pp. 217–223, doi:10.1016/j.matchemphys.2019.05.071.
 14. Cui S., Li L., Ding Y., Zhang J. Mesoporous cobalt-cobaltic oxide modified glassy carbon electrode for simultaneous detection of hydroquinone and catechol. *J. Electroanalyt. Chem.*, 2016, Vol. 782, pp. 225–232, doi:10.1016/j.jelechem.2016.10.007.
 15. Zhao L., Yu J., Yue S., Zhang L., Wang Z., Guo P., Liu Q. Nickel oxide/carbon nanotube nanocomposites prepared by atomic layer deposition for electrochemical sensing of hydroquinone and catechol. *J. Electroanal. Chem.*, 2018, Vol. 808, pp. 245–251, doi:10.1016/j.jelechem.2017.12.019.
 16. Sabbaghi N., Noroozifar M. Nanoraspberry-like copper/reduced graphene oxide as new modifier for simultaneous determination of benzenediols isomers and nitrite. *Anal. Chim. Acta*, 2019, Vol. 1056, pp. 16–25, doi:10.1016/j.aca.2018.12.036.
 17. Goulart L. A., Gonçalves R., Correa A. A., Pereira E. C., Mascaro L. H. Synergic effect of silver nanoparticles and carbon nanotubes on the simultaneous voltammetric determination of hydroquinone, catechol, bisphenol A and phenol. *Microchim. Acta*, 2018, Vol. 185, pp. 1–9, doi: 10.1007/s00604-017-2540-5.
 18. Wang H., Hu Q., Meng Y., Jin Z., Fang Z., Fu Q., Gao W., Xu L., Song Y., Lu F. Efficient detection of hazardous catechol and hydroquinone with MOF-rGO modified carbon paste electrode. *J. Hazard. Mater.*, 2018, Vol. 353, pp. 151–157, doi:10.1016/j.jhazmat.2018.02.029.
 19. Qi Y., Cao Y., Meng X., Cao J., Li X., Hao Q., Lei W., Li Q., Li J., Si W. Facile synthesis of 3D sulfur/nitrogen co-doped graphene derived from graphene oxide hydrogel and the simultaneous determination of hydroquinone and catechol. *Sens. & Actuators B: Chem.*, 2019, Vol. 279, pp. 170–176, doi:10.1016/j.snb.2018.09.067.
 20. Zheng G., Zhang Y., Nie T., Jiang X., Wan Q., Li Y., Yang N. Expanded graphite decorated with PdO@C nanoparticles for individual and simultaneous sensing of multiple phenols. *Sens. & Actuators: B. Chem.*, 2019, Vol. 291, pp. 362–368, doi:10.1016/j.snb.2019.04.072.
 21. Chiorcea-Paquim A.-M., Diculescu V. C., Cervini P., Cavalheiro E. T. G., Brett A. M. O. Graphite–castor oil polyurethane composite electrode surfaces – AFM morphological and electrochemical characterization. *J. Electroanalyt. Chem.*, 2014, Vol. 731, pp. 172–178, doi:10.1016/j.jelechem.2014.07.027.
 22. Mattioli I. A., Baccarin M., Cervini P., Cavalheiro E. T. G. Electrochemical investigation of a graphite-polyurethane composite electrode modified with electrodeposited gold nanoparticles in the voltammetric determination of tryptophan. *J. Electroanalyt. Chem.*, 2019, Vol. 835, pp. 212–219, doi:10.1016/j.jelechem.2018.12.056.
 23. Baccarin M., Cervini P., Cavalheiro E. T. G. Comparative performances of a bare graphite-polyurethane composite electrode unmodified and modified with graphene and carbon nanotubes in the electrochemical determination of escitalopram. *Talanta*, 2018, Vol. 178, pp. 1024–1032, doi:10.1016/j.talanta.2017.08.094.
 24. Poup M. S. *Heteropoly- i yzopolymetallaty* [Heteropoly and isopolymetallates]. Novosybyrsk, Nauka Publ., 1990, 227 p.
 25. Papaconstantinou E., Pope M. T. Heteropoly blues. III. Preparation and stabilities of reduced 18-molybdodiphosphates. *Inorg. Chem.*, 1967, Vol. 6, no. 6, pp. 1152–1155. doi:10.1021/ic50052a019.
 26. Briand L. E., Baronetti G. T., Thomas H. J. The state of the art on Wells-Dawson heteropoly-compounds. A review of their properties and applications. *Applied Catal. ser. A*, 2003, Vol. 256, no. 1–2, pp. 37–50, doi:10.1016/S0926-860X(03)00387-9.
 27. Vishnikin A. B., Al-Shwaiyat M. K., Petrushina G. A., Tsiganok L. P., Andruch V., Bazel Ya. R., Sklenarova H., Solich P. Highly sensitive sequential injection determination of p-aminophenol in paracetamol formulations with 18-molybdodiphosphate heteropoly anion based on elimination of Schlieren effect. *Talanta*, 2012, Vol. 96, pp. 230–235, doi:10.1016/j.talanta.2012.02.049.
 28. Petrushina G. A., Tsiganok L. P., Vishnikin A. B., Bazel J. R. Simultaneous determination of ascorbic acid and nitrite in meat products. *Meth. Objects Chem. Anal.*, 2012, Vol. 7, no. 1, pp. 45–51.
 29. Petrushina G. A., Tsiganok L. P., Vishnikin A. B. Spectrophotometric determination of p-aminophenol in the presence of paracetamol by using 18-molybdodiphosphate. *Visn. Dnipropetr. Univ.: Khim.*, 2011, Vol. 19, pp. 160-164.
 30. *Rukovodstvo po neorhanycheskomu syntezu v 6-ty t* [Inorganic Synthesis Manual in 6 Volumes], edited by Brauer H., Moscow, Myr Publ., 1986, Vol. 6. 360 p.
 31. Purification of Laboratory Chemicals (Eighth Edition). *Purificat. of Organic Chem.*, 2017, Chapter 3, P. 95–634, doi:10.1016/B978-0-12-805457-4.50003-3.
 32. Bobrivnyk L. D., Rudenko V. M., Lezenko H. O. *Orhanichna khimiia: pidruchnyk dlia studentiv vyshchyykh navchalnykh zakladiviu* [Organic chemistry: a textbook for students of higher educational institutions], Kyiv, Irpin. VTF «Perun» Publ., 2005. 544 p.
 33. Aizenshtadt A. M., Bohdanov M. V., Boholytsyn K. H., Abrosymova A. A. K. Voprosu ob efektyvnom potentsyale rodstvennykh lyhnyu fenolov [On the question of the effective potential of lignin-related phenols], *YVUZ, «Lesnoi zhurnal»*, 2006. no. 3, pp 91 – 97.

Відомості про авторів (About authors)

Петрушина Галина Олександрівна – кандидатка хімічних наук, доцентка, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, доцентка кафедри хімії; м. Дніпро, Україна; ORCID: 0000-0001-5508-5193; e-mail: petrushyna.h.o@dsau.dp.ua.

Galyna Petrushyna – Candidate of Chemical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Chemistry, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine; ORCID: 0000-0001-5508-5193; e-mail: petrushyna.h.o@dsau.dp.ua.

Бойко Юлія Володимирівна – Дніпровський державний аграрно-економічний університет, асистентка кафедри хімії; м. Дніпро, Україна; ORCID: 0000-0003-2850-0173; e-mail: Julia.boyko@gmail.com.

Yuliya Boyko – Assistant, Department of Chemistry, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine; ORCID: 0000-0003-2850-0173; e-mail: Julia.boyko@gmail.com.

Вишнікін Андрій Борисович – доктор хімічних наук, професор, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, завідувач кафедри аналітичної хімії; м. Дніпро, Україна; ORCID: 0000-0003-0148-7845; e-mail: vishnikin@hotmail.com.

Andrey Vishnikin – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Department of Analytical Chemistry, Oles Gonchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0148-7845; e-mail: vishnikin@hotmail.com.

Базель Ярослав Рудольфович – доктор хімічних наук, професор, Ужгородський національний університет, професор кафедри аналітичної хімії; м. Ужгород, Україна; ORCID: 0000-0002-0745-3075; e-mail: yaroslav.bazel@uzhnu.edu.ua.

Yaroslav Bazel – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Department of Analytical Chemistry, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine; ORCID: 0000-0002-0745-3075; e-mail: yaroslav.bazel@uzhnu.edu.ua.

Чигвинцева Ольга Павлівна – кандидатка технічних наук, доцентка, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, завідувачка кафедри хімії, м. Дніпро, Україна; ORCID: 0000-0002-9091-7482; e-mail: chihvintseva.o.p@dsau.dp.ua

Olga Chygvintseva – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Head of Department of Chemistry, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9091-7482; e-mail: chihvintseva.o.p@dsau.dp.ua

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Петрушина Г. О., Бойко Ю. В., Вишнікін А. Б., Базель Я. Р., Чигвинцева О. П. Потенціометричний сенсор для визначення гідрохінону. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 3 (9). С. 66-73. doi:10.20998/2413-4295.2021.03.10.

Please cite this article as:

Petrushyna H., Boyko Yu., Vishnikin A., Bazel Ya., Chygvintseva O. A potentiometric sensor for determination of hydroquinone. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 3 (9), pp. 66-73, doi:10.20998/2413-4295.2021.03.10.

Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:

Петрушина Г. А., Бойко Ю. В., Вишнікин А. Б., Базель Я. Р., Чигвинцева О. П. Потенциометрический сенсор для определения гидрохинона. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 3 (9). С. 66-73. doi:10.20998/2413-4295.2021.03.10.

АННОТАЦІЯ Гідрохінон має високу токсичність і тому його вміст повинен бути ретельно контролюватися. Розробка нових простих в виготовленні електродів з найкращими аналітичними характеристиками невисокою вартістю аналізу є актуальною задачею. Для визначення гідрохінону нами запропоновано електрод на основі графіта і композиційного матеріалу, що складається з поліуретану (полімерна матриця), графітового порошку (для підвищення електропровідності матеріалу) і 18-молибдодифосфату як реагента. К перевагам поліуретанів при їх використанні для модифікації електродів можна віднести високу адгезію полімера до поверхні електрода внаслідок наявності великої кількості полярних груп. Крім того, його специфічні властивості забезпечують високі фізико-механічні властивості полімера. Молибденовий гетерополіаніон структури Доусона 18-молибдодифосфат-аніон $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ є достатньо сильним окислювачем – реакція з деякими відновниками відбувається практично миттєво, відновлення протікає без деградації $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$, що дозволяє використовувати його багаторазово. Взаємодія $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ з різними відновниками відбувається при різних кислотностях розчинів. Таким чином, варіювання рН розчину дозволяє визначати декілька речовин в суміжному присутстві. Для підвищення електропровідності композиційного матеріалу додавали мелкодисперсний графітовий порошок. Оптимальне значення опору мають зразки з вмістом графітового порошку від 50% до 70%. $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ додавали в кількості 20% від загальної маси композиційного матеріалу. Синтезованим полімерним композиційним матеріалом, що складається з поліуретану, графіта і $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$, модифікували графітовий електрод. Визначено основні електрохімічні характеристики запропонованого електрода. Відновлення $P_2Mo_{18}O_{62}^{6-}$ гідрохіноном відбувається в нейтральній середі (рН 6). Час відклику при різних концентраціях становить 8 мин (при температурі 19 °С). У даного електрода відсутній «ефект пам'яті», відносна похибка становить від 1,3 до 1,9%, а відхилення потенціалу – в межах 3-5 мВ. Межа виявлення становить $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Вплив присутніх речовин оцінювали за допомогою константи селективності. Запропонований електрод має високу селективність по відношенню до великої кількості неорганічних іонів. Для регенерації електрода його необхідно витримувати в розчині 3%-гого перексида водню протягом 10 хвилин.

Ключові слова: гетерополікомплекс структури Доусона; 18-молибдодифосфат; гідрохінон; потенціометричний сенсор; полімерний композиційний матеріал; поліуретан

Надійшла (received) 08.08.2021