



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01N 27/27 (2024.01); G01N 27/308 (2024.01); G01N 27/40 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023112943, 19.05.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.05.2023

Дата регистрации:
19.08.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.05.2023

(45) Опубликовано: 19.08.2024 Бюл. № 23

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,
Центр интеллектуальной собственности,
Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):

Иванова Алла Владимировна (RU),
Маркина Мария Геннадьевна (RU),
Герасимова Елена Леонидовна (RU),
Кириллова Виктория Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: IVANOVA A.V. et al. Determination
of the Antioxidant Capacity of Pharmaceuticals
by Potentiometry: Indicators of Measurement
Accuracy // Journal of Analytical Chemistry, 2020,
V. 75, N 3, pp. 378-383. RU 2711410 C1, 17.01.2020.
RU 2486499 C1, 27.06.2013. FR 3079615 A1,
04.10.2019. ES 1251412 U, 19.08.2020.

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЕМКОСТИ ВЕЩЕСТВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электрохимических методов анализа. Раскрыт способ определения антиоксидантной емкости веществ по электрохимическим параметрам анализируемого раствора с использованием электрохимической ячейки с двумя пространствами, сообщающимися через полупроницаемую мембрану и заполненными раствором реагента, при этом электроды изготавливают из одного материала, а в качестве электрохимического параметра оценки антиоксидантной емкости используют установившееся значение электродвижущей силы в измерительной системе, причем в качестве

раствора реагента используют окисленную форму реагента, а добавки анализируемого раствора вносят в оба пространства ячейки в разном количестве, при этом используют электрохимическую ячейку, выполненную из фотополимерной смолы, а объем каждого из ее пространств составляет 50-1000 мм³. Изобретение обеспечивает расширение круга анализируемых объектов, снижение объемов используемых реагентов и анализата, упрощение процедуры анализа и сокращение времени его проведения, реализацию возможности изготовления одноразовых устройств и анализа вне лаборатории. 3 з.п. ф-лы, 5 ил., 4 пр.

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(51) Int. Cl.
G01N 27/27 (2006.01)
G01N 27/30 (2006.01)
G01N 27/40 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01N 27/27 (2024.01); G01N 27/308 (2024.01); G01N 27/40 (2024.01)(21)(22) Application: **2023112943, 19.05.2023**(24) Effective date for property rights:
19.05.2023Registration date:
19.08.2024

Priority:

(22) Date of filing: **19.05.2023**(45) Date of publication: **19.08.2024** Bull. № 23

Mail address:

**620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU, Tsentr
intellektualnoj sobstvennosti, Marks T.V.**

(72) Inventor(s):

**Ivanova Alla Vladimirovna (RU),
Markina Mariia Gennadevna (RU),
Gerasimova Elena Leonidovna (RU),
Kirillova Viktoriia Ivanovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education Ural Federal
University named after the first President of
Russia B.N.Yeltsin (RU)**(54) **METHOD FOR DETERMINING ANTIOXIDANT CAPACITY OF SUBSTANCES**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to electrochemical analysis methods. Disclosed is a method for determining the antioxidant capacity of substances by the electrochemical parameters of the analysed solution using an electrochemical cell with two spaces communicating through a semipermeable membrane and filled with a reagent solution, wherein electrodes are made from one material, and as an electrochemical parameter for evaluating antioxidant capacity, the steady-state value of electromotive force in the measuring system is used, wherein the reagent solution

used is an oxidised form of the reagent, and additives of the analysed solution are introduced into both spaces of the cell in different amounts, wherein an electrochemical cell is used made of photopolymer resin, and the volume of each of its spaces is 50–1,000 mm³.

EFFECT: invention widens the range of analysed objects, reduces the volume of reagents and analyte used, simplifies the analysis procedure and reduces the time required for analysis, possibility of making disposable devices and analysing outside the laboratory.

4 cl, 5 dwg, 4 ex

Изобретение относится к области электрохимических методов анализа, в частности к способам количественного определения антиоксидантной емкости веществ, и может быть использовано для анализа пищевых, фармацевтических, косметических, биобъектов, жидких объектов в области экомониторинга. Способ включает
5 приготовление раствора реагента и определение антиоксидантной ёмкости (АОЕ) исследуемой жидкости, введенной в него, по изменению электрохимических параметров этого раствора. Способ характеризуется тем, что раствором реагента заполняют две части электрохимической микроячейки, разделенные между собой и сообщающиеся
10 только через полупроницаемую мембрану; в обе части вводят разное количество анализируемого раствора. Соотношение объемов вносимых добавок лежит в диапазоне [2; 3], в котором регистрируется наибольший аналитический сигнал. Электрохимическим параметром для определения АОЕ служит установившееся значение электродвижущей силы в электрохимической ячейке.

Также изобретение относится к портативному устройству для осуществления этого
15 способа, в которое входит индикаторный электрод и электрод сравнения, выполненные из одного материала, электрохимическая микроячейка оригинальной конструкции и блок регистрации ЭДС. Электрохимическая микроячейка изготовлена из фотополимерной смолы и состоит из двух частей (пространств), разделенных между собой и сообщающихся только через полупроницаемую мембрану, объем пространства
20 ячейки составляет 50-1000 мм³, а полупроницаемая мембрана выполнена из тонковолокнистого материала (асбестовое волокно).

Изобретение реализует возможность анализа вне лаборатории, обеспечивает снижение объёмов используемых реагентов и анализата, что особенно актуально при анализе биобъектов, экономическую доступность анализа и расширение круга анализируемых
25 объектов, способствует решению экологической проблемы – снижения количества используемых в анализе реактивов и отходов.

Известен способ определения оксидантной/антиоксидантной активности (ОА/АОА) веществ, заключающийся в измерении сдвига потенциала платинового электрода относительно хлорид-серебряного электрода, возникающего при введении исследуемого
30 образца в раствор медиаторной системы - гексацианоферрата (III/II) калия (Патент РФ № 2235998). К недостаткам данного способа можно отнести следующие. Способ применим для анализа только водорастворимых объектов и определения водорастворимых антиоксидантов. Процесс измерения является двухступенчатым, а именно: сначала измеряют исходный потенциал электрода, погруженного в медиаторную
35 систему, а затем потенциал электрода, погруженного в медиаторную систему, после введения в раствор исследуемого образца.

Существенным недостатком способа является электрическая нестабильность хлоридсеребряного электрода сравнения в среде, содержащей анионы реагента (гексацианоферрат (III/II)) и фосфатно-солевой буферный раствор. В результате
40 образования на Ag проволоке хлоридсеребряного электрода сравнения осадка смешанного состава потенциал такого хлоридсеребряного электрода реагирует на изменение концентрации не только хлорид ионов Cl⁻, но и гексацианоферрат (III),(II) анионов, т.е. используемого модельного окислителя, демонстрируя нестабильность
45 потенциала.

Для потенциометрических определений стабильность электрода сравнения особенно важна, поскольку даже относительно небольшой сдвиг потенциала приводит к существенной погрешности при вычислении результатов. Так, сдвиг потенциала на 5 мВ может привести к ошибке потенциометрического определения АОЕ на 30% и более.

Известен способ количественного определения антиоксидантов/оксидантов в биологических тканях (коже) [Pat. 6108570A US, Int. Cl A61B 5/05, US. Cl. 600/345; 600/354. Non-invasive device and method for quantitative determination of oxidants and/or antioxidants in the skin / Kohen R., Fanberstein D., Tirosh O. № 08/817,222, appl. 10.10.1995; pub. 22.08.2000. – 8 p.], включающий введение исследуемого объекта в контакт с электропроводящим раствором, содержащим Fe(III) (FeCl_3 , $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2$ или $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$) или I_2 для определения антиоксидантов и систему KI/I_2 для определения оксидантов по изменению потенциалов на электродах, введенных в электропроводящий раствор. Способ реализуют с помощью устройства, включающего прибор для измерения потенциалов и емкость с парой электродов, открытую с одной стороны и заполненную электропроводящим раствором [Международная публикация WO/1996/013193].

Данные способ и устройство имеют следующие недостатки. В качестве компонента электропроводящего раствора для определения антиоксидантов используют раствор, содержащий Fe(III). При этом начальный потенциал исследуемой системы измерить невозможно, поскольку отсутствует восстановленная форма железа в растворе. Результат измерения выражают в виде значения потенциала, что затрудняет интерпретацию результатов и сопоставление с данными других методов. Процедура измерения многостадийна: установка устройства на объекте анализа (коже), заполнение его электропроводящим раствором, введение в него электродов и само измерение. Использование в качестве электрода сравнения хлоридсеребряного или каломельного электрода, а в качестве рабочих – стеклоуглеродного, золотого или платинового электродов, а также кислых растворов исходных реагентов ($\text{pH}=2$) ограничивает применение данного подхода в полевых условиях и его воплощение в портативном варианте.

Известен способ количественного определения антиоксидантов в растворах, включающий оценку антиоксидантной активности (активности поглощения генерируемых гидроксильных радикалов) по электрохимическим параметрам раствора (Патент WO 2009/039945 A1 от 02.04.2009). Данный способ обладает рядом недостатков: процедура анализа состоит из нескольких стадий, включающих предварительную электрохимическую подготовку электродов одним или несколькими методами для формирования на рабочей поверхности слоя с каталитической активностью, процедуру генерации гидроксильных радикалов, съемку катодного тока в отсутствие и в присутствии антиоксидантов. Для проведения анализа требуется квалифицированный специалист и лабораторные условия.

Известен также способ измерения антиоксидантной активности биологических жидкостей (Патент РФ № 2523564, 20.07.2014 г.), включающий приготовление раствора медиаторной пары хинон/гидрохинон и оценку антиоксидантной активности методом циклической вольтамперометрии. К недостаткам способа относится необходимость предварительной обработки рабочего электрода методом циклической вольтамперометрии во вспомогательном растворе, затем проводят два измерения - до внесения аналита в раствор медиаторной пары и после его внесения. Способ многостадийный, требует лабораторных условий проведения анализа и соответствующей квалификации специалиста.

Наиболее близким решением является способ определения оксидантной/антиоксидантной активности (ОА/АОА) веществ и устройство для его осуществления, заключающийся в оценке оксидантной/антиоксидантной активности по электрохимическим параметрам экстракта анализируемого вещества, введенного в исходный раствор. Измерительное устройство состоит из электрохимической ячейки,

разделённой на два объёма, сообщающихся между собой через полупроницаемую мембрану. Экстракт анализируемого вещества вводят в один из объемов исходного раствора, при этом в качестве электрохимического параметра оценки ОА/АОА служит установившееся значение электродвижущей силы в измерительной системе.

5 Данный способ имеет следующие недостатки. Способ применим для анализа только водорастворимых объектов и определения водорастворимых антиоксидантов и ограниченного количества жирорастворимых антиоксидантов, растворимых в смешанных растворителях с большой долей водной фазы, поскольку предложенный раствор реагента, подтвержденного примерами в описании изобретения (медиаторной системы гексацианоферрат (III/II) калия) хорошо растворим только в воде и практически нерастворим в чистых органических растворителях, растворим в смешанных растворителях с большой долей водной фазы. Способ требует лабораторных условий и предварительной подготовки рабочих электродов, а также не отвечает требованиям портативности и миниатюрности, так как используются большие объёмы растворов и необходимо перемешивание при регистрации аналитического сигнала. Использование электродов на основе платины существенно ограничивает применение способа в полевых условиях, вне лаборатории. В случае портативных устройств и тест-систем, которые в большинстве своем предполагают одноразовое использование, применять платиносодержащие электроды нецелесообразно.

20 Проблемой является ограниченная область применения указанного способа вследствие использования раствора водорастворимого реагента, содержащего одновременно окисленную и восстановленную формы реагента, необходимости лабораторных условий проведения анализа, требование достаточно больших объемов аналита и реагента, что затрудняет анализ био и других объектов вне лаборатории, дорогостоящих электродов на основе платины.

Задачей, решаемой настоящим изобретением, является расширение круга анализируемых объектов (возможность исследовать объекты, содержащие антиоксиданты липофильной природы), снижение объемов используемых реагентов и аналита, упрощение процедуры анализа и сокращение времени его проведения, реализация возможности изготовления одноразовых устройств и анализа вне лаборатории.

Решение проблемы достигается тем, что используется предложенный способ, состоящий в следующем.

1. Способ определения антиоксидантной емкости веществ по электрохимическим параметрам анализируемого раствора с использованием электрохимической ячейки с двумя пространствами, сообщающимися через полупроницаемую мембрану и заполненными раствором реагента, при этом электроды изготавливают из одного материала, а в качестве электрохимического параметра оценки антиоксидантной емкости используют установившееся значение электродвижущей силы в измерительной системе, отличающийся тем, что в качестве раствора реагента используют окисленную форму реагента, а добавки анализируемого раствора вносят в оба пространства ячейки в разном количестве, при этом используют электрохимическую ячейку, выполненную из фотополимерной смолы, а объем каждого из ее пространств составляет 50-1000 мм³.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что антиоксидантную емкость анализируемого раствора определяют по формуле:

$$AOE = \frac{C_{Ox} \cdot V_p \cdot (\alpha - c)}{c \cdot V_{дог} (\alpha - 1)}, \quad \alpha = 10^{\frac{|ΔE| n F}{2,3 R T}} \quad (1),$$

где C_{ox} – концентрация реагента в растворе, моль/дм³;

$|\Delta E|$ – установившееся значение ЭДС в электрохимической ячейке, В;

n – число электронов, участвующих в реакции взаимодействия реагента и антиоксиданта;

c – соотношение объемов добавок пробы, вносимых в одно и второе пространства ячейки;

F – число Фарадея, 96485 Кл/моль;

R – универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К);

T – абсолютная температура, К;

V_p – объем раствора реагента, см³;

$V_{доб}$ – объем добавки анализируемого раствора, см³.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве реагента используют комплексные соединения металлов переменной валентности, например, гексацианоферрат (III) калия, комплекс железа (III) с бипиридином или с его производными, стабильные радикалы, например, 2,2'-дифенил-1-пикрилгидразин (DPPH•).

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве материала электродов используют токопроводящее углеродсодержащее волокно или проводящие углеродные чернила.

Получаемые данным способом результаты АОЕ выражены в абсолютных единицах (моль-экв/дм³).

Сущность заявляемого способа заключается в том, что предварительно готовят раствор реагента и им заполняют оба пространства микроячейки портативного устройства. Затем в одно из пространств вводят одну добавку анализируемого раствора, а в другое пространство – другую добавку. Регистрируют величину ЭДС электрохимической микроячейки до момента установления стационарного значения. После внесения добавок анализируемого раствора в пространства микроячейки, содержащие растворы реагента одинакового состава, происходит образование обратимой электрохимической системы окисленной и восстановленной форм реагента в результате реакции с антиоксидантами пробы. Поскольку в каждое из пространств микроячейки вносится разное количество антиоксидантов пробы (разные добавки пробы), то соотношение активностей окисленной и восстановленной форм реагента в каждом пространстве после завершения реакции с антиоксидантом будет разное. Эти соотношения определяют величину потенциала электродов, погруженных в каждое из пространств ячейки, и регистрируемую ЭДС электрохимической микроячейки.

Источником информации об антиоксидантной ёмкости исследуемого раствора служит установившаяся величина ЭДС электрохимической микроячейки.

В качестве реагента могут быть использованы комплексные соли металлов переменной валентности, например, гексацианоферрат (III) калия, комплекс железа (III) с бипиридином и его производными, или стабильные радикалы, например, 2,2'-дифенил-1-пикрилгидразин (DPPH•), катион-радикал 2,2'-азино-бис(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой кислоты (ABTS⁺•)).

В качестве фоновое электролита могут быть использованы хлорид калия/натрия, или перхлорат лития, или тетрабутиламмония тетрафторборат, или тетрабутиламмония перхлорат.

Рабочий электрод и электрод сравнения портативного устройства должны быть

выполнены из одинакового электропроводящего материала, например, электроды, изготовленные методом трафаретной печати из углеродсодержащих проводящих чернил, или электроды из токопроводящего углеволокна (углеродной вуали).

На фиг.1 изображена микроячейка с разделенными пространствами для реализации способа (а) и ее схематичное изображение (б). Микроячейки напечатаны на 3D принтере из фотополимерной смолы, отвердевающей при 405 нм. Обозначения:

1 – пространства микроячейки, заполненные раствором реагента и добавками анализируемого раствора;

2 – полупроницаемая мембрана;

3 – электроды.

На фиг. 2 представлена зависимость ЭДС электрохимической микроячейки от времени при внесении в неё добавок раствора аскорбиновой кислоты. Исходный раствор реагента содержал 0,1 моль/дм³ KCl, 0,005 моль/дм³ фосфатного буфера и 0,001 моль/дм³ K₃[Fe(CN)₆]. В одно пространство микроячейки вносили 10 мм³ 0,004 моль-экв/дм³ раствора аскорбиновой кислоты, в другое пространство 20 мм³ этого же раствора. Рабочий электрод и электрод сравнения выполнены из материала углеродной вуали.

На фиг. 3 приведена зависимость ЭДС электрохимической микроячейки от времени при внесении в пространства добавок аскорбиновой кислоты. В одно пространство микроячейки внесли 10 мм³ 8,1·10⁻⁴ моль-экв/дм³ раствора аскорбиновой кислоты, в другое пространство – 20 мм³ этого же раствора. Рабочим электродом и электродом сравнения служили планарные толстопленочные углеродсодержащие электроды, изготовленные методом трафаретной печати. Согласно расчётным данным, полученное значение ЭДС соответствует АОЕ=8,7·10⁻⁴ моль-экв/дм³ при АОЕ_{пробы}=8,1·10⁻⁴ моль-экв/дм³.

На фиг. 4 приведена зависимость потенциала от времени при введении в одно пространство разделенной ячейки 0,01 см³ 0,008 моль-экв/дм³, во второе пространство – 0,03 см³ 0,008 моль-экв/дм³ раствора α-токоферола в спирте. Содержимое пространств ячейки: 0,001 моль-экв/дм³ раствор DPPH• в ацетонитриле и 0,05 моль-экв/дм³ перхлорат лития. В качестве рабочего электрода и электрода сравнения использованы планарные толстопленочные углеродсодержащие электроды, изготовленные методом трафаретной печати.

На фиг. 5 представлена зависимость от времени ЭДС электрохимической микроячейки при введении в 0,001 моль/дм³ раствор комплекса железа (III) с бипиридином n[Fe(Py)₃]³⁺ 0,01 см³ 0,029 моль/дм³ раствора α-токоферола в ацетонитриле в одно пространство, а 0,02 см³ 0,029 моль-экв/дм³ раствора α-токоферола во второе пространство микроячейки. Фоновый электролит: 0,05 моль/дм³ тетрабутиламмония перхлората в ацетонитриле.

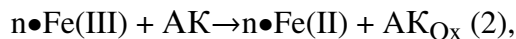
Предложенный способ определения АОЕ и работа прототипа портативного микроустройства иллюстрируются следующими примерами.

Пример 1.

Водный раствор, содержащий 0,1 моль/дм³ KCl, 0,005 моль/дм³ фосфатно-буферный раствор pH=7.4 и 0,001 моль/дм³ K₃[Fe(CN)₆], вносили в каждое из двух пространств

микроячейки. В качестве электрода сравнения и рабочего использовали электроды из углеродной вуали. В одно пространство микроячейки вносили $10 \text{ мм}^3 0,004 \text{ моль-экв/дм}^3$ раствора аскорбиновой кислоты, а в другое пространство микроячейки - 20 мм^3 этого же раствора. Регистрировали величину ЭДС электрохимической микроячейки, после стабилизации сигнал составил 55 мВ (фиг. 2).

Изменение потенциала происходит за счёт протекания реакции взаимодействия гексацианоферрата (III) калия с аскорбиновой кислотой, приведенной ниже (уравнение 2).



где Fe(III) – гексацианоферрат (III) калия, Fe(II) - гексацианоферрат (II) калия, АК – аскорбиновая кислота, AK_{Ox} – окисленная форма аскорбиновой кислоты, n – стехиометрический коэффициент.

АОЕ рассчитывали по формуле (1). Согласно расчётным данным, полученное значение ЭДС соответствует $\text{АОЕ}_{\text{найденно}} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ моль-экв/дм}^3$ при $\text{АОЕ}_{\text{пробы}} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ моль-экв/дм}^3$. Полученный результат хорошо согласуется с известной величиной АОЕ пробы («введено»).

Пример 2.

Готовили водный раствор, содержащий $0,1 \text{ моль/дм}^3 \text{ KCl}$, $0,005 \text{ моль/дм}^3$ фосфатно-буферный раствор $\text{pH}=7.4$ и раствор реагента $0,001 \text{ моль/дм}^3 \text{ K}_3[\text{Fe}(\text{CN}_6)]$. В

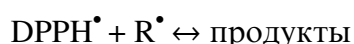
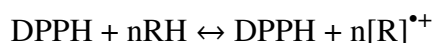
пространства микроячейки помещали 100 мм^3 раствора реагента. Затем в одно пространство микроячейки внесли $10 \text{ мм}^3 8,1 \cdot 10^{-4} \text{ моль-экв/дм}^3$ раствора аскорбиновой кислоты, в другое пространство – 20 мм^3 этого же раствора.

Измеренное установившееся значение ЭДС электрохимической ячейки составило 24 мВ (фиг. 3). АОЕ рассчитывали по формуле (1). Согласно расчётным данным, полученное значение ЭДС соответствует $\text{АОЕ} = 8,7 \cdot 10^{-4} \text{ моль-экв/дм}^3$ при $\text{АОЕ}_{\text{пробы}} = 8,1 \cdot 10^{-4} \text{ моль-экв/дм}^3$. Данные хорошо согласуются между собой.

Пример 3.

В каждом из разделенных пространств ячейки содержится $0,8 \text{ см}^3 0,001 \text{ моль/дм}^3$ раствор DPPH• в ацетонитриле и $0,05 \text{ моль/дм}^3$ перхлората лития. В первое пространство ячейки вносят $0,01 \text{ см}^3 0,008 \text{ моль/дм}^3$ раствора α -токоферола в спирте, во второе пространство ячейки вносят $0,03 \text{ см}^3 0,008 \text{ моль/дм}^3$ раствора α -токоферола в спирте, опускают электроды и фиксируют установившееся значение потенциала $E=44 \text{ мВ}$. Результаты измерений представлены на фиг. 4.

Изменение потенциала происходит за счет протекания реакций (3):



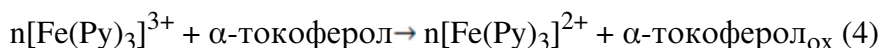
Расчет показывает, что АОЕ исходного раствора α -токоферола $0,015 \text{ моль-экв/дм}^3$, что соответствует двухэлектронному окислению α -токоферола, т.е. n равно 2, что

соответствует действительности.

Пример 4.

Готовили раствор на ацетонитриле, содержащий 0,05 моль/дм³ тетрабутиламмония перхлората и 0,001 моль/дм³ реагента – комплекса $n[\text{Fe}(\text{Py})_3]^{3+}$. В каждое из пространств микроячейки вносили 0,8 см³ раствора модельного оксилителя – 0,001 моль/дм³ комплекса $n[\text{Fe}(\text{Py})_3]^{3+}$. Затем в одно пространство микроячейки внесли 0,01 см³ 0,0290 моль-экв/дм³ раствора α -токоферола в ацетонитриле, в другое пространство – 0,02 см³ этого же раствора.

Регистрировали значение ЭДС электрохимической ячейки, установившееся значение составило 38 мВ (фиг. 5). Разность потенциалов электродов, погруженных в разделенные пространства, обусловлена протеканием химической реакции (4):



где $n[\text{Fe}(\text{Py})_3]^{3+}$ – комплекс железа (III) с бипиридином, $n[\text{Fe}(\text{Py})_3]^{2+}$ – комплекс железа (II) с бипиридином, α -токоферол – восстановленная форма витамина Е, α -токоферол_{ок} – окисленная форма витамина Е.

АОЕ рассчитывали по формуле (1). Согласно расчётным данным, полученное значение ЭДС соответствует АОЕ=0,0278 моль-экв/дм³ при АОЕ_{пробы}=0,0290 моль-экв/дм³. Экспериментальные и теоретические данные хорошо согласуются между собой.

Техническим результатом изобретения является расширение круга анализируемых объектов и реализация возможности определения АОЕ веществ в водных и органических средах, анализа вне лаборатории и изготовления одноразовых устройств, снижение объемов используемых реагентов и анализата, что особенно актуально при анализе биообъектов, упрощение процедуры анализа и сокращение времени его проведения.

(57) Формула изобретения

1. Способ определения антиоксидантной емкости веществ по электрохимическим параметрам анализируемого раствора с использованием электрохимической ячейки с двумя пространствами, сообщаемыми через полупроницаемую мембрану и заполненными раствором реагента, при этом электроды изготавливают из одного материала, а в качестве электрохимического параметра оценки антиоксидантной емкости используют установившееся значение электродвижущей силы в измерительной системе, отличающийся тем, что в качестве раствора реагента используют окисленную форму реагента, а добавки анализируемого раствора вносят в оба пространства ячейки в разном количестве, при этом используют электрохимическую ячейку, выполненную из фотополимерной смолы, а объем каждого из ее пространств составляет 50-1000 мм³.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что антиоксидантную емкость анализируемого раствора определяют по формуле

$$\text{АОЕ} = \frac{C_{\text{ок}} \cdot V_p \cdot (\alpha - c)}{c \cdot V_{\text{доб}} (\alpha - 1)}, \alpha = 10^{\frac{|\Delta E| n F}{2,3 R T}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{ок}}$ – концентрация реагента в растворе, моль/дм³;

$|\Delta E|$ – установившееся значение ЭДС в электрохимической ячейке, В;

N – число электронов, участвующих в реакции взаимодействия реагента и антиоксиданта;

F – число Фарадея, 96485 Кл/моль;

R – универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль·К);

T – абсолютная температура, К;

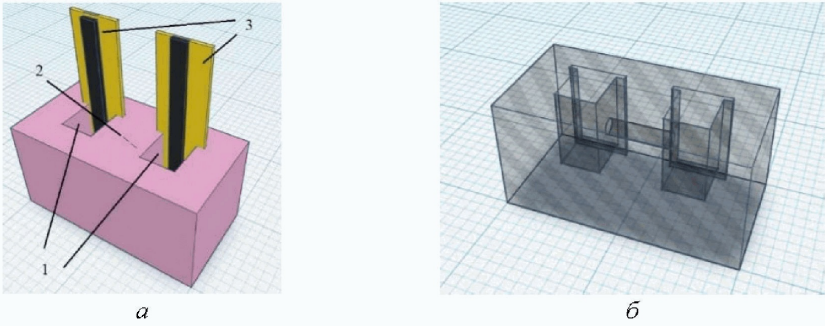
V_p – объем раствора реагента, см³;

$V_{доб}$ – объем добавки анализируемого раствора, см³.

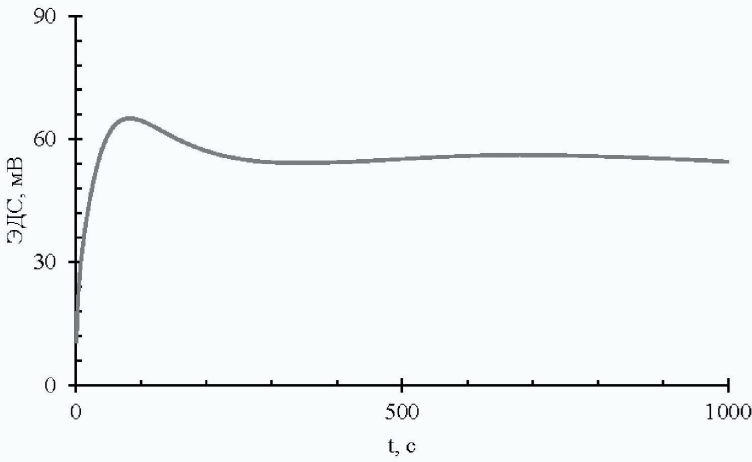
3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве реагента используют комплексные соединения металлов переменной валентности, например гексацианоферрат (III) калия, комплекс железа (III) с бипиридином или с его производными, стабильные радикалы, например 2,2'-дифенил-1-пикрилгидразин (DPPH•).

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве материала электродов используют токопроводящее углеродсодержащее волокно или проводящие углеродные чернила.

1

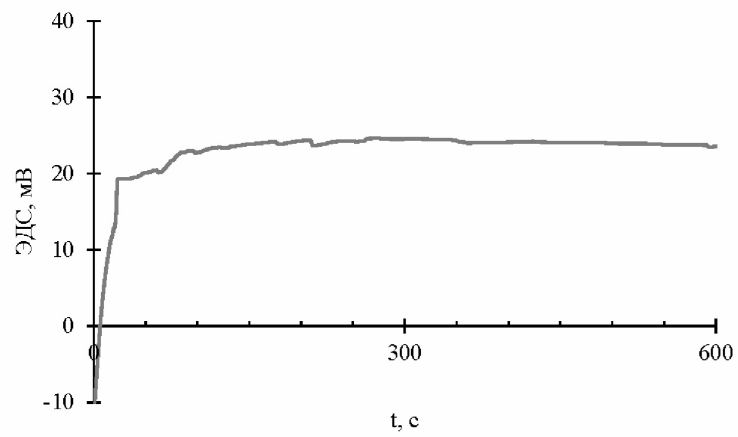


Фиг. 1

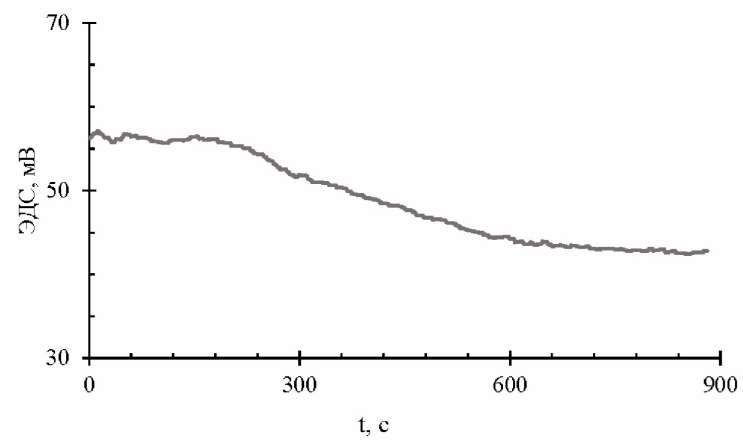


Фиг. 2

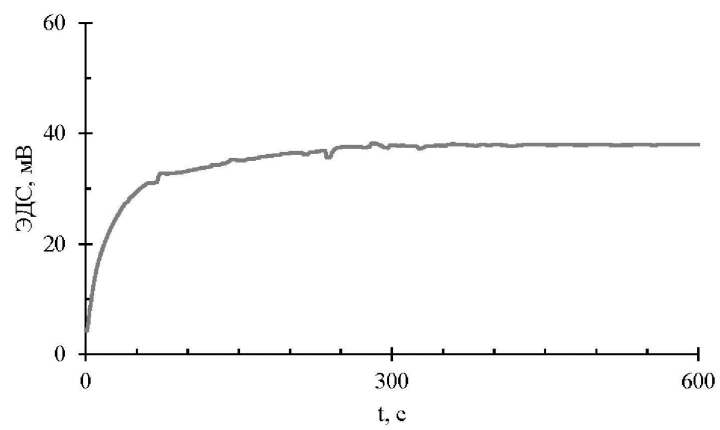
2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5