

блемы с ее регенерацией требуют дальнейшего усовершенствования наномодифицированных электрохимических сенсоров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Luo X. Application of Nanoparticles in Electrochemical Sensors and Biosensors/ X.Luo, A.Morrin, A. Killard, M.Smyth // *Electroanalysis*. – 2006 – V.18, № 4. – P.319 – 326.
2. Adhikari B., Govindhan M., Chen A. Carbon Nanomaterials Based Electrochemical Sensors/Biosensors for the Sensitive Detection of Pharmaceutical and Biological Compounds / B.Adhikari, M. Govindhan, A. Chen. // *Sensors*. – 2015. – V.15. – P. 22490-22508.
3. Wu H.-Y., Liu M., Huang M. Direct synthesis of branched gold nanocrystals and their transformation into spherical nanoparticles / H.-Y.Wu, M.Liu, M.Huang // *J. Phys. Chem. B*. – 2006. – V. 110. – P. 19291–19294.
4. Gao C., Guo Z., Liu J.-H., Huang X.-J.. The new age of carbon nanotubes: An updated review of functionalized carbon nanotubes in electrochemical sensors / C.Gao, Z.Guo, J.-H.Liu, X.-J.Huang. // *Nanoscale*. – 2012, №4. – P.1948-1963.
5. Self-cleaning properties in engineered sensors for dopamine electroanalytical detection / G.Soliveri, V. Pifferi, G. Panzarasa et al. // *Analyst*. – 2015. V.140. – P.1486-1494.

УДК 544.6

О.Л. Матрунчик, асп.; Г.Г. Тульский, проф., д-р техн. наук;  
С.А. Лещенко, доц., канд. техн. наук;  
А.Г. Тульская, канд. техн. наук; Е.С. Рутковская, асп.  
(НТУ «ХПИ», г. Харьков)

#### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МЕТАНСУЛЬФОНОВОЙ КИСЛОТЫ

**Введение.** Метансульфоновая кислота (МСК) – сильная органическая кислота, представляющая собой жидкость без цвета и запаха. Благодаря своим уникальным характеристикам, в настоящее время она находит всё более широкое применение в самых различных областях. Так, МСК применяется в качестве катализатора реакций нитрования, этерификации, ацилирования, полимеризации олефинов [1], а также может быть использована для приготовления электролитов, в

химической, электронной и радиотехнической отраслях промышленности [2] и для получения различных фармацевтических препаратов [3].

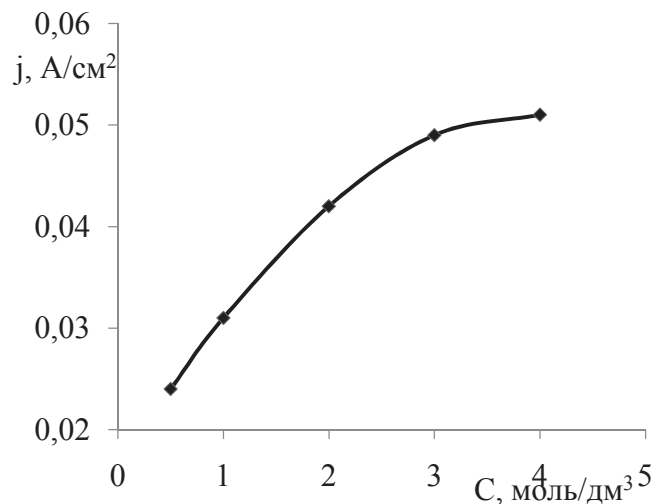
МСК получают химическим и электрохимическим методами. Химический метод хорошо изучен и наиболее освоен промышленностью. Электрохимический метод не доведен до практической реализации, хотя и позволяет получать целый спектр органических соединений серы. На данный момент известно получение МСК из диметилсульфоксида (ДМСО) и диметилсульфона (ДМС), являющимися отходами при обессеривании нефти [4].

**Методика эксперимента.** Электродные процессы, при электрохимическом синтезе МСК исследовались методом вольтамперометрии с использованием потенциостата Р-45Х. Кинетику анодного процесса исследовали на гладкой платине с рабочей площадью поверхности 1,2 см<sup>2</sup>. В качестве фонового электролита был выбран 0,2 моль·дм<sup>-3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Исследовалось влияние концентрации ДМСО в диапазоне 0,5...4,0 моль·дм<sup>-3</sup> на кинетику анодного процесса. Также, исследовалось влияние ДМС при концентрации 0,5...1,5 моль·дм<sup>-3</sup> на кинетику анодного процесса. Температура исследований 288...363 К.

Электрохимический синтез МСК проводили в бездиафрагменном электролизере с токовой нагрузкой до 15 А. Рабочие анодные плотности тока 150...800 А·м<sup>-2</sup>. Соотношение анодной плотности тока к катодной 20:1.

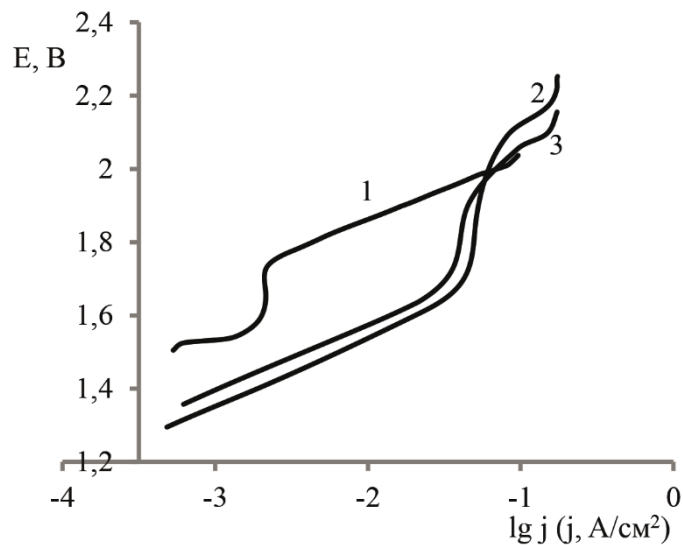
Полученные в результате анодного синтеза растворы очищали от сульфатов действием гидроксида бария. Выделение МСК производили путем охлаждения растворов до выпадения МСК в осадок при температуре ниже 291 К. Для анализа осадка использовали ИК спектроскопию [4, 5].

**Результаты и их обсуждение.** Водные растворы ДМСО обладают низкой удельной проводимостью. Поэтому, в качестве фонового электролита был использован 0,2 моль·дм<sup>-3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. При добавлении ДМСО в фоновый электролит было замечено появление полуволны циклических вольтамперных зависимостей в области потенциалов 1,5...1,8 В, в зависимости от концентрации ДМСО. Наличие полуволны и зависимость ее предельной плотности тока от концентрации ДМСО (рис. 1) указывает на протекание адсорбционных процессов на поверхности платинового анода.



**Рисунок 1 – Зависимость предельной анодной плотности тока полувольны анодной вольтамперной зависимости от концентрации ДМСО в фоновом электролите.**

Добавление ДМСО в фоновый сульфатный электролит вызывает деполяризующее действие в области потенциалов 1,75...1,95 В, соответствующей образованию перекисных соединений на поверхности платинового анода с выходом на участок с электрохимическим контролем при потенциалах выше 2,0 В (рис. 2). Анализ полученных зависимостей указывает на участие в окислении органических соединений кислород содержащих частиц радикального типа. Образование таких частиц происходит благодаря наличию фонового сернокислого электролита, и каталитическому действию сульфат ионов в электрохимическом синтезе МСК.



**Рисунок 2 – Вольтамперограммы платинового анода в 0,2 моль·дм<sup>-3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1) с ДМСО (моль·дм<sup>-3</sup>): 2 – 2; 3 – 4.**

Для объяснения природы процессов, протекающих при потенциалах первой полувольты были получены циклические вольтамперные зависимости при добавлении в фоновый электролит ДМС. На этих зависимостях не наблюдалось возрастание тока в диапазоне потенциалов первой полувольты в растворах с ДМСО. Что позволяет говорить о протекании процесса окисления ДМСО до МСК через промежуточную стадию образования ДМС.

Полученные зависимости позволили обосновать диапазон рабочих плотностей тока для проведения балансового опыта синтеза МСК. При проведении электролиза в бездиафрагменном электролизере при плотности тока  $100...250 \text{ А}\cdot\text{м}^{-2}$  единственным продуктом анодного процесса был ДМС с выходом по току 37 %.

При электролизе с плотностью тока  $600...800 \text{ А}\cdot\text{м}^{-2}$  была получена МСК с выходом по току 64 % при  $353...363 \text{ К}$ . Эффективность электрохимического синтеза МСК повышалась с ростом температуры электролиза. Рост температуры электролита способствовал снижению удельного расхода электроэнергии.

МСК выделяли из электролита при охлаждении до  $278...300 \text{ К}$ . МСК выпадал в осадок в виде бесцветных кристаллов, которые отделяли от маточного раствора фильтрованием, с последующей промывкой дистиллированной водой при температуре не выше  $278 \text{ К}$ . Маточный раствор, после донасыщения по ДМСО отправляли на следующий цикл электролиза.

Кристаллы МСК обезвоживали с использованием концентрированной серной кислоты. Очищенные кристаллы анализировали методом ИК спектроскопии. На ИК спектрах были выявлены характеристические полосы поглощения, соответствующие  $\text{O}=\text{S}=\text{O}$  группе в области частот  $1030\text{-}1092 \text{ см}^{-1}$  и  $\text{OH}^-$  группе в области частот  $2942\text{-}3031 \text{ см}^{-1}$ .

**Выводы.** Показана возможность электрохимического синтеза ДМС и МСК из водных растворов ДМСО. Установлено, что при использовании гладкого платинового анода, при плотности тока  $100...250 \text{ А}\cdot\text{м}^{-2}$  единственным продуктом анодного процесса был ДМС с выходом по току 37 %, при плотности тока  $600...800 \text{ А}\cdot\text{м}^{-2}$  была получена МСК с выходом по току 64 % при  $353...363 \text{ К}$ . Показана возможность электрохимического синтеза МСК в бездиафрагменном электролизере при соотношении анодной и катодной плотности тока к катодной 20:1.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хибиев Х.С. Электрохимический синтез диметилсульфона и метансульфокислоты из диметилсульфоксида / Х.С. Хибиев,

К.О. Омарова, Ш.Ш. Хидиров //Электрохимия. – 2010. – Т 46. – № 8. – С. 1021.

2. Walsh Frank C. Versatile electrochemical coatings and surface layers from aqueousmethanesulfonic acid / Frank C.Walsh, Carlos Ponce de León // Surface and Coatings Technology. – 2014. – V 259. – № 11. – P. 676 – 697.

3. Анохина Е.С. Разработка рецептур кислотных моющих средств / Е.С. Анохина, М.Б. Ребезов, В.В. Нагибина // Естественные и математические науки в современном мире: сб. ст. по матер. XI междунар. науч.-практ. конф. – 2013. – № 10. – С. 180 – 184.

4. Matrunchyk O.L. Theanodicoxidationofdimethylsulfoxide / O.L. Matrunchyk, T.A. Vilous, A.G. Tulskaaya // Проблеми та досягнення сучасної хімії:Збірник тез доповідей XIX Наукової молодіжної конференції. – Одеса. – 2017. – С. 47.

5. Матрунчик О.Л. Удосконалення електрохімічного синтезу метансульфонової кислоти / О.Л. Матрунчик, Г.Г. Тульський // Хімічні проблеми сьогодення (ХПС-2017): збірник тез доповідей Десятої Української наукової конференції студентів, аспірантів і молодих учених з міжнародною участю. – Вінниця, ТОВ "Нілан-ЛТД". – 2017. – С. 131.

УДК 541.13

О.Л. Смирнова, доц., канд. техн. наук; К.И. Дейнеко  
(НТУ "ХПИ", г. Харьков)

## ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПРЕПАРАТОВ ЦИТРАТА МЕДИ

**Введение.**Медь является одним из самых востребованных металлов в различных сферах человеческой жизнедеятельности, а её соединения с анионами органических кислот наиболее легко усваиваются живыми организмами и обладают антибактериальными, антивирусными и противогрибковыми свойствами.

Системные исследования бактерицидных свойств меди проводятся уже более 50 лет в разных странах мира. Агентство по охране окружающей среды США (US EPA) в 2008 году после длительных испытаний зарегистрировало медь как материал, обладающий бактерицидными свойствами. Доказано, что медь подавляет рост микробов MRSA (штамм стафилококка золотистого), аэробных микробов, кото-