

*О. Л. МАТРУНЧИК, С. Г. ДЕРИБО, В. Б. БАЙРАЧНИЙ, Т. О. ПОДУШКА*

### АНОДНІ ПРОЦЕСИ В ВОДНИХ РОЗЧИНАХ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДУ

Метансульфокислоту отримують хімічним і електрохімічним методами. Хімічний метод добре вивчений і найбільш освоєний промисловістю. Електрохімічний метод не доведений до практичної реалізації, хоча і дозволяє отримувати цілий спектр органічних сполук сірки високої чистоти. Застосування електрохімічного методу окислення диметилсульфоксиду дозволяє керувати процесом. Параметрами керування є: потенціал аноду, каталітична активність матеріалу аноду, температура електроліту, промотуючі добавки в електроліті. Встановлено, що електрохімічне окислення диметилсульфоксиду до метансульфонової кислоти перебігає через стадію утворення диметилсульфону. Електроодні процеси досліджували методом вольтамперометрії. Отримані вольтамперні залежності дозволили обґрунтувати параметри проведення електрохімічного синтезу. Гранична густина струму в області напівхвилі на циклічних вольтамперних залежностях залежить від концентрації диметилсульфоксиду. Ця напівхвиля виявлена в області потенціалів 1,5...1,7 В та відповідає окисленню  $S^{4+} \rightarrow S^{6+}$ . На першій ступені диметилсульфоксид окислюється до диметилсульфону, на другій диметилсульфон до метансульфонової кислоти. Окислення диметилсульфоксиду в диметилсульфон відбувається за участю кисень-радикальної частки. Утворення метансульфонової кислоти пов'язане з електрохімічним синтезом пероксиду водню. В утворенні метансульфонової кислоти беруть участь перексо частки радикального характеру, генеровані на поверхні платинового аноду. Встановлено, що збільшення концентрації диметилсульфоксиду більше за 4...5 моль·дм<sup>-3</sup> не призводить до збільшення робочої густини струму. Електрохімічний синтез диметилсульфону і метансульфонової кислоти проводили в діафрагменному електролізері при використанні платинового аноду. Анодна та катодна камери були розділені діафрагмою на основі полівінілхлориду. Концентрація диметилсульфоксиду при електрохімічному синтезі становила 4 моль·дм<sup>-3</sup> в фоні з концентрацією 0,2 моль·дм<sup>-3</sup>. Область потенціалів та відповідні їй густини струму були обрані аналізом вольтамперних залежностей та становили 350 та 800 А·м<sup>-2</sup>. Продукти електроокислення аналізували методом ІЧ-спектроскопії.

**Ключові слова:** диметилсульфоксид, диметилсульфон, метансульфонова кислота, анодні процеси, електрохімічний синтез, мембранний електроліз.

*О. Л. МАТРУНЧИК, С. Г. ДЕРИБО, В. Б. БАЙРАЧНИЙ, Т. О. ПОДУШКА*

### АНОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДА

Метансульфокислоту получают химическим и электрохимическим методами. Химический метод хорошо изучен и наиболее освоённый промышленностью. Электрохимический метод не доведен до практической реализации, хотя и позволяет получать целый спектр органических соединений серы высокой чистоты. Применение электрохимического метода окисления диметилсульфоксида позволяет управлять процессом. Параметрами управления являются: потенциал анода, каталитическая активность материала анода, температура электролита, промотирующие добавки в электролите. Установлено, что электрохимическое окисление диметилсульфоксида в метансульфоновою кислоту протекает через стадию образования диметилсульфона. Электродные процессы исследовали методом вольтамперометрии. Полученные вольтамперные зависимости позволили обосновать параметры проведения электрохимического синтеза. Предельная плотность тока в области полуволны на циклических вольтамперных зависимостях зависит от концентрации диметилсульфоксида. Эта полуволна обнаружена в области потенциалов 1,5...1,7 В и соответствует окислению  $S^{4+} \rightarrow S^{6+}$ . На первой ступени диметилсульфоксид окисляется до диметилсульфона, на второй диметилсульфон в метансульфоновою кислоту. Окисление диметилсульфоксида в диметилсульфон происходит с участием кислород-радикальной частицы. Образование метансульфоновою кислоты связано с электрохимическим синтезом пероксида водорода. В образовании метансульфоновою кислоты участвуют перексо частицы радикального характера, генерируемые на поверхности платинового анода. Установлено, что увеличение концентрации диметилсульфоксида более 4...5 моль·дм<sup>-3</sup> не приводит к увеличению рабочей плотности тока. Электрохимический синтез диметилсульфона и метансульфоновою кислоты проводили в диафрагменном электролизере при использовании платинового анода. Анодная и катодная камеры были разделены диафрагмой на основе поливинилхлорид. Концентрация диметилсульфоксида при электрохимическом синтезе составила 4 моль·дм<sup>-3</sup> в фоне с концентрацией 0,2 моль·дм<sup>-3</sup>. Область потенциалов и соответствующие ей плотности тока были выбраны анализом вольтамперных зависимостей и составили 350 и 800 А·м<sup>-2</sup>. Продукты электроокисления анализировали методом ИК-спектроскопии.

**Ключевые слова:** диметилсульфоксид, диметилсульфон, метансульфоновая кислота, анодные процессы, электрохимический синтез, мембранный электролиз.

*O. L. MATRUNCHYK, S. G. DERIBO, V. B. BAIRACHNIY, T. O. PODUSHKA*

### ANODIC PROCESSES IN DIMETHYL SULFOXIDE WATER SOLUTION

Methanesulfonic acid is produced by chemical and electrochemical methods. The chemical method is well studied and most implemented in industry. The electrochemical method has not gotten practical implementation, although it allows to produce a whole range of organic sulfur compounds. The application of the electrochemical method of dimethyl sulfoxide oxidation allows to control the process. Control parameters are: the potential of the anode, the catalytic activity of the anode material, the temperature of the electrolyte, the promoting additives in the electrolyte. It is established that the electrochemical oxidation of dimethyl sulfoxide to methanesulfonic acid proceeds through the stage of formation of dimethyl sulphone. Electrode processes were investigated by voltammetry. The obtained current-voltage dependences allowed to substantiate the parameters of the electrochemical synthesis. The limiting current density in the half-wave region on cyclic current-voltage dependencies depends on the concentration of dimethyl sulfoxide. This half-wave is found in the potential range of 1.5...1.7 V and corresponds to the oxidation of  $S^{4+} \rightarrow S^{6+}$ . In the first stage, dimethyl sulfoxide is oxidized to dimethyl sulfone, to the second dimethyl sulfone in methanesulfonic acid. The oxidation of dimethyl sulfoxide to dimethyl sulfone occurs with the participation of an oxygen-radical particle. The formation of methanesulfonic acid is associated with the electrochemical synthesis of hydrogen peroxide. Peroxo particles of a radical nature, generated on the surface of a platinum anode, participate in the formation of methanesulfonic acid. It has been established that an increase in dimethyl sulfoxide concentration of more than 4...5 mol·dm<sup>-3</sup> does not lead to an increase in the operating current density. Electrochemical synthesis of dimethyl sulfone and methanesulfonic acid was carried out in a diaphragm electrolyzer using a platinum anode. The anode and cathode chambers were separated by a diaphragm based on polyvinyl chloride. The concentration of dimethyl sulfoxide in electrochemical synthesis was 4 mol·dm<sup>-3</sup> in the background with a concentration of 0.2 mol·dm<sup>-3</sup>. The region of potentials and the corresponding current densities were chosen by analyzing the current-voltage dependences and amounted to 350 and 800 A·m<sup>-2</sup>. Electro-oxidation products were analyzed by IR spectroscopy.

**Keywords:** dimethylsulfoxide, dimethylsulfone, methanesulfonic acid, anodic processes, electrochemical synthesis, membrane electrolysis.

**Вступ.** Метансульфонова кислота (МСК) – сильна органічна кислота, застосовується в якості катализатора реакцій нітрування, етерифікації, алкилування, полімеризації олефінів [1], а також використовується для приготування електролітів, в хімічній, електронній та радіотехнічній галузях промисловості [2] і при отриманні фармацевтичних препаратів [3].

МСК одержують хімічним і електрохімічним методами. Хімічний метод добре вивчений і найбільш освоєний промисловістю. Електрохімічний метод не доведений до практичної реалізації, хоча і дозволяє отримувати цілий спектр органічних сполук сірки високої чистоти. Що і становить актуальність розробки електрохімічної технології МСК. На даний момент відомо отримання МСК з диметилсульфоксиду (ДМСО) і диметилсульфону (ДМС), які є відходами при знесірченні нафти [4, 5].

**Методика експерименту.** Електродні процеси, при електрохімічному синтезі МСК досліджувалися методом вольтамперометрії з використанням потенціостата Р-45Х. Кінетику анодного процесу досліджували на аноді з гладкої платини з робочою площею поверхні 1,2 см<sup>2</sup>. В якості фонових електролітів використовували водний розчин 0,2 моль·дм<sup>-3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Досліджувався вплив концентрації ДМСО в діапазоні 0,5...4,0 моль·дм<sup>-3</sup> на кінетику анодного процесу. Також, досліджувався вплив ДМС при концентрації 0,5...1,5 моль·дм<sup>-3</sup> на кінетику анодного процесу. Температура досліджень 288...363 К [6 – 8].

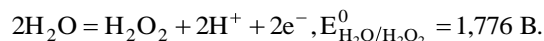
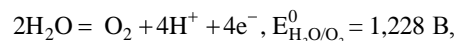
Електрохімічний синтез МСК проводили в діафрагмовому електролізері з струмовим навантаженням до 15 А при 353...363 К. Робочі анодні густини струму 150...850 А·м<sup>-2</sup>. Матеріал аноду – платина, матеріал катода – 12Х18Н10Т.

Отримані, в результаті анодного синтезу, розчини очищали від сульфатів дією гідроксиду барію. Виділення МСК виконували шляхом охолодження розчинів до випадання МСК в осад при температурі нижче 291 К. Продукти електроокислення аналізували методом ІЧ-спектроскопії з використанням ІЧ Фур'є спектрометра Agilent Cary 630 FTIR [4, 9].

**Результати та їх обговорення.** Застосування електрохімічного методу синтезу МСК дозволяє керувати процесом окислення ДМСО. Параметрами керування є: потенціал аноду, каталітична активність матеріалу аноду, температура електроліту, промотуючі та інгібуючі добавки в електроліт.

Водні розчини ДМСО володіють низькою питомою провідністю. В якості фонових електролітів був використаний водний розчин 0,2 моль·дм<sup>-3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Розбавлені розчини сірчаної кислоти мають високу стабільність в досліджуваному діапазоні анодних потенціалів і не взаємодіють з ДМСО та продуктами його окислення. Сульфат іони в такому розчині не піддаються окисленню. Механізм кисневої реакції на платиновому аноді в розчинах сірчаної кислоти добре досліджений [10, 11].

У водному розчині, що містить 0,2 моль·дм<sup>-3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, на платиновому аноді, можливе протікання процесів за таких реакцій:



При додаванні ДМСО в фоновий електроліт було виявлено появу напівхвилі на циклічних вольтамперних залежностях в області потенціалів 1,5...1,7 В (рис 1). Ця область потенціалів, також, відповідає окисленню S<sup>4+</sup> → S<sup>6+</sup> [10]. Електрохімічне окислення ДМСО до ДМС, в області потенціалів 1,5...1,7 В, суміщене з виділенням кисню.

Відомо, що ДМСО окислюється ступінчато [11, 12]. На першому ступені (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SO окислюється до (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>, а на другому (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>2</sub> окислюється до CH<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>H.

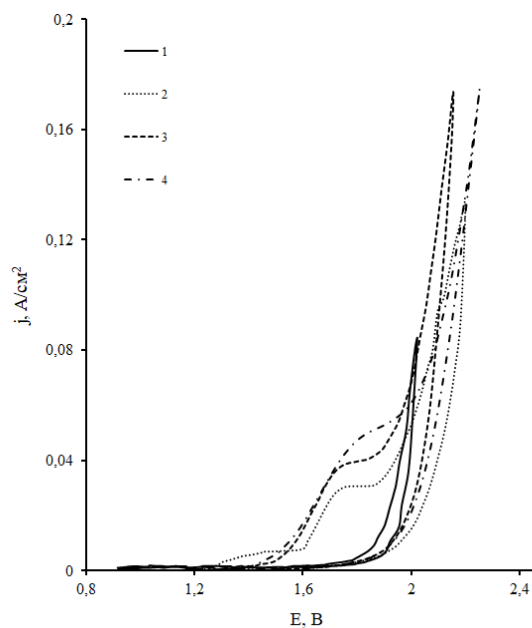


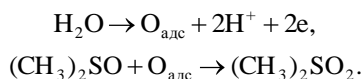
Рис. 1 – Циклічні вольтамперні залежності на платиновому аноді в 0,2 моль·дм<sup>-3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> без добавки (1) і з добавкою ДМСО (моль·дм<sup>-3</sup>): 2–1, 3–3, 4–4.

Електроліз в діафрагмовому електролізері при анодних потенціалах 1,5...1,7 В показав наявність ДМС в розчинах після електролізу. Наявність ДМС підтверджено результатами аналізу ІЧ-спектроскопії. На ІЧ спектрах були виявлені характерні смуги поглинання, відповідні O=S=O групі в області частот 1420–1000 см<sup>-1</sup> і S=O групі в області частот 1225–980 см<sup>-1</sup>.

В роботі [4], при дослідженні окислення ДМС на платиновому електроді, в області 1,5...1,7 В підйом струму не був зафіксований. Наступний підйом струму почався при потенціалах більш позитивних за 1,85 В і відповідав окисленню ДМС в МСК. Тому був зроблений висновок, що в області потенціалів 1,5...1,7 В на платиновому аноді відбувається окислення ДМСО в ДМС.

Окислення ДМСО в ДМС відбувається на поверхні платинового аноду, в умовах, коли суміщенням процесом є виділення кисню, а потенціал утворення перекисних сполук ще не досягнуто. Анодне утворення кисню відбувається через проміжну стадію утво-

рення кисень-радикальної частки. Ця частка і бере участь в окисленні ДМСО в ДМС:



Значна різниця струмів прямого і зворотного ходу в області потенціалів 1,6...1,8 В вказує на адсорбцію ДМСО на поверхні платиного анода. І підтверджує гіпотезу про участь молекули ДМСО в анодному процесі.

Граничний струм напівхвилі окислення ДМСО в ДМС залежить від концентрації ДМСО (рис. 2). Зіставлення виходу за струмом зі значенням граничного струму дозволило вибрати концентрацію 3 моль·дм<sup>-3</sup> ДМСО, як найбільш доцільну, при проведенні електрохімічного синтезу МСК.

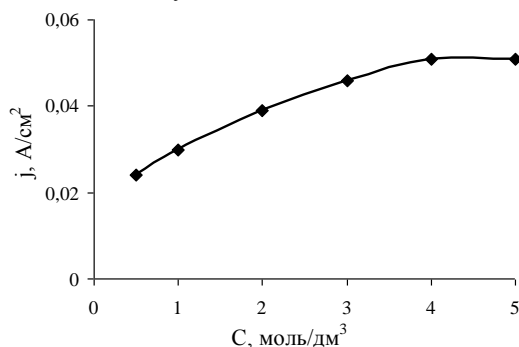
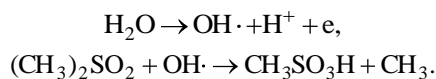


Рис. 2 – Залежність граничної анодної густини струму напівхвилі анодної вольтамперної залежності від концентрації ДМСО в фоновому електроліті.

Після ділянки граничної густини струму окислення ДМСО в ДМС на вольтамперних залежностях (рис. 1) відбувається підйом струму при потенціалах 1,87...1,89 В, що відповідає окисленню ДМС в МСК.

Виділення кисню з водного розчину 0,2 моль·дм<sup>-3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> протікає з високим перенапруженням (рис. 1, кр. 1). В області потенціалів вище 1,8 В, коли на поверхні платиного анода, відбувається утворення перекисних сполук [10]. Наявність перекисних сполук на поверхні платиного анода бере участь в утворенні МСК в результаті реакції заміщення:



Наявність органічних сполук сірки в складі прианодного шару і їх участь в анодному процесі при потенціалах аноду вище 1,8 В підтверджується зсувом анодних потенціалів в позитивну область при додаванні ДМСО в розчин 0,2 моль·дм<sup>-3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Найбільший зсув відзначений при додаванні 1 моль·дм<sup>-3</sup> ДМСО. Збільшення концентрації ДМСО до 3 моль·дм<sup>-3</sup> знижує анодний потенціал завдяки зниженню енергетичних витрат при електрохімічній десорбції МСК з поверхні платиного анода в порівнянні з поєднаною реакцією утворення пероксиду водню шляхом рекомбінації OH· радикалів.

Збільшення потенціалу платиного анода вище 2,1...2,2 В призводить до витіснення молекул води з поверхні аноду та перебігу реакцій за механізмами Кольбе, Гофера-Места, анодного заміщення і приєд-

нання [10, 11]. Тому ця область потенціалів не розглядалася при визначенні робочих параметрів електрохімічного синтезу ДМС і МСК.

З аналізу вольтамперних залежностей були обрані дві області потенціалів і відповідні їм густини струму для проведення електрохімічного синтезу в діфрагментному електролізері, які дозволяли керувати процесом окислення ДМСО. Єдиним продуктом анодного процесу, при проведенні електролізу в фоновому електроліті з добавкою 3 моль·дм<sup>-3</sup> ДМСО, при щільності струму 350 А·м<sup>-2</sup> був ДМС з виходом за струмом 37 %.

При електролізі з щільністю струму 800 А·м<sup>-2</sup> була отримана МСК з виходом за струмом 64 %. Ефективність електрохімічного синтезу МСК підвищувалася з ростом температури електролізу. Зростання температури електроліту сприяло зниженню питомої витрати електроенергії.

МСК виділяли при охолодженні електроліту до 278...291 К. МСК випадав в осад у вигляді безбарвних гольчатих кристалів, які відділяли від маточного розчину фільтруванням, з наступним промиванням дистильованою водою при температурі не вище 278 К. Маточний розчин, після донасищення по ДМСО, відправляли на наступний цикл електролізу.

Кристали МСК зневоднювали в ексикаторі над поверхнею концентрованої сульфатної кислоти. Очищені кристали аналізували методом ІЧ спектроскопії. На ІЧ спектрах були виявлені характерні смуги поглинання, відповідні O=S=O групі в області частот 1030–1092 см<sup>-1</sup> і OH<sup>-</sup> групи в області частот 2942–3031 см<sup>-1</sup>.

**Висновки.** Показана можливість електрохімічного синтезу ДМС і МСК з водних розчинів ДМСО. В області потенціалів 1,5...1,7 В на платиновому аноді відбувається окислення ДМСО в ДМС. При потенціалах вище 1,87...1,89 В відбувається окислення ДМС в МСК.

Запропоновано стадійність процесів при електролізі водних розчинів ДМСО. Утворення МСК суміщено з електрохімічним синтезом пероксиду водню. В утворенні МСК беруть участь кисеньвмісні частки радикального характеру, генеровані на поверхні платиного аноду.

Встановлено, що при використанні платиного анода, при густині струму 100...250 А·м<sup>-2</sup> єдиним продуктом анодного процесу був ДМС з виходом за струмом 37 %, при густині струму 600...800 А·м<sup>-2</sup> була отримана МСК з виходом за струмом 64 %.

#### Список літератури

1. Kulkarni P. Methane Sulphonic Acid is Green Catalyst in Organic Synthesis. / P. Kulkarni. *Oriental journal of chemistry*. 2015. vol. 31. pp. 447–451.
2. Walsh F. C. Versatile electrochemical coatings and surface layers from aqueous methanesulfonic acid. / F. C. Walsh, C. Ponce de León. *Surface and Coatings Technology*. 2014. vol. 259. pp. 676–697.
3. Gernon M. D. Environmental benefits of methanesulfonic acid. Comparative properties and advantages. / M. D. Gernon, M. Wu, T. Buszta, P. Janney. *Green Chem*. 1999. vol. 1. pp. 127–140.
4. Ахмедов М. А. Электрохимический синтез метансульфокислоты из водных растворов диметилсульфона. / М. А. Ахмедов,

- Ш. Ш. Хидиров, М. Ю. Капарова, Х. С. Хибиев. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 12. С. 100–106.
- Матрунчик О. Л. Разработка технологических показателей электрохимического синтеза метансульфоновой кислоты. / О. Л. Матрунчик, Г. Г. Тульский, С. А. Лещенко, А. Г. Тульская, Е. С. Рутковская. *Современные электрохимические технологии и оборудование: материалы докладов Международной научно-технической конференции*. Минск: БГТУ, 2017. С. 321–325.
  - Білоус Т. А. Обгрунтування складу електроліту для електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти. / Т. А. Білоус, Г. Г. Тульський, О. Л. Матрунчик. *Вісник Нац. техн. ун-ту «Харк. політехн. ін-т». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія*. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 49 (1270). С. 10–14.
  - Bilous T. A. The choice of anode material for the electrochemical synthesis of peroxyacetic acid. / T. A. Bilous, A. G. Tulskaia, O. L. Matrunchyk. *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: Monograph*. Kyiv.: KNUTD, 2017. pp. 230–234.
  - Білоус Т. А. Обгрунтування вибору робочих концентрацій оцтової кислоти для електрохімічного синтезу пероксиоцтової кислоти. Т. А. Білоус, Г. Г. Тульський, А. М. Корогодська, М. О. Подустов. *Вісник Нац. техн. ун-ту «Харк. політехн. ін-т». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія*. Харків: НТУ «ХПІ». 2017. № 48 (1269). С. 24–28.
  - Тарасевич Б. Н. *ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы*. / Б. Н. Тарасевич. Москва. 2012.
  - Дамаскин Б. В. *Электродные процессы в растворах органических соединений*. / Б. В. Дамаскин, Л. Н. Некрасов, О. А. Петрий, Б. И. Подловченко, Е. В. Стенина, Н. В. Федорович. Москва: Изд-во МГУ, 1985. 312 с.
  - Sharon D. Oxidation of Dimethyl Sulfoxide Solutions by Electrochemical Reduction of Oxygen. / D. Sharon, M. Afri, M. Noked, A. Garsuch, A. A. Frimer, D. Aurbach. *J. Phys. Chem. Lett.* 2013. vol. 4. pp. 3115–3119.
  - Wasmus S. Electro-oxidation and reduction of dimethylsulfoxide and sulfolane in aqueous acid solution an on-line MS study. / S. Wasmus, W. Vielstich. *Electrochimica Acta*. 1993. vol. 38. pp. 175–183.
  - Akhmedov M. A. Electrochemical synthesis of methanesulfonic acid from aqueous solutions of dimethyl sulfone. / M. A. Akhmedov, Sh. Sh. Khidirov, M. Yu. Koparova, Kh. S. Khibiev. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016, vol. 59, no 12, P. 100–106.
  - Matrunchyk O. L. Razrabotka tekhnologicheskikh pokazatelej ehlektrohimiicheskogo sinteza metansul'fonovoy kisloty [Development of technological indices of electrochemical synthesis of methanesulfonic acid]. / O. L. Matrunchyk, G. G. Tulskaia, S. A. Leshchenko, A. G. Tulskaia, K. S. Rutkovskaya. *Proceedings of the Modern Electrochemical Technologies and Equipment*. Minsk: BGTU, pp. 321–325.
  - Bilous T. A. Obgruntuvannya skladu elektrolitu dlya elektrokhimichnoho syntezu peroksyotstovoyi kysloty. [Justification of the electrolyte composition for the electrochemical synthesis of peroxyacetic acid] / T. A. Bilous, G. G. Tulskaia, O. L. Matrunchyk. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2017, no 49 (1270), pp. 10–14.
  - Bilous T. A. The choice of anode material for the electrochemical synthesis of peroxyacetic acid. / T. A. Bilous, A. G. Tulskaia, O. L. Matrunchyk. *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: Monograph*. Kyiv.: KNUTD, 2017, pp. 230–234.
  - Bilous T. A. Obgruntuvannya vyboru robochoykh kontsentratsii ots-tovoi kysloty dlia elektrokhimichnoho syntezu peroksyotstovoi kysloty [Justification of the choice of working concentrations of acetic acid for the electrochemical synthesis of peroxyacetic acid]. / T. A. Bilous, G. G. Tulskaia, A. M. Korohodska, M. O. Podustov. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2017, no 48 (1269), pp. 24–28.
  - Tarasevich B. N. *IK spektry osnovnykh klassov organicheskikh soedinenij. Spravochnye materialy* [IR spectra of the main classes of organic compounds. Reference materials]. / B. N. Tarasevich. Moscow: MHU, 2012.
  - Damaskin B. V. *Elektrodnye processy v rastvorah organicheskikh soedinenij* [Electrode processes in solutions of organic compounds]. / B. V. Damaskin, L. N. Nekrasov, O. A. Petrij, B. I. Podlovchenko, E. V. Stenina, N. V. Fedorovich. Moscow, 1985, pp. 312.
  - Sharon D. Oxidation of Dimethyl Sulfoxide Solutions by Electrochemical Reduction of Oxygen. / D. Sharon, M. Afri, M. Noked, A. Garsuch, A. A. Frimer, D. Aurbach. *J. Phys. Chem. Lett.* 2013, vol. 4, pp. 3115–3119.
  - Wasmus S. Electro-oxidation and reduction of dimethylsulfoxide and sulfolane in aqueous acid solution an on-line MS study. / S. Wasmus, W. Vielstich. *Electrochimica Acta*. 1993, vol. 38, pp. 175–183.

## References (transliterated)

Надійшла (received) 22.10.2018

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Матрунчик Ольга Леонідівна (Matrunchyk Olga Leonidivna)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5408-7581>, e-mail: [olenka12578@gmail.com](mailto:olenka12578@gmail.com)

**Дерібо Світлана Германівна (Deribo Svetlana Germanivna)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технічної електрохімії; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1790-9857>, e-mail: [sgd2408@gmail.com](mailto:sgd2408@gmail.com)

**Байрачний Володимир Борисович (Bairachniy Volodimir Borisovich)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8397-3489>, e-mail: [bairachniyvb@gmail.com](mailto:bairachniyvb@gmail.com)

**Подушка Тимофій Олександрович (Podushka Timofie Oleksandrovich)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8397-9251>, e-mail: [arakavak@gmail.com](mailto:arakavak@gmail.com)