

**УДК 544.652.076.324.2:4**

## **ДИСКРИМИНАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ КАТОДОВ И АНОДОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СУЛЬФАТА ТИТАНА(III)**

*Федоренко А.А.*

*Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Украина  
E-mail: fedoram37@gmail.com*

Исследована серия материалов для изготовления катодов и анодов, используемых в сернокислых растворах с целью выявления плотности тока, устойчивости, токсичности и себестоимости. Анализ выполнен по данным перенапряжения водорода и кислорода в 1,0 моль/дм<sup>3</sup> растворах серной кислоты, а также по результатам электросинтеза сульфата титана(III) при плотности тока 5,0 А/дм<sup>2</sup> и напряжении 3,5–4,0 В. Выявлено, что оптимальными катодными материалами являются ниобий или нержавеющая сталь, анодными – нержавеющая сталь, покрытая 5-кратным слоем диоксида марганца. Определена энергия активации электрохимической системы.

**Ключевые слова:** электролизеры, перенапряжение по водороду и кислороду, катод, анод, электрохимический синтез, сульфат титана(III), выход по току, диоксиды, энергия активации.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Использование технологий электрохимических производств в настоящее время занимает особое место в практике основных направлений технического прогресса. По данным З. Поллера [1], замена традиционных механических или химических процессов на электрохимические снижает производственные затраты до 98%. Особое внимание заслуживает технология электрохимического синтеза сильного восстановителя сульфата титана(III) в производстве пигментного диоксида титана на предприятии ЧАО «Крымский ТИТАН». Сульфат титана(III) мгновенно восстанавливает ионы железа(III) до железа(II), последнее гидролизует при pH = 6,6 – 9,3, таким образом, исключается осаждение малорастворимых гидроксидов железа на пасте гидрата диоксида титана в технологическом растворе при pH = 1–2.

В настоящей работе исследованы материалы для катодов: титан, латунь (сетка), нержавеющая сталь (сетка), свинец. Для анодов: нержавеющая сталь (сетка) и титан, покрытые диоксидом марганца, стеклоуглерод, тефлон-углерод, свинец, оксиднорутениевый титановый анод (ОРТА) и др. Основное внимание обращено на электропроводность, устойчивость материалов в растворах серной кислоты, их стоимость и токсичность.

Из практики известно, что управление перенапряжением выделения водорода на катоде является одной из важных характеристик электрохимического синтеза восстановителя (H<sup>0</sup>). От перенапряжения водорода зависит экономическая целесообразность технологии, так как перенапряжение увеличивает потребность электрического напряжения, что вызывает дополнительное, нерациональное

использование электроэнергии [2–5]. Это явление изучалось на протяжении более 150 лет, однако, и по настоящее время имеется еще значительный ряд нерешенных теоретических вопросов, особенно, когда речь идет о предсказании электрохимических процессов от влияния различных компонентов растворов. Поэтому электрохимикам приходится описывать процессы экспериментально, с помощью стационарных поляризационных кривых, полученных на потенциостате в зависимости тока от потенциала. Важным аспектом в интенсификации развития технологии электрохимического синтеза восстановителя (сульфата титана(III)) является полное понимание управления электрохимическими процессами. Причиной, приводящей к малому выходу по току, является превращение электроэнергии в тепловую энергию. Поэтому, нами проведены исследования материалов для катодов и анодов, с учетом перенапряжений по водороду и кислороду, а также, по разработке более простого приема определения материалов по выявлению максимальной плотности тока при постоянном напряжении, в зависимости от режимов электрохимического процесса.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Чтобы решить поставленную задачу выявления материалов электродов, перспективных для электросинтеза в сернокислых растворах, была предпринята попытка рассмотрения главных взаимозависимых процессов и свойств, а именно: перенапряжения водорода на катоде и кислорода на аноде, конструктивных особенностей оборудования и материалов [6, 7]. В последних случаях, при решении технологических производственных задач, зачастую, приходится сталкиваться впервые, опираясь лишь на разработанные гипотезы и выполнения серии систематических исследований. В исследовании перенапряжения по водороду были использованы стационарные поляризационные кривые, которые получены на потенциостате ПИ-50-1.1 с программатором ПР-8 в термостатированной ячейке ЯСЕ-2. Зависимости тока от потенциала регистрировали с помощью двухкоординатного самописца ПДА-1. Рабочий электрод представлял собой пластину титана, сетку из латунной проволоки (диаметр 0,4 мм и размер ячейки 1,0 x 1,0 мм), сетку из нержавеющей стальной проволоки (диаметр 0,3 мм и размер ячейки 1,0 x 1,0 мм). Состав нержавеющей сетки, %: хром – 17-19; никель – 9-11; марганец – 2,0; кремний – 0,8; титан – 0,6-0,8; медь – 0,3; фосфор – 0,035; сера – 0,02. Указанные сетки были частично покрыты кислотостойким лаком КС-19, для поддержания постоянной поверхности контакта с раствором кислоты. Материал рабочего электрода перед поляризацией обезжиривали, выдерживали в растворах активации поверхности металла (титан – в растворе HCl, латунную сетку – в растворе для подготовки меди и сплавов из смеси азотной, ортофосфорной и уксусной кислот, нержавеющую сетку – в растворе азотной кислоты), затем промывали дистиллированной водой.

В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод, который был соединен с рабочим электродом с помощью солевого мостика и капилляра Луггина. Вспомогательным электродом служил платиновый электрод.

Рабочий раствор готовили из концентрированной серной кислоты марки «о.с.ч 5-5» ГОСТ 14262-78, путем разведения дистиллированной водой до концентрации 1 моль /дм<sup>3</sup>.

С целью упрощения проведения дискриминации материалов для анода нами проведены измерения максимальной плотности тока на аноде при постоянном напряжении 3,5 В. Принимается положительный результат, если на аноде обеспечивалась плотность тока  $\geq 5,0$  А/дм<sup>2</sup>. Такой материал может быть использован в технологии синтеза сульфата титана(III) (естественно, с учетом и других факторов), поскольку электросинтез его осуществляется с максимальным выходом по току при 4,9–5,1 А/дм<sup>2</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Перенапряжение выделения водорода.** Интересной информацией, является установление зависимости перенапряжения водорода от температуры при выделении его на цинковом катоде из растворов серной кислоты. Нами определена функциональная зависимость на основании данных, изложенных в таблице А.И. Левина [1]. При катодном токе 0,01, 0,05, 0,4 А/см<sup>2</sup> определена функция

$$F = k_1 + k_2 \cdot x + k_3 \cdot x^2 + k_4 \cdot x^3,$$

где значение  $k_1$  вносит основной вклад и составляет 1,17; 1,39 и 1,26 соответственно. Отсюда можно сделать вывод, что температурный фактор влияет на потенциал перенапряжения по водороду, в зависимости от материала катода. Поэтому, экспериментальное определение перенапряжения водорода приходится устанавливать для каждого из сплавов. В связи с этим, нами были определены значения потенциала перенапряжения водорода для меди, титана и нержавеющей стали.



Водород на катоде выделяется при потенциале  $E_j$ , который является более негативным, чем оборотный потенциал  $E_H$ , что соответствует рН и составу данного раствора (2):

$$E_H = \frac{RT}{F} \ln a_{H^+} = -b_0 pH \quad (2)$$

Перенапряжение выделения водорода является непосредственной мерой необратимости электрохимической реакции выделения водорода (3):

$$\eta = E_j - E_H \quad (3)$$

В области малых отклонений от равновесного потенциала наблюдается линейная связь между перенапряжением и плотностью тока (4):

$$\eta = Rj \quad (4)$$

При отклонении от равновесного потенциала линейная связь переходит в полулогарифмическую (5):

$$\eta = a + b \lg j \quad (5)$$

Кроме материала электрода, на величину  $a$  влияет состояние его поверхности. Константа  $a$  уменьшается при развитии поверхности и при освобождении ее от поверхностных оксидов. Величина  $b$  изменяется в узких пределах - от 0,03 до 0,12 - и только в редких случаях (для технических и окисленных металлов) она больше 0,12.

Нами проведены измерения плотности силы тока от перенапряжения для различных электродов из латуни, титана и нержавеющей стали (сетка) в растворе 1,0 моль/дм<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при температуре 15 °С и 50 °С. Результаты исследований представлены на рис.1.

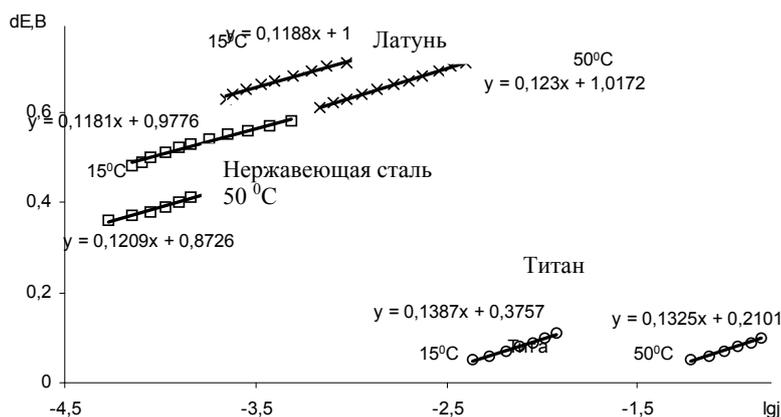


Рис. 1. Зависимость логарифма плотности силы тока от перенапряжения для различных электродов в растворе 1,0 моль/дм<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при температуре 15°С и 50°С.

Исходя из графически расчетных данных, формула Тафеля (5) для выделения водорода на латунной сетке будет иметь вид:

$$-\eta = -0,98 - 0,12 \lg j; \quad |\eta| = 0,98 + 0,12 \lg j; \quad a = -0,98; \quad b = -0,12; \quad \text{коэффициент переноса } \alpha = -2,3 \frac{RT}{nFb} = 0,48; \quad \text{ток обмена } j_0 = 10^{-\frac{a}{b}} = 10^{-\frac{-0,98}{-0,12}} = 6,8 \cdot 10^{-9} \text{ (А/см}^2\text{)}.$$

Исходя из графически рассчитанных данных, формула Тафеля (5) для выделения водорода на титановой пластине при температуре 50°С будет иметь

$$\text{вид: } \eta = -0,21 - 0,133 \lg j; \quad |\eta| = 0,21 + 0,133 \lg j; \quad a = -0,21; \quad b = -0,133;$$

$$\text{коэффициент переноса } \alpha = -2,3 \frac{RT}{nFb} = 0,48; \quad \text{ток обмена}$$

$$j_0 = 10^{-\frac{a}{b}} = 10^{-\frac{-0,21}{-0,133}} = 0,026 \text{ (А/см}^2\text{)}.$$

Поляризацию латунной сетки (площадь поверхности 5x5 мм, 8 шт. проволок диаметром 0,4 мм, общая площадь - 0,5 см<sup>2</sup>) проводили в растворе 1,0 моль/дм<sup>3</sup>

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при температуре 50<sup>0</sup>С, скорость изменения потенциала – 1 мВ/с, начальный потенциал по водородной шкале – E<sub>0</sub> = 0,170 В.

Исходя из графически рассчитанных данных, формула Тафеля (5) для выделения водорода на латунной сетке принимает вид:

$$-\eta = -1,02 - 0,123 \lg j; |\eta| = 1,02 + 0,123 \lg j; a = -1,02; b = -0,123; \text{коэффициент}$$

$$\text{переноса } \alpha = -2,3 \frac{RT}{nFb} = 0,52; \text{ток обмена } j_0 = 10^{\frac{-acnF}{2,3RT}} = 10^{\frac{-a}{b}} = 5,1 \cdot 10^{-9} \text{ (А/см}^2\text{)}.$$

Поляризацию нержавеющей сетки (площадь поверхности 6 x 6 мм, 10 шт. проволоки диаметром 0,3 мм, общая площадь - 0,56 см<sup>2</sup>) проводили в растворе 1М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при температуре 50<sup>0</sup>С, скорость изменения потенциала – 1 мВ/с, начальный потенциал по водородной шкале – E<sub>0</sub> = 0,274 В.

Исходя из графически рассчитанных данных, формула Тафеля (5) для выделения водорода на латунной сетке будет иметь вид:

$$-\eta = -0,87 - 0,121 \lg j; |\eta| = 0,87 + 0,121 \lg j; a = -0,87; b = -0,121; \text{коэффициент}$$

$$\text{переноса } \alpha = -2,3 \frac{RT}{nFb} = 0,53; \text{ток обмена } j_0 = 10^{\frac{-acnF}{2,3RT}} = 10^{\frac{-a}{b}} = 6,5 \cdot 10^{-8} \text{ (А/см}^2\text{)}.$$

Для электрохимической реакции мерой скорости есть плотность тока, а константа есть плотность тока обмена.

**Энергия активации.** Установлено, что основным внутренним параметром электрохимической системы, которая определяет кинетику, есть энергия активации W<sub>e</sub> переноса заряда, которую можно найти по уравнению (6).

$$\text{Для титановой пластины: } W_e = \frac{(\ln j_{0_2} - \ln j_{0_1}) \cdot R}{\left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 \cdot T_2} \right)} = ((-3,65 - (-6,215)) \cdot 8,314 \cdot ((288 \cdot 323) / (323 - 288))) = 56676 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} = 56,7 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}. \quad (6)$$

Для нержавеющей сетки: W<sub>e</sub> = 49884 Дж·моль<sup>-1</sup> = 49,9 кДж·моль<sup>-1</sup>;

для латунной сетки: W<sub>e</sub> = 31967 Дж·моль<sup>-1</sup> = 32,0 кДж·моль<sup>-1</sup>.

Исходя из полученных данных по перенапряжению выделения водорода и оценочном определении энергии активации процесса выделения водорода на различных электродных материалах в 1,0 моль/дм<sup>3</sup> серной кислоте можно соответственно сделать выводы.

В нашем случае титановая пластинка без активации имеет один стационарный потенциал, а при снятии пассивной пленки в соляной или другой кислоте на активной поверхности уже при погружении в 1,0 моль/дм<sup>3</sup> серную кислоту происходит растворение поверхности металла. При этом происходит выделение газообразного водорода с переходом ионов титана в раствор (через некоторое время раствор становится фиолетовым (Ti<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> · nH<sub>2</sub>O, соответственно и потенциал смещается в катодную сторону.

Энергия активации выделения водорода зависит от природы металла и состава раствора. Полученные данные, на первый взгляд, приводят к выводам: на титановой пластине выделение водорода в 1,0 моль/дм<sup>3</sup> серной кислоте происходит легче (на активированной поверхности даже без наложения тока за счет химического взаимодействия), но энергия активации процесса переноса является наивысшей. На латуни - наоборот, перенапряжение выделения водорода является наибольшей, однако энергия активации процесса переноса заряда является наименьшей. Для использования в качестве катодного материала лучше брать нержавеющую сетку, как более устойчивую в растворе и с меньшим перенапряжением выделения водорода чем на латуни. Для более точных выводов необходимо четко определить исходные данные по электродным материалам и конечную цель исследования.

В данном случае энергия активации показывает, как будет меняться скорость реакции при увеличении температуры. Чем ниже энергия активации процесса, тем скорость будет расти быстрее при одинаковых прочих условиях электролиза, но на разных материалах электрода.

**Перенапряжение выделения кислорода.** Большинство анодов, которые используются в электрохимической промышленности, имеют существенные недостатки: плохая устойчивость в электролитах, малая электропроводность, токсичность, высокая стоимость. Поэтому возникает потребность выявления более перспективных анодных материалов, которые могли быть использованы в технологии синтеза сульфата титана(III). В связи с этим, следует обратить внимание на высокую химическую устойчивость к электрохимическим процессам диоксида марганца в различных средах. На практике используются оксидно-марганцевые покрытия на пористом или гладком титане в качестве анода.

При проведении электролиза в растворах серной кислоты в цветной металлургии используются аноды с нанесенным на титан активным слоем MnO<sub>2</sub>, который является полупроводником n – типа. Для предотвращения разрушения диоксида марганца, его наносят многослойно или в качестве подложки используют ОРТА. Чтобы избежать образования оксидной пленки титана между MnO<sub>2</sub>, на поверхность его наносят слой платины или палладия. Рекомендуется также нанесение на поверхность титана, железа, углерода или его азотирование.

Однако такие аноды являются дорогими и их надежность находится под сомнением, т.к. не исключается что при эксплуатации титанового анода с MnO<sub>2</sub> образование микротрещин или других повреждений слоя, что, естественно, ведет к его полному разрушению. В связи с этим, нами была предпринята попытка по выявлению новых материалов для анода при работе в сернокислотных растворах.

Дискриминация материалов для анода была проведена в количестве 8 наименований: титан-MnO<sub>2</sub>, [нержавеющая сталь №1]-MnO<sub>2</sub>, [нержавеющая сталь №2]-MnO<sub>2</sub>, тефлон-графит, углеродная ткань «Хортица», стеклоуглерод, оксиднорутениевый титановый анод (ОРТА), свинец.

В связи с изложенным заданием, следует изучить, как на электрохимические характеристики анодов из MnO<sub>2</sub> влияет его полупроводниковая природа окисного слоя. Поэтому нами были изготовлены титановый анод и анод из нержавеющей

стали с пятикратным покрытием  $\text{MnO}_2$  химическим способом при температуре  $160 - 200^\circ\text{C}$ , рис. 1 и 2.

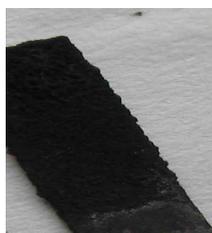
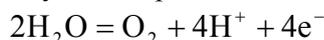


Рис. 1. Титановая пластинка с 5-кратным нанесением  $\text{MnO}_2$ .



Рис. 2. Нержавеющая сетка, составленная в 4 слоя с 5-кратным нанесением  $\text{MnO}_2$ .

Определение перенапряжения выделения кислорода из молекул воды в кислых растворах выполнено с учетом следующих представлений:



Кислород на аноде выделяется при потенциале ( $E_j$ ), который является более положительным, нежели потенциал обратимого кислородного электрода в данных условиях. Разницу между потенциалом электрода под током и равновесным потенциалом кислородного электрода устанавливали по формуле:

$$\eta_{\text{O}_2} = E_j - E_p,$$

где  $\eta_{\text{O}_2}$  - перенапряжение выделения кислорода.

Исходя из графических расчетов данных рис. 3, формула Тафеля для выделения кислорода на титановой пластине с покрытием  $\text{MnO}_2$  имеет вид:

$$\eta = 0,69 + 0,331 \lg j; \quad a = -2,3 \frac{RT}{(1-\alpha)nF} \lg j_0 = 0,69; \quad b = 2,3 \frac{RT}{(1-\alpha)nF} = 0,33;$$

$$\text{коэффициент переноса } \beta = 1 - \alpha = 2,3 \frac{RT}{nFb} = 0,96; \quad \text{ток обмена}$$

$$j_0 = 10^{-\frac{a\beta nF}{2,3RT}} = 10^{-\frac{a}{b}} = 0,008 \text{ (A/cm}^2\text{)}.$$

Нанесение  $\text{MnO}_2$  электрохимическим или химическим способом (лучший вариант) на нержавеющую сетку, из которой был изготовлен каркас, путем сложения её в несколько слоев, было значительно легче, нежели нанесение на гладкую поверхность титановой пластины. Данным методом можно обеспечить лучшую устойчивость анодов, даже при их частичном разрушении, а также большую площадь рабочей поверхности электрода.

Зависимость логарифма плотности силы тока от перенапряжения для нержавеющей сетки, покрытой  $\text{MnO}_2$  (терм.) в растворе  $1,0 \text{ моль/дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$  при температуре  $15^\circ\text{C}$ :

$$\eta = 0,25 + 0,1021 \lg j; a = 0,25; b = 0,102; \text{коэффициент переноса } \beta = 0,85$$

$$\text{ток обмена } j_0 = 10^{-\frac{a\beta nF}{2,3RT}} = 10^{-\frac{a}{b}} = 0,0035 \text{ (A/см}^2\text{)}.$$

Общие сведения о результатах исследований сопоставлены на рис.3.

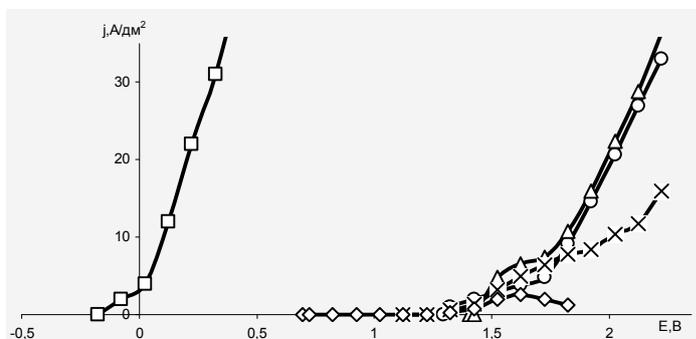


Рис. 3. Сравнение зависимостей плотности силы тока от напряжения для различных материалов в растворе 1,0 моль/дм<sup>3</sup>,  $t = 15^\circ\text{C}$  (□ - титановая пластина; Δ - нержавеющая сетка, покрытая  $\text{MnO}_2$  (терм.); ○ - титановая пластина, покрытая  $\text{MnO}_2$  (терм.) x - нержавеющая сетка, покрытая  $\text{MnO}_2$  (электрохим.) ◇ - нержавеющая сетка).

Анализ рис.3. показывает, что титановая пластина пассивируется и полностью разрушается в исследуемом растворе, нержавеющая сталь при анодной поляризации - пассивируется (плотность тока до 3  $\text{A/дм}^2$ ), покрытие электродов диоксидом марганца защищает основу анода и позволяет достичь высоких плотностей тока. Электрохимический способ нанесения  $\text{MnO}_2$  является более сложным в реализации и менее надежен. В промышленности используют аноды на основе титана, но как показали результаты наших исследований, лучше использовать аноды из нержавеющей стали (сетка), в виде каркасных объемных электродов.

С целью проведения экспресс-дискриминации материалов для анодов, нами была предпринята попытка исследовать изготовленные аноды при постоянном напряжении 3,5 В и расположением их по максимальному анодному значению плотности тока. Выбор пал на восемь наименований, возможных к применению в качестве анода, результаты которых представлены в таблице по возрастанию  $i_a$ ,  $\text{A/дм}^2$ . Ограничения в эксперименте по напряжению обусловлены технологическим процессом синтеза сульфата титана(III), а именно:  $U = < 3,5 > \text{В}$  и  $i_a = < 5,0 > \text{A/дм}^2$ .

Применимость материала для анода считается тогда возможным, когда значение  $i_a$  будет превышать 5,0  $\text{A/дм}^2$ . Естественно, этот вывод является одним из первых в дискриминации материалов. Последующей процедурой является выявление устойчивости анода в растворах электролитов, затем токсичность материала и его стоимость. Из таблицы 1 следует, что перспективным материалом для анода является нержавеющая сталь (сетка) -  $\text{MnO}_2$ .

**Таблица 1.**  
**Максимальные значения плотности тока на анодах из различных материалов**  
**в 15 % растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ( $\chi = 40,09$  См/м) при напряжении 3,5 В,  $t = 25$  °С**

Материалы анода	Тефлон-углерод	Углеродная ткань «Хортица»	Стеклоуглерод	Нержавеющая сталь- MnO <sub>2</sub>	Свинец	Нержавеющая сталь № 1	Нержавеющая сталь № 2	Оксиднор-тенивый титановый анод, ОРГА
$i_a, \text{А/дм}^2$	0,39	0,91	4,08	8,26	8,77	12,65	18,79	19,89

### ВЫВОДЫ

1. Эффективное использование электрохимического выделения атомарного водорода, как восстановителя, зависит от использования сплавов металлов (нержавеющая сталь), оксидных покрытий электродов (нерж. сталь – MnO<sub>2</sub>,  $W_e = 49,9$  кДж·моль<sup>-1</sup>), различных форм катодов и анодов, обязательное обеспечение динамических, температурных режимов в электролизерах при плотности тока  $5,0 \pm 0,1$  А/дм<sup>2</sup> и напряжении 3,5 – 3,8 В.
2. Определена зависимость плотности силы тока от напряжения для различных катодов при 15 и 50 °С, анодов – при 15 °С в растворе 1,0 моль/дм<sup>3</sup>.
3. Разработан экспресс-метод дискриминации материалов для анодов по значениям максимальной плотности тока при постоянном напряжении. Разработан анод состава: нержавеющая сетка, упакованная в четыре слоя, с нанесенным на неё пятикратного слоя MnO<sub>2</sub>.

### Список литературы

1. Машковский М.Д. Лекарственные средства: в 2 т. / М.Д. Машковский. – [13-е изд.]. – Харьков: Торсинг, 1997. – Т. 1. – 1997. – 560 с.
2. Поллер З. Химия на пути в третье тысячелетие / Поллер З. – М. : Мир, 1982. – 400 с.
3. Левин А.И. Теоретические основы электрохимии / Левин А.И. – М. : Металлургия, 1972. – 544 с.
4. Фрумкин А.Н. Перенапряжение водорода. Избранные труды / Фрумкин А.Н. – М. : Наука, 1988. – 240 с.
5. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія / Антропов Л.І. – К. : Либідь, 1993. – 544 с.
6. Дамаскин Б.Б. Электрохимия / Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. – М. : Химия, Колос, 2006. – 672 с.
7. Разработка электролизеров для синтеза сульфата титана(III) в сернокислотных растворах / А.А. Федоренко, А.М. Шитманюк, Е.Д. Першина [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология и химия». – 2011. – Т. 24 (63), № 3. – С. 197–201.
8. Федоренко А.А. Разработка технологии электрохимического синтеза сульфата титана(III) и методов его контроля / А.А. Федоренко, Е.Д. Першина, А.М. Федоренко // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – №4 (2). – С. 241–243.

**Федоренко А.О.** Дискримінація матеріалів катодів і анодів для електрохімічного синтезу сульфату титана(III) / **А.О. Федоренко** // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2012. – Т. 25 (64), № 3. – С. 316-325.

Досліджена серія матеріалів для виготовлення катодів і анодів, використовуваних в сірчано-кислих розчинах з метою виявлення щільності струму, стійкості, токсичності, а також їх вартості. Аналіз був виконано за даними перенапруги водню і кисню в 1,0 моль/дм<sup>3</sup> розчинах сірчаної кислоти, а також за результатами електросинтезу сульфату титану(III) при щільності струму 5,0 А/дм<sup>2</sup> і напрузі 3,5 - 4,0 В. Встановлено, що оптимальними катодними матеріалами є ніобій або нержавіюча сталь, анодними - нержавіюча сталь, покрита 5-кратним шаром діоксиду марганцю. Визначена енергія активації електрохімічної системи.

**Ключові слова:** електролізери, перенапруження по водню і кисню, катод, анод, електрохімічний синтез, сульфат титану(III), вихід по струму, діоксиди, енергія активації.

**Fedorenko A.A.** Cathodes and anodes discrimination materials for electrochemical synthesis of titanium sulfate(III) / **A.A. Fedorenko** // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2012. – Vol. 25 (64), No. 3. – P. 316-325.

The series of materials for production of cathodes and anodes used in sulfuric acid solutions with a view to identifying current density, stability, toxicity, as well as their value. Analysis is made according to the surge of hydrogen and oxygen in 1.0 mole/dm<sup>3</sup> sulphuric acid solutions, as well as the electrosynthesis titanium sulfate(III) current density 5,0 A/dm<sup>2</sup> and 3,5-4,0 V. Found that the optimum cathode materials are stainless steel, niobium, or anode – stainless steel coated 5-multiple layer of manganese dioxide. Define activation energy of electrochemical system.

**Keywords:** cells, hydrogen and oxygen tension, cathode, anode, electrochemical synthesis of titanium sulfate(III), output over-current dioxides, activation energy.

*Поступила в редакцію 17.09.2012 г.*