

UDC 541.1.38

## Electrochemical behavior of copper at polarization by commercial alternating current in neutral or acidic media

A.B. Bayeshov<sup>1</sup>., A.S. Kadirbayeva<sup>2</sup>., A.K. Bayeshova<sup>3</sup>

[altinay\\_aidyn2789@mail.ru](mailto:altinay_aidyn2789@mail.ru), [bayeshov@mail.ru](mailto:bayeshov@mail.ru), [azhar\\_b@bk.ru](mailto:azhar_b@bk.ru)

<sup>1, 4</sup>«Institute of Organic Catalysis and Electrochemistry of D.V. Sokolsky», Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh-British technical university

<sup>3</sup>Kazakh national university named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

**Key words:** the copper electrodes, electrolysis, synthesis, alternating current, period, polarization.

**Abstract.** The electrochemical behavior of copper in solutions of sodium chloride, hydrochloric acid and sulfuric acid at a polarization by alternating current with the use of two half-periods was investigated. The possibility of obtaining of inorganic copper compounds with a yield on a current twice as many at polarization by industrial alternating current of the pairs of electrodes "copper-titanium", connected among themselves in parallel and installed in two different cells was shown. Possibility of the use of two half-periods of alternating current is first shown. The effect of current density on the titanium electrode for yield on a current of copper dissolution at polarization by alternating current in the solutions of sodium chloride and sulfuric acid was investigated. It was calculated the yield on a current of formation of copper oxide (I) in a first electrolyzer and it was 98.6% and in the second electrolyzer - 99.7%. It was established the character of the influence of the current density on the titanium electrode on the yield on a current of formation of copper chloride (I) at the polarization by an alternating current of two pairs of electrodes "copper-titanium", immersed in a solution of hydrochloric acid in the two cells and it was calculated the yield on a current of formation of copper chloride (I) which was equal to 79% in the first electrolysis, and in the second - 81%. For the first time the possibility of increase of the productivity of process of obtaining of inorganic copper compounds in two times at polarization by alternating current with the use of two it's half-periods was shown.

УДК 342.7(574)

## Өндірістік айнымалы токпен поляризацияланған мыс электродының бейтарап және қышқылды орталардағы электрохимиялық қасиеттері

Ө.Б.Баешов<sup>1</sup>, А.С. Кадирбаева<sup>2</sup>, А.Қ. Баешова<sup>3</sup>  
[altinay\\_aidyn2789@mail.ru](mailto:altinay_aidyn2789@mail.ru), [bayeshov@mail.ru](mailto:bayeshov@mail.ru), [azhar\\_b@bk.ru](mailto:azhar_b@bk.ru)

<sup>1</sup>«Д.В.Сокольский атындағы органикалық катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ-Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

**Кілт сөздер:** мыс электроды, электролиз, синтез, айнымалы ток, период, поляризация.

**Андағна.** Мыс электродының электрохимиялық қасиеті натрий хлориді, тұз қышқылы және күкірт қышқылы ерітінділерінде айнымалы токтың екі жартылай периодтымен поляризациялау арқылы зерттелінді. Мыс электродтарын титан электродтарымен жұптастырып, электродтарды екі электролизерге орнатып, оларды бір-бірімен тізбекке өзара паралельді жалғап, өндірістік жиіліктегі айнымалы токпен поляризациялау арқылы мыстың бейорганикалық қосылыстарының түзілуінің ток бойынша шығымдарын екі есе арттыруға болатындығы көрсетілді. Алғаш рет айнымалы токтың екі жартылай периодтарын пайдалануға болатындығы көрсетілген.

Айнымалы токпен поляризацияланған мыс электродтарының натрий хлориді, күкірт қышқылы ерітінділерінде еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері зерттелінді. Екі электролизердегі ток тығыздықтары 25-100 кА/м<sup>2</sup> аралығында зерттеліп, мыс (I) оксидінің түзілуінің ток бойынша шығымдары бірінші электролизерде - 98,6%-ға, ал екінші электролизерде - 99,7%-ға дейін жоғарылайтындығы байқалды. Ал, мыс сульфатының түзілуінің ток бойынша шығымдары бірінші электролизерде - 95% - ды, ал екінші электролизерде - 99,3 %-ды құрады.

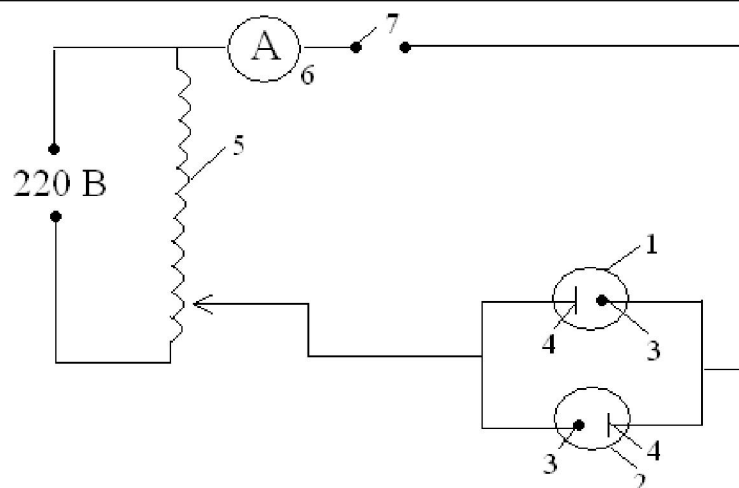
Тұз қышқылы ерітіндісі бар екі электролизерге батырылған «мыс-титан» электродтарының екі жұбын айнымалы токпен поляризациялау кезіндегі мыс (I) хлоридінің түзілуінің ток бойынша шығымына титан электродтарындағы ток тығыздықтарының әсері 50-300 кА/м<sup>2</sup> аралығында зерттелінді және мыс (I) хлоридінің түзілуінің ток бойынша шығымы бірінші электролизерде - 79%-ды, ал екінші электролизерде - 81%-ды құрады.

Алғаш рет айнымалы токтың екі жартылай периодын пайдалана отырып, мыстың бейорганикалық қосылыстарының алыну өнімділігін екі есеге жуық шамаға арттыруға болатындығы көрсетілді.

Бейорганикалық және органикалық заттардың синтезінде электрохимиялық әдістердің маңызы зор. Электрохимиялық әдістің артықшылығы - электролиз жағдайын өзгертіп, процестің жылдамдығы мен бағытын басқара отырып, бір шикізат көзінен табиғаты мен құрамы әртүрлі бірнеше жоғары сапалы өнімді алуға мүмкіндік береді [1, 2].

Өндірістік айнымалы ток кең мағынасында – бір секунд уақыт ішінде бағыты мен шамасын периодты түрде өзгеріп отыратын электр тогы. Өндірісте синусойдалы айнымалы ток түрі қолданылады. Ток күші (және кернеу) өзгерісі қайталанатын уақыттың ең қысқа аралығы период (T) деп аталады. Периодтың бір бағытын «оң» деп санап осының жоғары бөлігіне орналастырады, ал екінші бағытын «теріс» деп осының төменгі бөлігіне орналастырады [3].

Мыс электродының натрий хлориді, тұз қышқылы және күкірт қышқылы ерітінділерінде электрохимиялық қасиеттерін зерттеуге арналған тәжірибелер термостатталған екі шыны электролизерлерде жүргізілді (1-сурет). Электродтар ретінде титан сымдары (аудандары  $3 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>) және мыстан жасалған (өлшемі  $13,68 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>) тік бұрышты пластинкалар қолданылды. Екі электролизер электрохимиялық тізбекте бір-бірімен паралельді жалғанған. Бірінші электролизердің (1) оң жақ бөлігіне - титан сым (3), ал сол жақ бөлігіне - мыс электроды (4), ал екінші электролизерде (2) электродтар қарама-қарсы орнатылған. Бұл жұмыста алғаш рет айнымалы токтың екі жартылай периодтарын қолдануға болатындығы көрсетілген. Айнымалы ток көзі ретінде лабораториялық трансформатор (ЛАТР) қолданылды.



1,2 – бірінші және екінші электролизер, 3 - титан электродтары, 4 - мыс электродтары,  
5- айнымалы ток көзі - ЛАТР, 6 – амперметр, 7- кілт;

1-сурет. Мыс электродын айнымалы токпен поляризациялау арқылы ерітуге арналған қондырғының принципияльді схемасы

Айта кететін жағдай, бұрынғы жүргізілген тәжірибелер нәтижелері, екі мыс электродын өндірістік айнымалы токпен поляризациялағанда электродтардың ерімейтіндігі, ал енді мыс электродының біреуін титан сыммен алмастырса, мыс электродының ерітіндіде  $\text{Cu}(\text{I})$  иондарын түзе отырып, қарқынды ерітіндігі анықталды.

Алдын-ала жүргізілген зерттеулер натрий хлориді ерітіндісіне бір электролизерде батырылған «мыс-титан» бір жұп электродтары арқылы жиілігі 50 Гц айнымалы ток өткізгенде мыс (I) оксидінің түзілетіндігін көрсетті [4].

Айнымалы токпен поляризациялау кезіндегі натрий хлориді ерітіндісінде мыстың еруінің ток бойынша шығымына (ТШ) титан электродындағы ток тығыздығының әсері зерттелінді (1-кесте). Титан электродындағы ток тығыздығын арттыру барысында, мыс электродының еруінің ток бойынша шығымының алғашқыда жоғарылап, содан соң төмендейтіндігі байқалады. Ток тығыздықтарын  $75\text{-}100 \text{ кА/м}^2$  аралығында жоғарылатқанда, мыс (I) оксидінің түзілуінің ток бойынша шығымы 90 %-дан асатынын төмендегі кестеден байқауға болады.

1-кесте. Айнымалы токпен поляризацияланған мыс электродының еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері ( $i_{\text{Cu}} = 300 \text{ А/м}^2$ ,  $[\text{NaCl}] = 50 \text{ г/л}$ ,  $\tau = 0,5 \text{ ч}$ ,  $t = 20^\circ\text{C}$ )

$i_{\text{Tt}}$ , $\text{кА/м}^2$	0	25	50	75	100	125	150	200
ТШ, %	0	18,8	58,9	99,2	90,3	85,6	80,0	75,6

Ал, осы жұмыста ұсынылып отырған принципияльды схеманы (1-сурет) пайдалану арқылы айнымалы токтың екі жартылай периодтарын қолдану кезінде натрий хлориді ерітіндісі бар екі электролизерде батырылған «мыс-титан» екі жұп электродтары арқылы жиілігі 50 Гц айнымалы ток өткізгенде, екі электролизерде де мыс (I) оксидінің түзілетіндігі байқалды. Бір электролизерде батырылған «мыс-титан» жұбы электродтарын пайдаланған кездегі жұмыспен салыстырғанда, екі электролизерде бірдей уақыт ішінде мыс (I) оксидін екі есе көп мөлшерде алуға болатындығы анықталды.

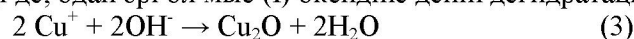
Хлоридті ерітіндіде электролизерде айнымалы токтың анодты жартылай периодында мыс бір валентті иондарын түзе отырып ериді:



ал, осы сәтте катодты жартылай периодында болатын титан электродында сутегі газы бөлінеді:



Ерітінді көлемінде мыс (I) иондары және гидроксид-иондары өзара бір-бірімен әрекеттесіп мыс (I) гидроксидін түзеді де, одан әрі ол мыс (I) оксидіне дейін дегидратацияланады:

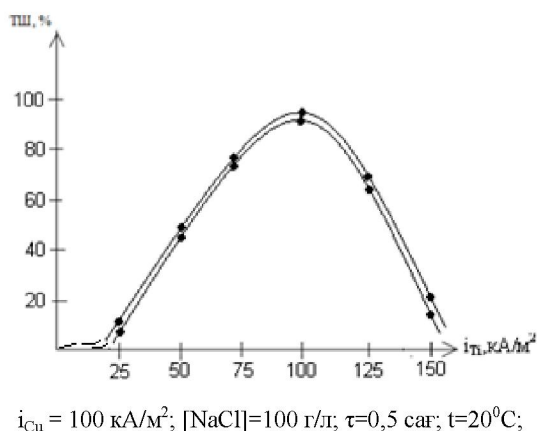


Электрохимиялық тізбектен өндірістік айнымалы ток өткенде, натрий хлориді ерітіндісі бар бірінші электролизердегі мыс электроды анодты жартылай периодтың (1) реакция бойынша мыс (I) иондарын түзе ериді. Ал, осы сәтте титан электроды айнымалы токтың катодты жартылай периодтың (2) реакция бойынша гидроксид иондары түзіледі, әрі қарай ерітіндіде (3) реакцияның жүруімен мыс (I) оксидінің түзілуі іске асады. Мыс электроды катодты жартылай периодтың (4) болғанда, титан электроды анодты жартылай периодта болады, бұл кезде, титан электродының бетінде жартылай өткізгіш қасиетке ие өте жұқа оксидтік пленка ( $Ti_xO_y$ ) пайда болып, нәтижесінде токтың бірінші электролизерден өтуі тоқтайды. Бұл кезде параллельді жалғанған екінші электролизердегі мыс электроды – анодты жартылай периодта болып мыс (I) иондарын түзе ериді, дәл осы сәтте бұл электролизердегі титан электроды – катодты жартылай периодта болғандықтан, оның бетінде (2) реакция бойынша сутегі түзіледі. Ал екінші электролизердегі титан электроды айнымалы токтың анод жартылай периодтың (5) болғанда, екінші электролизерден токтың өтуі тоқтап қалады да, ток бірінші электролизер арқылы өтеді. Бұл цикл екі электролизерде жиілігі 50 Гц айнымалы токтың әр жартылай периодтың қайталанып отырады және екі жартылай периодтарда да мыс (I) оксидінің түзілуі іске асып, нәтижесінде оның өнімділігі көбейеді.

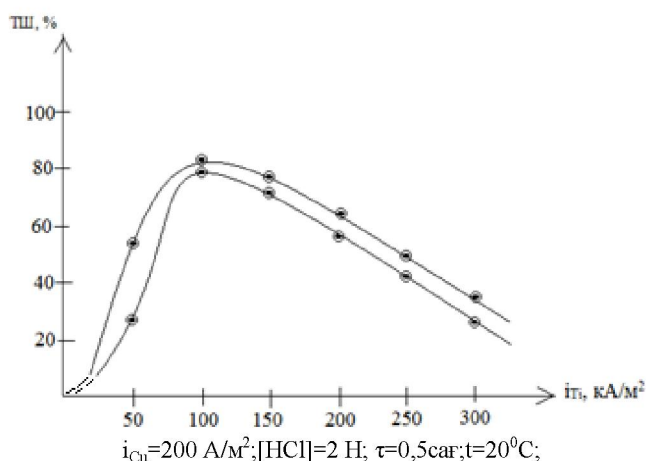
Айнымалы токпен поляризацияланған мыс электродтарының еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері зерттелінді (2-сурет). Екі электролизердегі ток тығыздықтары 25-100  $кА/м^2$  аралығында мыс (I) оксидінің түзілуінің ток бойынша шығымдары бірінші электролизерде - 98,6% -ды ал, екінші электролизерде - 99,7 %-ға дейін жоғарылайтындығы байқалды. Суреттен көріп отырғанымыздай, тиімді жағдайларда екі электролизердің әр қайсысында мыс (I) оксидінің түзілуінің ток бойынша шығымы 98 %-дан жоғары мәнді көрсетеді. Екі электролизердегі мыс (I) оксидінің түзілуінің ток бойынша шығымдарының арасындағы болмашы айырмашылықты мыс-титан электродтарын электролизерге орнату кезінде электрод аумағының немесе олардың арасындағы ара қашықтықтың әртүрлі болуына, байланысты деп түсіндіруге болады. Ал, ток тығыздығын ары қарай арттыру мыс (I) оксидінің түзілуінің ток бойынша шығымының төмендеуіне әкеп соғатындығын көрсетті. Бұл құбылыс қосымша реакциялардың жүруімен байланысты немесе титанның бетінде түзілетін жартылай өткізгіш  $Ti_xO_y$  пленкасының құрылымының өзгеруімен деп жорамалдауға болады.

Тұз қышқылы ерітіндісінде «мыс-титан» жұбы электродтары арқылы жиілігі 50 Гц айнымалы ток өткізгенде мыс (I) хлоридінің түзілетіндігін бұрын біз жүргізген зерттеулерден [5] белгілі.

Тұз қышқылы ерітіндісі бар екі электролизерге батырылған «мыс-титан» екі жұп электродтарын айнымалы токпен поляризациялау кезіндегі мыс (I) хлоридінің түзілуінің ток бойынша шығымына титан электродтарындағы ток тығыздықтарының әсері 50-300  $кА/м^2$  аралығында зерттелінді (3-сурет). Екі электролизердегі титан электродтарындағы ток тығыздықтарын 50-100  $кА/м^2$  аралығында арттырғанда, мыс (I) хлоридінің түзілуінің ток бойынша шығымы бірінші электролизерде - 79%-ды, ал екінші электролизерде - 81%-ды құрады. Ток тығыздығын біртіндеп арттыру, мыс (I) хлоридінің түзілуінің ток бойынша шығымдарының күрт төмендеуіне әкелді.



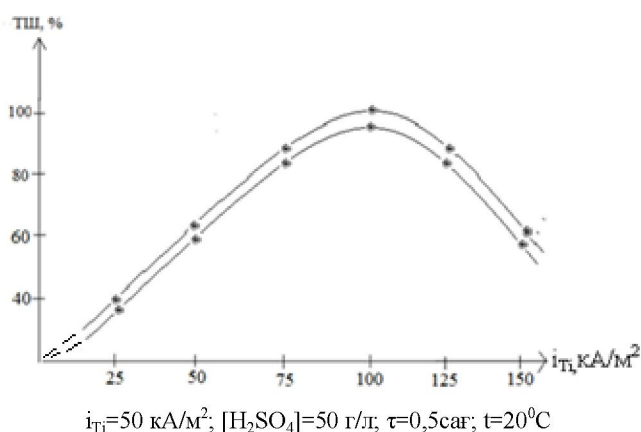
2-сурет. Айнымалы токпен поляризацияланған натрий хлориді ерітіндісінде мыс электродының еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері



3-сурет. Айнымалы токпен поляризацияланған тұз қышқылы ерітіндісінде мыс электродының еруінің ток бойынша шығымына мыс электродындағы ток тығыздығының әсері

Күкірт қышқылы ерітіндісінде «мыс-титан» жұбы электродтары арқылы жиілігі 50 Гц айнымалы ток өткізгенде мыс сульфатының түзілетіндігін бұрын біз жүргізген зерттеулерден [6] белгілі.

Күкірт қышқылы ерітіндісіндегі екі электролизерге батырылған «мыс-титан» екі жұп электродтарын жиілігі 50 Гц өндірістік айнымалы токпен поляризациялау кезіндегі мыс сульфатының түзілуінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері зерттелінді (4-сурет). Ток тығыздықтарын 25-150  $\text{A/m}^2$  аралығында арттырғанда, мыс сульфатының түзілуінің ток бойынша шығымдары максимум арқылы өтетіндігі байқалды. Ток тығыздығы 100  $\text{A/m}^2$  болғанда, мыс сульфатының түзілуінің ток бойынша шығымдары бірінші электролизерде - 95% - екінші электролизерде – 99,3 %-ды құрады. Ток тығыздықтарын ары қарай арттыру мыс сульфатының түзілуінің ток бойынша шығымының төмендеуіне әкеледі.



4-сурет. Айнымалы токпен поляризацияланған күкірт қышқылы ерітіндісінде мыс электродтарының еруінің ток бойынша шығымына мыс электродындағы ток тығыздығының әсері

Қорытындылай келе, алынған зерттеу нәтижелері негізінде мыс электродтарын титан электродтарымен жұптастырып, электродтарды екі электролизерге салып оларды бір-бірімен тізбекке өзара паралельді жалғап, өндірістік жиіліктегі айнымалы токпен поляризациялау арқылы мыстың бейорганикалық қосылыстарының түзілуінің ток бойынша шығымдары екі еселеп алуға болатындығы алғаш рет көрсетілді. Ұсынылып отырған жұмыста алғаш рет айнымалы токтың екі жартылай периодын пайдалана отырып, мыстың бейорганикалық қосылыстарының екі есеге жуық көп мөлшерде алуға болатындығы көрсетілді.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Баешов А.Б. Электрохимические процессы при поляризации нестационарными токами // Известия НАН РК. Серия химии и технологии. 2011. № 2. С. 3-23.
- [2] Баешов А., Баешова А.К. Электрохимические способы получения неорганических веществ. Lambert, Academic Publishing, Германия, 2012, - 72 с.
- [3] Шульгин Л.П. Электрохимические процессы на переменном токе. – Л.: Наука, 1974. - 74 с.
- [4] Кадирбаева А.С., Баешов Ә.Б., Баешова А.Қ. Өндірістік айнмалы токпен поляризацияланған мыс электродының натрий хлориді ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеттері // «Академик Е.А. Бөкетовтің ғылыми және шығармашылық мұрасы атты Е.А. Бөкетовтің 90 жылдығына арналған Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы. – Қарағанды, 2015. – С. 227-232.
- [5] Баешов А.Б., Кадирбаева А.С. Тұз қышқылы ерітіндісінде өндірістік айнмалы токпен поляризацияланған мыстың еруі. «Актуальные вопросы электрохимии и защиты от коррозии в решении экологических проблем» атты I Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы. - Томбов, 2012. - 139-144 бб.
- [6] Баешов А.Б., Кадирбаева А.С., Жұрынов М.Ж., Баешов А.К. Өндірістік айнмалы токпен поляризациялау арқылы мыс (II) сульфатын және хлоридін алу. ҚР ҰҒА Баяндамалары.– 2014. - №4. – 20-24 бб.

REFERENCES

- [1] Bayeshov A.B. *Izvestiya NAS RK*, **2011**, 2, P. 3-23 (in Russ.).
- [2] Bayeshov A., Bayeshova A.K. *Lambert, Academic Publishing*, **2012**, 72 p (in Russ.).
- [3] Shulgin L.P. *L. Nauka*, **1974**, 74 p (in Russ).
- [4] Kadirbayeva A.S., Bayeshov A., Bayeshova A.K. *I Mejdunarodnii nauchno-practicheskaya konferensya*, **2015**, 1, 227-232.
- [5] Bayeshov A., Kadirbayeva A.S. *I Mejdunarodnii nauchno-practicheskaya konferensya*, **2012**, 139-144 (in Kazakh).
- [6] Bayeshov A., Kadirbayeva A.S. Zhurinov M.Zh., Bayeshov A.K. *Dokladi NAS RK*, **2014**, 4, 20-24 (in Kazakh).

**Электрохимическое поведение меди при поляризации промышленным переменным током в нейтральных и кислых средах**

**Ә.Б.Баешов., А.С. Кадирбаева., А.Қ. Баешова**  
[altinay\\_aidyn2789@mail.ru](mailto:altinay_aidyn2789@mail.ru), [bayeshov@mail.ru](mailto:bayeshov@mail.ru), [azhar\\_b@bk.ru](mailto:azhar_b@bk.ru)

**Ключевые слова:** медные электроды, электролиз, синтез, переменный ток, период, поляризация.

**Аннотация.** Исследовано электрохимическое поведение меди в растворах хлорида натрия, соляной и серной кислот при поляризации переменным током с использованием двух полупериодов. Показана возможность получения неорганических соединений меди с выходом по току в два раза больше при поляризации промышленным переменным током пары электродов «медь-титан», соединенных между собой параллельно и установленных в двух разных электролизерах. Впервые показана возможность использования двух полупериодов переменного тока.

Исследовано влияние плотности тока на титановом электроде на выход по току растворения меди при поляризации переменным током в растворах хлорида натрия и серной кислоты. Рассчитан выход по току образования оксида меди (I) в первом электролизере и он составляет 98,6%, а во втором электролизере – 99,7%.

Установлен характер влияния плотности тока на титановом электроде на выход по току образования хлорида меди (I) при поляризации переменным током двух пар электродов «медь-титан», погруженных в раствор соляной кислоты в двух электролизерах и рассчитан выход по току хлорида меди (I), который равен в первом электролизере – 79%, а во втором – 81%.

Впервые показана возможность повышения производительности процесса получения неорганических соединений меди в два раза при поляризации переменным током с использованием двух его полупериодов.

Поступила 12.02.2015 г.