

ҚОЖА АХМЕТ ЯСАУИ АТЫНДАҒЫ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҚАЗАҚ-ТҮРІК
УНИВЕРСИТЕТІ

Жаратылыстану факультеті

ӘОЖ 541.135.7:691.737

Қолжазба құқығында

Әбділда Назерке Шермаханқызы

АЙНЫМАЛЫ ТОКПЕН ПОЛЯРИЗАЦИЯЛАНҒАН МЕЛЬХИОР (Cu-Ni)
ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ҚЫШҚЫЛДЫ СУЛЫ ОРТАДАҒЫ
ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІН ЗЕРТТЕУ

«7M053-Физикалық және химиялық ғылымдар»

«7M05324-Химия» білім беру бағдарламасы бойынша физикалық және
химиялық ғылымдарының магистрі академиялық дәрежесін алу үшін
дайындалған диссертация

Ғылыми жетекшісі:  х.ғ.к., профессор Р.Н. Нүрділлаева
(Т.А.Ә., ғылыми дәрежесі, ғылыми атағы)

Магистрлік диссертация қорғауға жіберілді: «31» 05 2021 ж.

Кафедра меңгерушісі:  х.ғ.к., профессор Р.Н. Нүрділлаева
(Т.А.Ә., ғылыми дәрежесі, ғылыми атағы)



Түркістан, 2021 ж.

АҢДАТПА

Айнымалы және тұрақты токпен поляризацияланған мельхиор электродының қышқылды (HCl) және бейтарап (NaCl) ортадағы электрохимиялық қасиеті алғаш рет зерттелді. Мельхиордың электрохимиялық еруі титан электродымен жұптастырылып жиілігі 50 Гц айнымалы токпен поляризациялау режимінде жүргізілді. Cu-Ni құймасының еруінің ток бойынша шығымына титан (20-120 кА/м²) және мельхиор (200-1200 А/м²) электродындағы ток тығыздығының, ерітінді концентрациясының (0,5-5,0 М), электролиздің жүру уақытының (0,5-1,75 сағ.) және айнымалы ток жиілігінің (50-300 Гц) әсерлері қарастырылды. Зерттеу нәтижесінде құйманың еруінің оңтайлы жағдайлары анықталды:

1) Айнымалы ток режимінде - тұз қышқылы ерітіндісінде: $i_{Ti} = 60$ кА/м², $i_M = 400$ А/м², [HCl] = 0,5 М, $\tau = 0,5$ сағ.; натрий хлориді ерітіндісінде: $i_{Ti} = 100$ кА/м², $i_M = 600$ А/м², [NaCl] = 2,0 М, $\tau = 1,0$ сағ.

2) Тұрақты ток режимінде - тұз қышқылы ерітіндісінде: $i_{Ti} = 60$ кА/м², $i_M = 800$ А/м², [HCl] = 0,5 М, $\tau = 1,5$ сағ.; натрий хлориді ерітіндісінде: $i_{Ti} = 60$ кА/м², $i_M = 400$ А/м², [NaCl] = 1,0 М, $\tau = 1,0$ сағ.

Тұз қышқылының және натрий хлоридінің сулы ерітінділерінде поляризацияланған мельхиор электродының айнымалы ток режимінде Cu (I), Cu (II) және Ni (II) иондарын, ал тұрақты ток режимінде Cu (II) және Ni (II) иондарын түзе қарқынды ерітіндігі байқалды. Мельхиор электродының электрохимиялық қасиетін зерттеу үшін тұрақты токқа қарағанда айнымалы ток режимін қолдану тиімді болатыны айқындалды.

Cu-Ni құймасының айнымалы және анодты ток режимдерінде электрохимиялық еру ерекшелігінің кинетикасы зерттелді. Мельхиор электродының электрохимиялық еруінің ток бойынша шығым мәндерінің электролит концентрациясына тәуелділігінен реакция реті есептеліп, электрохимиялық реакциялардың бірінші ретті екендігін көрсетті. Температуралы-кинетикалық ($\lg TШ - 1/T \cdot 10^3$) әдіспен мыс (I), мыс (II) және никель (II) иондарының активтену энергиясының орташа мәні есептелінді. Айнымалы ток режимінде жүріп жатқан реакцияның тұз қышқылы ерітіндісінде – кинетикалық режимде, натрий хлориді ерітіндісінде – диффузиялық-кинетикалық режимде жүретіндігі анықталды. Анодты ток режимінде екі ортада да Cu^{2+} және Ni^{2+} иондарының активтену энергиясының мәндері жүріп жатқан электрохимиялық реакцияның диффузиялық режимде жүретіндігін айқындады.

Жүргізілген жұмыстың дұрыстығының сапалық көрсеткіштерін анықтау үшін зерттеу нәтижелерін математикалық статистика тәсілімен өңдеу жүргізіліп, математикалық статистикалық шама мәндерінің бірден төмен болуы жүргізілген жұмыстың дәлдігінің жоғары екендігін көрсетті.

Кілт сөздері: мельхиор, Cu-Ni құймасы, айнымалы ток, титан электроды, тұз қышқылы, электролиз, ток тығыздығы, ток бойынша шығым.

АННОТАЦИЯ

Впервые исследовано электрохимическое свойство мельхиорового электрода поляризованного переменным и постоянным током в кислой (HCl) и нейтральной (NaCl) среде. Электрохимическое растворение мельхиора проводили в режиме поляризации переменным током частотой 50 Гц в паре с титановым электродом. Рассмотрено влияние плотности тока на титановом (20-120 кА/м²) и мельхиоровом (200-120 А/м²) электроде, концентрации раствора (0,5-5,0 М), продолжительности электролиза (0,5-1,75 ч.) и частоты переменного тока (50-300 Гц) на выход по току растворения сплава Cu-Ni. В результате исследования были определены оптимальные условия растворения сплава:

1) В режиме переменного тока - в растворе соляной кислоты: $i_{Ti} = 60$ кА/м², $i_M = 400$ А/м², [HCl] = 0,5 М, $\tau = 0,5$ ч.; в растворе хлориде натрия: $i_{Ti} = 100$ кА/м², $i_M = 600$ А/м², [NaCl] = 2,0 М, $\tau = 1,0$ ч.

2) В режиме постоянного тока - растворе соляной кислоты: $i_{Ti} = 60$ кА/м², $i_M = 800$ А/м², [HCl] = 0,5 М, $\tau = 1,5$ ч.; в растворе хлорида натрия: $i_{Ti} = 60$ кА/м², $i_M = 400$ А/м², [NaCl] = 1,0 М, $\tau = 1,0$ ч.

В водных растворах соляной кислоты и хлорида натрия наблюдалась интенсивное растворение поляризованного мельхиорового электрода с образованием ионов Cu (I), Cu (II) и Ni (II) в режиме переменного тока, а в режиме постоянного тока - ионов Cu (II) и Ni (II). Для исследования электрохимических свойств мельхиорового электрода было установлено, что использование режима переменного тока более эффективно, чем постоянного тока.

Исследована кинетика особенностей электрохимического растворения сплава Cu-Ni в режимах переменного и постоянного тока. Определен порядок реакции в зависимости от концентрации электролита из значений выхода по току электрохимического растворения мельхиорового электрода, что указывает о первом порядке электрохимической реакции. Температурно-кинетическим методом ($\lg TШ-1/T \cdot 10^3$) рассчитаны средние значения энергии активации ионов меди (I), меди (II) и никеля (II). Установлено, что реакция, протекающая в режиме переменного тока, протекает в растворе соляной кислоты - в кинетическом режиме, в растворе хлорида натрия - в диффузионно-кинетическом режиме. При постоянно-токовом режиме значения энергии активации ионов Cu²⁺ и Ni²⁺ в обеих средах показало что протекающая электрохимическая реакция протекает в диффузионном режиме.

Для определения качественных показателей корректности проведенной работы результаты исследования обработаны методом математической статистики, которая показала высокую точность проведенной работы при одновременном низком значении математической статистической величины.

Ключевые слова: мельхиор, сплав Cu-Ni, переменный ток, титановый электрод, соляная кислота, электролиз, плотность тока, выход по току.

ABSTRACT

The electrochemical behavior of the cupronickel electrode polarized by alternating and direct current in acidic (HCl) and neutral (NaCl) media has been studied for the first time. The electrochemical dissolution of cupronickel was carried out in a polarization mode with a frequency of 50 Hz in pairs with a titanium electrode. The influence of the current density on the titanium (20-120 kA/m²) and cupronickel (200-120 A/m²) electrode, the concentration of the electrolyte solution (0.5-5.0 M), the electrolysis duration (0.5-1.75 h.) and the alternating current frequency (50-300 Hz) was considered to the current efficiency of Cu-Ni alloy dissolution. As a result of the study, the optimal conditions for the dissolution of the alloy were determined:

1) In alternating current mode - in hydrochloric acid solution: $i_{Ti} = 60 \text{ kA/m}^2$, $i_M = 400 \text{ A/m}^2$, $[\text{HCl}] = 0,5 \text{ M}$, $\tau = 0,5 \text{ h.}$; in sodium chloride solution: $i_{Ti} = 100 \text{ kA/m}^2$, $i_M = 600 \text{ A/m}^2$, $[\text{NaCl}] = 2,0 \text{ M}$, $\tau = 1,0 \text{ h.}$

2) In direct current mode - hydrochloric acid solution: $i_{Ti} = 60 \text{ kA/m}^2$, $i_M = 800 \text{ A/m}^2$, $[\text{HCl}] = 0,5 \text{ M}$, $\tau = 1,5 \text{ h.}$; in sodium chloride solution: $i_{Ti} = 60 \text{ kA/m}^2$, $i_M = 400 \text{ A/m}^2$, $[\text{NaCl}] = 1,0 \text{ M}$, $\tau = 1,0 \text{ h.}$

In aqueous solutions of hydrochloric acid and sodium chloride, an intense dissolution of the polarized cupronickel electrode was observed with the formation of Cu (I), Cu (II), and Ni (II) ions in the alternating current mode, and Cu (II) and Ni (II) in the direct current mode. To study the electrochemical properties of the cupronickel electrode, it was found that the use of the alternating current mode is more efficient than the direct current.

The kinetics of the features of the electrochemical dissolution of the Cu-Ni alloy in the alternating and direct current modes has been investigated. The order of the reaction was determined depending on the concentration of the electrolyte from the values of the current efficiency of electrochemical dissolution of the cupronickel electrode, which indicates the first order of the electrochemical reaction. The temperature-kinetic method ($\log CE - 1/T \cdot 10^3$) calculated on the average values of the activation energies of copper (I), copper (II) and nickel (II) ions. It was found that the reaction proceeding in the alternating current mode proceeds in a solution of hydrochloric acid - in the kinetic mode, in a solution of sodium chloride - in the diffusion-kinetic mode. In the direct current mode, the values of the activation energy of Cu^{2+} and Ni^{2+} ions in both media determined that the electrochemical reaction proceeds in the diffusion mode.

To determine the qualitative indicators of the correctness of the work carried out, the results of the study were processed by the method of mathematical statistics, which showed the high accuracy of the work carried out with a simultaneous low value of the mathematical statistical value.

Key words: cupronickel, Cu-Ni alloy, alternating current, titanium electrode, hydrochloric acid, electrolysis, current density, current efficiency.

ÖZET

İlk kez, asidik (HCl) ve nötr (NaCl) bir ortamda alternatif ve DC polarize bir nikel gümüş elektrotun elektrokimyasal özelliği araştırılmıştır. Nikel gümüşün elektrokimyasal çözünmesi, bir titanyum elektrot ile eşleştirilmiş 50 Hz frekansında alternatif bir akım ile polarizasyon modunda gerçekleştirildi. Akım yoğunluğunun titanyum (20-120 kA/m²) ve nikel gümüş (200-120 A/m²) elektrot, çözelti konsantrasyonu (0,5-5,0 M), elektroliz süresi (0,5-1,75 h.) ve AC frekansı (50-300 Hz) üzerinde Cu-Ni alaşımının çözünme akımı çıkışı. Çalışma sonucunda en uygun alaşım çözünme koşulları belirlendi:

- 1) AC modunda: hidroklorik asitte $i_{Ti}= 60 \text{ kA/m}^2$, $i_M= 400 \text{ A/m}^2$, $[\text{HCl}]= 0,5 \text{ M}$, $\tau = 0,5 \text{ h.}$ sodyum klorürde: $i_{Ti}= 100 \text{ kA/m}^2$, $i_M= 600 \text{ A/m}^2$, $[\text{NaCl}]= 2,0 \text{ M}$, $\tau= 1,0 \text{ h.}$
- 2) Anodik akım modunda: hidroklorik asitte: $i_{Ti}= 60 \text{ kA/m}^2$, $i_M= 800 \text{ A/m}^2$, $[\text{HCl}]= 0,5 \text{ M}$, $\tau = 1,5 \text{ h.}$ sodyum klorürde: $i_{Ti}= 60 \text{ kA/m}^2$, $i_M= 400 \text{ A/m}^2$, $[\text{NaCl}]= 1,0 \text{ M}$, $\tau= 1,0 \text{ h.}$

Sulu hidroklorik asit ve sodyum klorür çözeltilerinde, Cu (I), Cu (II) ve Ni (II) iyonlarını AC modunda ve DC modunda Cu (II) ve Ni (II) iyonlarını oluşturmak için polarize nikel gümüş elektrotun yoğun çözünürlüğü gözlenmiştir. Nikel gümüş elektrotun elektrokimyasal özelliklerini araştırmak için, AC modunun dc'den daha etkili olduğu bulunmuştur.

Cu-Ni alaşımının elektrokimyasal çözünme özelliklerinin kinetiği, AC ve Anodik akım modlarında araştırılmıştır. Nikel gümüş elektrodunun elektrokimyasal çözünmesinin akım çıkış değerlerinin elektrolit konsantrasyonuna bağlı olarak, reaksiyon sırası hesaplandı ve elektrokimyasal reaksiyonların birinci dereceden olduğunu gösterdi. Sıcaklık-kinetik yöntem ($\lg TSh - 1/T \cdot 10^3$), bakır (I), bakır (II) ve nikel (II) iyonlarının aktivasyon enerjisinin ortalama değerlerini hesaplar. AC modunda meydana gelen reaksiyonun, hidroklorik asitte – kinetik modda, sodyum klorür çözeltisinde-difüzyon-kinetik modda gerçekleştiği bulunmuştur. Anodik akım modunda, her iki ortamdaki Cu^{2+} ve Ni^{2+} iyonlarının aktivasyon enerjisi değerleri, difüzyon modunda akan elektrokimyasal reaksiyonun meydana geldiğini belirlemiştir.

Yapılan çalışmanın doğruluğunun niteliksel göstergelerini belirlemek için, çalışmanın sonuçlarının matematiksel istatistik yöntemiyle işlenmesi gerçekleştirildi; bu, yapılan çalışmanın yüksek doğruluğunu matematiksel istatistiksel değerin düşük bir değeriyle gösterdi.

Anahtar kelimeler: nikel gümüş, Cu-Ni alaşımı, alternatif akım, titanyum elektrot, hidroklorik asit, elektroliz, akım yoğunluğu, akım çıkışı.

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР	4
БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	5
КІРІСПЕ	6
I МЫС ЖӘНЕ НИКЕЛЬ НЕГІЗІНДЕГІ ҚҰЙМАЛАРДЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ	8
1.1 Мыс және никельдің физика-химиялық қасиеттері	8
1.2 Мельхиор құймасының физика-механикалық қасиеттері	10
1.2.1 Мельхиор құймасының сулы ерітінділердегі коррозиялық қасиеті	15
1.3 Сулы электролиттерде мыс және никельдің электрохимиялық қасиеті	22
1.3.1 Сулы электролиттерде мыс құймаларының электрохимиялық қасиеттері	26
1.4 Айнымалы токты қолдану ерекшелігі	30
1.5 1-бөлім бойынша қорытынды	32
II ЗЕРТТЕУ НЫСАНДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІНЕ СИПАТТАМА	33
2.1 Айнымалы ток режимінде электролиз жүргізу әдістемесі	33
2.2 Ерітіндідегі мыс және никель иондарының мөлшерін анықтау әдістемесі	34
2.2.1 Ерітіндідегі мыс иондарының мөлшерін фотоколориметриялық әдіспен анықтау	34
2.2.2 Ерітіндідегі никель иондарының мөлшерін йод қатысында диметилглиоксим ерітіндісімен фотометриялық әдіспен анықтау	35
2.3 Электродтарды жұмысқа дайындау	36
2.4 Зерттеу нәтижелерін математикалық статистика тәсілімен өңдеу әдістемесі	37
III МЕЛЬХИОР ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЕРУІН ЗЕРТТЕУ	40
3.1 Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының тұз қышқылының сулы ерітіндісіндегі электрохимиялық еруін зерттеу	40
3.1.1 Мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері	40
3.1.2 Cu-Ni құймасының еруінің ток бойынша шығымына мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері	42
3.1.3 Мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына тұз қышқылы концентрациясының әсері	43
3.1.4 Мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына электролиз ұзақтығының әсері	45
3.1.5 Мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына ерітінді температурасының әсері	46

3.1.6	Мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына ток жиілігінің әсері	48
3.2	Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының натрий хлоридінің сулы ерітіндісіндегі электрохимиялық еруін зерттеу	49
3.2.1	Cu-Ni құймасы еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері	49
3.2.2	Cu-Ni құймасы еруінің ток бойынша шығымына мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері	50
3.2.3	Cu-Ni құймасы еруінің ток бойынша шығымына концентрациясының әсері	51
3.2.4	Cu-Ni құймасы еруінің ток бойынша шығымына электролиз ұзақтығының әсері	53
3.2.5	Cu-Ni құймасы еруінің ток бойынша шығымына ерітінді температурасының әсері	54
3.2.6	Cu-Ni құймасы еруінің ток бойынша шығымына ток жиілігінің әсері	56
3.3	Анодты ток режимінде мельхиор электродының электрохимиялық еруі	57
3.3.1	Тұз қышқылы ерітіндісінде тұрақты ток режимінде мельхиор электродының электрохимиялық еруі	57
3.3.2	Натрий хлориді ерітіндісінде тұрақты ток режимінде мельхиор электродының электрохимиялық еруі	62
3.4	Электролиздің тиімді жағдайында тәжірибе нәтижелерін математикалық статистика әдісімен өңдеу	66
3.5	3-бөлім бойынша қорытынды	70
	ҚОРЫТЫНДЫ	72
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	73
	ҚОСЫМШАЛАР	78

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі нормативтік құжаттарға сілтеме көрсетілген:

Қазақстан Республикасының 2007 жылғы 27 шілдедегі № 319 «Білім туралы» Заңы (өзгерістер мен толықтырулар енгізілген нұсқасы жаңа редакцияда ҚРЗ 08.01.2021ж. № 410-VI);

Қазақстан Республикасының 2011 жылғы 18 ақпандағы № 407-IV «Ғылым туралы» Заңы;

«Білім берудің тиісті деңгейлерінің мемлекеттік жалпыға міндетті білім беру стандарттарын бекіту туралы: «Жоғары оқу орнынан кейінгі білім берудің мемлекеттік жалпыға міндетті стандартты Магистратура, Докторантура бекіту туралы» ҚР БҒМ 2018 жылғы 31 қазандағы № 604 бұйрығы (05.05.2020ж. өзгерістермен);

«Оқу-әдістемелік және ғылыми-әдістемелік жұмысты ұйымдастыру және жүзеге асыру қағидаларын бекіту туралы» ҚР БҒМ 2007 жылғы 29 қарашадағы №583 бұйрығы, ҚР БҒМ 2018 жылғы 28 қыркүйектегі №507 өзгерістермен толықтырулар енгізілген бұйрығы;

«Тиісті үлгідегі білім беру ұйымдары қызметінің үлгілік қағидалары бекіту туралы» ҚР БҒМ 2018 жылғы 30 қазандағы №595 бұйрығының «Жоғары және жоғары оқу орнынан кейінгі білім беру ұйымдары қызметінің үлгілік қағидалары»;

Қазақстан Республикасында білім беруді және ғылымды дамытудың 2016-2019 жылдарға арналған мемлекеттік бағдарламасын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2018 жылғы 24 шілдедегі №460 қаулысы;

МЕСТ 3885-73 – Реактивтер мен таза заттар. Сыныма алу, сұрыптау, қаптау және белгілеу;

МЕСТ 4517-2016 – Реактивтер. Анализ барысында қолданылатын қосалқы реактивтер мен ерітінділерді дайындау әдістері;

МЕСТ 6709-72 – Реактивтер. Техникалық шарттары;

МЕСТ 1770-74 – Зертханалық өлшеуіш шыны ыдыстар. Цилиндр, колбалар, пробиркалар. Жалпы техникалық шарттар;

МЕСТ 13646-68 – Дәл өлшеулер үшін шыны сынап термометрі;

МЕСТ 23932-90 – Зертханалық шыны ыдыстар мен құрал-жабдықтар;

МЕСТ 6709-72 – Дистилденген су;

МЕСТ 14919-83 – Электр плитасы

МЕСТ 13938.1-78 – Мыс. Мысты анықтау әдістемесі;

МЕСТ 12352-81 – Никельді анықтау әдістемесі;

МЕСТ 492-2006 – Никель, қысыммен өңделетін никель және мыс-никель құймалары;

МЕСТ 5063-73 – Мыс-никель құймларынан жасалған жолақтар. Техникалық шарттар.

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

i – ток тығыздығы, A/m^2 ;

I – ток күші, A ;

ТШ – ток бойынша шығым, %;

t – температура, $^{\circ}C$;

n – реакция реті;

τ – электролиз ұзақтығы, сағ.;

ν – ток жиілігі, Гц;

E – стандартты электродтық потенциал, V ;

\bar{x} – орташа арифметикалық мән;

$\sum x_i$ – өлшенетін мән суммасы;

n – жүргізілген өлшеу саны;

S_n – орташа квадраттық ауытқу;

S – дисперсия мәні;

$S_{\bar{x}}$ – арифметикалық ортаның квадраттық қателігі;

$\Delta_{\bar{x}}$ – стандартты кездейсоқ қателік;

t_{α} – Стюдент коэффициенті.

КІРІСПЕ

Тақырыптың өзектілігі. Мельхиор – мыстың жоғары коррозиялық төзімді және беріктігі жоғары мыс – никель негізіндегі құймасы. Мыс-никель негізіндегі құймалар өзіне тән сулы ерітінділерде, теңіз суларында және атмосфералық газда коррозиялық тұрақтылық қасиетімен ерекшеленеді. Құйманың ерекше физика- механикалық қасиетіне байланысты кемелерді қаптауда, кеме жабдықтарын жасауда, теңіз электр станцияларында конденсаторға арналған құбырлар, медициналық құралдар, ас үй жабдықтарын жасауда қолданылатындықтан үлкен сұранысқа ие.

Қазіргі таңда мельхиор электродының физика-химиялық, электрохимиялық қасиеттерін зерттеу, құйма қалдықтарын өңдеу тәсілдерін жасау қызығушылық тудырып отыр. Мельхиор құймасының сулы ерітінділердегі электрохимиялық қасиетін, еру кинетикасын зерттеудің теориялық және қолданбалы маңыздылығы бар. Әлемдік деректер базасындағы мыс-никель құймасының коррозиялық және электрохимиялық қасиеттерін зерттеген ғылыми жұмыстарға талдау жасай отырып, мельхиор электродының қышқылды және бейтарап сулы ерітінділердегі электрохимиялық еру ерекшелігі соңына дейін, толығымен зерттелмегендігі анықталды. Сондықтан, бұл электродтың электрохимиялық қасиетін қышқылды және бейтарап сулы ортада зерттеу қазіргі күннің өзекті мәселелерінің бірі болып отыр.

Зерттеу жұмысының мақсаты мен міндеттері. Мельхиор электродының қышқылды (HCl) және бейтарап (NaCl) орталардағы электрохимиялық қасиеттерін жиілігі 50 Гц болатын айнымалы және анодты токпен поляризациялау арқылы зерттеу.

- HCl және NaCl сулы ерітінділерінде айнымалы және анодты токпен поляризацияланған мельхиор электродының электрохимиялық еру ерекшелігін зерттеу;

- Cu-Ni құймасының еруінің ток бойынша шығымына негізгі электрохимиялық параметрлердің әсерін зерттеу;

- Мельхиор электродының электрохимиялық еруінің тиімді жағдайын анықтау;

- Жүргізілген жұмыстың дұрыстығының сапалық көрсеткіштерін анықтау үшін зерттеу нәтижелерін математикалық статистика тәсілімен өңдеу.

Зерттеу нысаны. Айнымалы және анодты токпен поляризацияланған мельхиор электродының тұз қышқылының және натрий хлоридінің сулы ерітінділеріндегі электрохимиялық қасиеті.

Ғылыми жаңалығы.

- 50 Гц айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының электрохимиялық қасиеті қышқылды (HCl) және бейтарап (NaCl) орталарда алғаш рет зерттелді;

- Айнымалы және анодты токпен поляризацияланған мельхиор электродының тұз қышқылы және натрий хлориді ерітінділеріндегі электрохимиялық еру ерекшеліктері салыстырмалы түрде көрсетілді;

- Мельхиор электродының сулы ерітінділердегі электрохимиялық еруінің кинетикасы зерттеліп, тиімді жағдайлары анықталды;

Зерттеу әдістері: Магистрлік диссертацияның тұжырымдары мен қорытындылары қазіргі заманғы әдістермен өңделіп, қазіргі уақыт талабына сай құрал-жабдықтарды, дәлдігі жоғары фотометриялық, электрохимиялық анализ әдістерін қолдануға негізделген.

Қорғауға ұсынылған тұжырымдар: Айнымалы және тұрақты токпен поляризацияланған мельхиор электродының еруіне негізгі электрохимиялық параметрлердің (ток тығыздығы, электролит концентрациясы, ерітінді температурасы, ток жиілігі, электролиз ұзақтығы) өзіндік әсері болады.

Алынған нәтижелер. Мельхиор электродының электрохимиялық еруінің оңтайлы жағдайлары анықталды:

- Айнымалы ток режимінде: Тұз қышқылында: $i_{Ti}= 60 \text{ кА/м}^2$, $i_M= 400 \text{ А/м}^2$, $[\text{HCl}]= 0,5 \text{ М}$, $\tau = 0,5 \text{ сағ}$. Натрий хлоридінде: $i_{Ti}= 100 \text{ кА/м}^2$, $i_M= 600 \text{ А/м}^2$, $[\text{NaCl}]= 2,0 \text{ М}$, $\tau= 1 \text{ сағ}$.

- Анодты ток режимінде: Тұз қышқылында: $i_{Ti}= 60 \text{ кА/м}^2$, $i_M= 800 \text{ А/м}^2$, $[\text{HCl}]= 0,5 \text{ М}$, $\tau = 1,5 \text{ сағ}$. Натрий хлоридінде: $i_{Ti}= 60 \text{ кА/м}^2$, $i_M= 400 \text{ А/м}^2$, $[\text{NaCl}]= 1,0 \text{ М}$, $\tau= 1,0 \text{ сағ}$.

Практикалық және теориялық маңыздылығы. Жүргізілген тәжірибелік жұмыс нәтижесінде мельхиор электродының айнымалы және анодты ток режимдерінде қышқылды (HCl) және бейтарап (NaCl) орталарда электрохимиялық еру ерекшелігі, кинетикасы зерттеліп, құйманың еруінің тиімді жағдайлары анықталды.

Жұмыс нәтижелерінің басылымда жарық көруі. Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының тұз қышқылының сулы ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиетін зерттеу жұмыстары бойынша «Electrochemical behavior of cupronickel electrode in acidic media» атты тақырыпта ғылыми мақала «ҚР ҰҒА Хабарлары» журналының 2021 жылдың №1 санының басылымында жарық көрді.

Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ 25 жылдығына арналған «Ғылым және білім – 2021» студенттер мен жас ғалымдардың XIV Халықаралық ғылыми конференциясында «Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының хлоридті ортадағы еру ерекшелігі» атты тақырыптағы ғылыми мақала жариялымға шықты.

Диссертация көлемі мен құрылымы. Магистрлік диссертациялық жоба кіріспеден, 3 тараудан, қорытындыдан, жалпы 77 беттен, 28 суреттен, 25 кестеден және 57 қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады.

Ғылыми зерттеу жұмыстары Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Жаратылыстану факультеті, Экология және химия кафедрасының ғылыми зерттеу лабораториясында жүргізілді. Ұсынылған ылыми зерттеу тақырыбы үшін, зерттеулерді жүргізу барысында әдістемелік бағыт-бағдар беріп, зерттеу нәтижелерін талқылауда көрсеткен көмегі үшін ғылыми жетекшім х.ғ.к., профессор Р.Н. Нұрділлаеваға өз алғысымды білдіремін.

І МЫС ЖӘНЕ НИКЕЛЬ НЕГІЗІНДЕГІ ҚҰЙМАЛАРДЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

1.1 Мыс және никельдің физика-химиялық қасиеттері

Мыс-никель құймалардың басым көпшілігі мыс пен никель негізіндегі жоғары легирленген құйма болып табылады. Олардың құрамында аз мөлшерде басқа да легирлеуші металдар болады (Al, Mn, Fe, т.б.). Бұл өндірістік құймалардың физика-химиялық, механикалық қасиеттерін көрсететін мыс пен никель металдары болғандықтан құйманың техникалық мүмкіндіктерін бағалау үшін алдымен олардың табиғатын сипаттайтын металдардың (мыс және никель) физикалық және механикалық қасиеттерін салыстыру қажет.

Мыс және никель металдарының физикалық қасиеттері 1-кестеде келтірілген [1].

1– кесте. Мыс және никельдің физикалық қасиеттері [1]

Қасиеттері	M1 маркалы мыс	НП2 маркалы никель
Атомдық номері	29	28
Атомдық массасы	63,54	58,70
Атомдық диаметрі, нм	0,256	0,248
20 ⁰ С-та тор периоды α , нм	0,36074	0,35239
20 ⁰ С-та γ , кг/м ³	8940	8897
Температура, ⁰ С		
-балқу	1084	1455
-қайнау	2560	2822
Жылу, кДж/кг		
-балқу	280	302
-қайнау	6340	6374
20 ⁰ С-та C_p , Дж/(кг*К)	375	450

Мысқа қарағанда никельдің қалыпты температурадағы жылу өткізгіштігі 4,5 есе және электр өткізгіштігі 4 есе төмен. Дегенмен, никельдің кристалдық торындағы атомдардың байланысы мысқа қарағанда беріктігі жоғары. Никельдің мыстан артықшылығы – ферромагнитті металл болғандығында. Металдардың физикалық қасиеттері ұқсас болғанымен, олардың оптикалық қасиеттері әртүрлі. Таза күйіндегі никель металы – күміс түстес. Мыс-никель негізіндегі құймалардың құрамында никельдің мөлшері артқан сайын, оның түсі қоңыр-қызыл түстен ақшыл-күміс түске дейін өзгереді [1].

Никель – күміс түстес, жылтыр металл. Ол жақсы иілгіш қасиет көрсететіндіктен жұқа парақтар мен құбырлар жасауда қолданылады. Никельдің созылу беріктігі 40-50 кг•с/мм², серпімділік шегі 80 Мн/м², аққыштық шегі 120 Мн/м², салыстырмалы ұзаруы 40 %, қалыпты серпімділік модулі 205 Гн/м, қаттылығы 600-800 Мн/м². Никель атомының сыртқы электронды қабаттарының құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты ол ферромагнитті металл болып табылады. 340 °С-тан төмен температурада никель магниттік қасиет көрсетеді.

Механикалық қасиеттері.

Мыстың механикалық қасиеті мыстың жағдайына (құйылған, деформирленген), жартылай фабрикат өнімдерінің алынуына, зерттеу температурасына және т.б. факторларға қарай әртүрлі болады.

Никельдің механикалық қасиеті мысқа қарағанда жоғары. Мыс және никель металдарына жақсы иілгіштік қасиет тән. төмен температурада металдар сынғыш болмайды, керісінше бұл металдардың созылғыштық, соққы тұтқырлығы жоғарылайды. Мыс пен никельдің физика-механикалық қасиеттерінің бір-біріне үйлесімді болуынан олардан жақсы құймалар алынады. Әртүрлі температураларда мыс-никель негізіндегі құймалардың механикалық қасиеті төменде келтірілген (2-кесте).

2-кесте. Белме және төмен температураларда мыс-никель негізіндегі құймалардың механикалық қасиеті [2]

Құйма	Температура, °С	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²
Cu-10% Ni	20-196	320	180	37	68	1,0
		450	230	46	50	1,1
Cu-20% Ni	20-180	360	200	26	78	1,3
		520	230	36	72	1,5
Cu-30% Ni	20-196	380	200	52	81	1,8
		590	220	62	72	1,8

Коррозиялық қасиеті.

Мыс әртүрлі ортада жоғары коррозиялық қасиетке ие. Табиғатына байланысты мыс белсенді металға жатпайды, сондықтан оның коррозия жылдамдығы төмен. Қыздырғанда мыс ауадағы оттектімен әрекеттесіп тотығады, температураға байланысты екі түрлі оксид түзеді: CuO, Cu₂O. Төмен температурада (100°С) мыс бетінде қара түсті мыс оксидінің пленкасы (CuO) пайда болады. Жоғары температурада (600°С) мыстың тотығу жылдамдығы жоғарылап, қызыл түсті тығыз шала тотықтардың пленкасы түзіледі [1].

Никельдің басқа техникалық металдармен салыстырғанда беткі қорғаныш қабатын түзетіндіктен, коррозияға тұрақтылық қасиеті жоғары. Тұщы сулармен қатар теңіз суларында да никельдің коррозиялық қасиеті жақсы. Минералды қышқылдар, әсіресе азотты қышқылдар никельдің коррозиялық қасиетіне айтарлықтай әсерін тигізеді. Мыс және никель металдарының коррозиялық тұрақтылығына тұз қышқылы едәуір әсер етеді. Ал күкірт қышқылы мысқа қарағанда никель үшін аз агрессивті, бірақ мыс-никель құймасына аз әсер етеді. Сілтілік және бейтарап тұздардың ерітінділерінің (карбонаттар, нитраттар, сульфаттар, хлоридтер) никельге әсері мардымды. Дегенмен, қышқылды тұздардың ерітінділері никельдің коррозиялық қасиетін нашарлатады. Концентрленген сілтілі ерітінділерде мысқа қарағанда никель тұрақтырақ қасиет көрсетеді [1].

Мыс негізіндегі құймалардың физика-химиялық, коррозиялық қасиеттері және жылу өткізгіштігі қышқылды, сілтілі және бейтарап ортада зерттелген. Орта ретінде 0,5 М H_2SO_4 , $NaOH$, $NaCl$ сулы ерітінділері таңдалып, ерітінділерге мыс және мыс құймалары 28 күнге батырылып қойылған. Зерттеу тәжірибелері коррозияға дейін және кейін метал мен құймалардың жылу өткізгіштік, микроқұрылымын, оптикалық қасиеттерән өлшеумен бірге қарапайым гравиметриялық өлшеулер жүргізген. Мыс пен мыс құймаларының коррозиялық қасиеттері бейтарап, сілтілі орталарға қарағанда қышқылды ортада қатты нашарлайтындығы анықталған. Бұл құйма беттерінде пайда болған пассивті пленканың жойылу деңгейіне байланысты. Сілтілі және бейтарап орталарда құйма бетіндегі пленкалар айтарлықтай коррозияға тұрақты болып қалады. Пленка беттерінде оксидті және гидроксилті қабықшалардың түзілуінен құймалардың жылу өткізгіштігі жоғары болатыны анықталған [2].

Никельдің стандартты электрондық потенциалы – 0,250 В. Статистикалық жағдайда, никельдің ерітіндідегі сутек ионының концентрациясына байланысты потенциал тербелісі – 0,64 В пен +0,6 В аралығында. Никель – ерітінді шекарасында ток күшінің аз шамасында никельдің потенциалының тұрақсыздығы байқалады, мысалы, $NiSO_4$ ерітіндісінде оның мәні $1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-11}$ а/см³ тең. Екінші жағынан, потенциалдардың жоғары әртүрлілігі никельдің жоғары беттік белсенділігімен, оның оттегі атомдарын сіңіру, тотығу және оксидті молекулалар қалыптастыра алу қабілетімен түсіндіріледі. Никельдің тағы бір ерекшелігі анодты поляризация кезінде пассивацияға жеңіл ұшырайды. Сонымен қатар, никельдің және никель құймаларының да физико-химиялық, механикалық қасиеттері толықтай келтірілген [3].

1.2 Мельхиор құймасының физика- механикалық қасиеттері

Мельхиор деп легирлеуші элемент никель болатын екі немесе одан да күрделі құрамды болатын мыс негізді құймаларды айтады. Никель мен басқа легирлеуші компоненттердің құрамына байланысты мұндай құймалар әртүрлі физикалық, механикалық қасиеттерге ие.

1,5 % дейін темірдің мельхиорға қосылуы құйманың коррозиялық соққыларға төзімдігін арттырады, бұл құймалар конденсаторлық құбырлар жасауда пайдаланылады. Марганец жақсы дезоксидтегіш қасиет көрсететін, құймада күйдіргеннен кейін көмертегі қоспасы болған кезде сынғыштықты жоятын мельхиорға жақсы қоспа болып табылады. Сонымен қатар, мыс-никель құймаларының механикалық, технологиялық қасиеттерін жақсартып, ыстыққа төзімділігін жоғарылатады [1].

Мельхиор құймаларының сипаттамалары

МН95-5 мельхиор құймасы жақсы механикалық қасиетке ие, қысымда жақсы өңделеді, коррозиялық еруге бейім емес. Бұл құймадан түрлі шыбықтар, құбырлар дайындайды.

МН19 мельхиоры жоғары атмосфералық жағдайда жоғары коррозияға төзімділігімен, жоғары механикалық қасиеттерімен ерекшеленеді, ыстық және суық күйде қысыммен жақсы өңделеді.

МН95-5 мельхиор құймасынан беріктігі жағынан айтарлықтай асып түседі. МН19 құймасы ұсақ монеталарды, медициналық құралдарды, жоғары температурада жұмыс істейтін механикалық және химиялық өнеркәсіптердегі бөлшектерді жасау үшін қолданылады.

МНЖМц30-1-1 мельхиоры жақсы механикалық қасиетке ие, ыстық және суық күйде қысыммен қанағаттанарлық түрде өңделеді. Ресейде құрамынд никельдің үлесі 30 % болатын, темір және марганецпен легирленген МНЖМц30-1-1 мельхиор құймасы үлкен қолданысқа ие. МНЖМц30-1-1 мельхиор құймасының ерекшелігі – оның тұщы және теңіз суларында, су буларында жоғары коррозияға төзімділігі. Сондықтан, ол теңіз кемелерін, кемеңі қаптауда кеңінен қолданысқа ие материал. Бұл мельхиор құймалары минералды қышқылдарды тез коррозияға ұшырайды, атмосфералық коррозияға төзімді және құрғақ газда оларға бөлме температурасында әсер етпейді.

Cu-Ni-Fe-Mn жүйелі мыс-никель құймаларының ішінде МНЖ5-1 және МНЖМц10-1-1 құймаларын айтаеткен жөн. МНЖ5-1 құймасы химиялық құрамы жағынан МН95-5 құймасына ұқсас, құрамында никель мөлшерлері бірдей (~5 %) және аз мөлшерде темір мен марганец қоспаларының болуымен өзгешеленеді. Құрамында темір, марганец металдарының мөлшерлерінің болуынан коррозиялық тұрақтылық жағынан МН95-5 құймасынан асады. Өнеркәсіпте шыбықтар, құбырлар, аспаптар жасауда қолданылады. МНЖ5-1 құймасы ертеректе кеме жасау өнеркәсіптерінің жоғары коррозиялық қасиетке, теңіз суымен жанасатын мыс құбырларын ауыстыру қажеттілігінен жасалған. Кейіннен бұл құйманы жылуэнергетиктері жоғары қуатты конденсаторлар ретінде қолданысқа енгізіп кетті. Сонымен қатар, МНЖ5-1 мельхиоры атом және жылу электростанцияларында қолданылады [1]. Мельхиор құймасының құрамы мен қолданылу аясы 3-кестеде келтірілген.

3– кесте. Мыс-никель негізіндегі құймалардың құрамы және қолдану аясы

Құйма маркасы	Ni,%	Қоспалар ,%	Cu,%	Қолданыс аясы
МН95-5	4,4-5,0	0,01As; 0,005Sb; 0,002Bi; 0,01Pb; 0,2Fe; 0,03C; 0,02P	Қалғаны	Шыбықтар, құбырлар, электротехника бөлшектері
МН19 (мельхиор)	18,0-20,0	0,5Fe; 0,3Mn; 0,05Mg; 0,15Si; 0,005Pb; 0,05C; 0,01P; 0,002Bi; 0,01As; 0,005Sb	Қалғаны	Тиын жасауда, сымдар, пластинкалар, шыбықтар, медициналық құралдар, торлар, химия өнеркәсіп бөлшектерін дайындауда
МН25	24,0-26,0	0,5Fe; 0,5Mn; 0,005Pb; 0,01Sb; 0,05C; 0,3Zn	Қалғаны	Парақтар, шыбық-сымдар, тиындар жасауда, сәндік заттар
МНЖ5-1	5,0-6,5	1,0-1,4 Fe; 0,3-0,8 Mn; 0,15Si; 0,005Pb; 0,01S; 0,002Bi; 0,1Sn; 0,04P; 0,03C	Қалғаны	Шыбықтар, құбырлар, электротехника бөлшектері
МНЖМц10-1-1	9,0-11,0	1,0-2,0 Fe; 0,3-1,0 Mn; 0,3Zn; 0,03Pb; 0,03S; 0,03C	Қалғаны	Конденсаторлық құбырлар, кондиционер құбырлары, т.б.
МНЖМц30-1-1	29,0-33,0	0,5-1,0 Fe; 0,5-1,0 Mn; 0,5Zn; 0,15Sb; 0,05Pb; 0,01S; 0,05C; 0,006P	Қалғаны	Кемелердегі конденсорлы құбырлар, жылуалмастырғыш құбырлар, кондиционерлер жасауда, термостат құбырлары, т.б.

ГОСТ 492-73 сәйкес МН19 және МНЖМц30-1-1 мельхиор құймаларының химиялық құрамы 4-кестеде және 5-кестеде олардың механикалық, физикалық қасиеттері көрсетілген [4].

4-кесте. МН19 және МНЖМц30-1-1 мельхиор құймаларының химиялық құрамы (ГОСТ 492-73)

Химиялық құрамы		Мельхиор маркасы	
		МН19	МНЖМц30-1-1
Негізгі құрамы, %	Cu	80-80	67-71
	Ni	18-20	29-33
	Fe	-	0,5-1,0
	Mn	-	0,5-1,0
Қоспалар, %	Si	0,15	0,15
	Mg	0,01	-
	Fe	0,01	-
	Pb	0,005	0,05
	S	0,01	0,01
	C	0,05	0,05
	P	0,01	0,006
	Bi	0,002	-
	As	0,01	-
	Sb	0,005	-

5-кесте. МН19 және МНЖМц30-1-1 мельхиор құймаларының механикалық, физикалық қасиеттері

Қасиеттері	Мельхиор маркасы	
	МН19	МНЖМц30-1-1
Балқу температурасы, °C		
ликвидус	1190	1230
солидус	1130	1170
Тығыздығы, г/см ³	8,9	8,9
20°C температурадағы жылу өткізгіштігі, кал/см•с•°C	0,092	0,089
Меншікті жылу өткізгіштігі, Ом•мм ² /м	0,287	0,42
Электрөткізгіштіктің температуралық коэффициенті	0,0002	0,0012

5-кесте жалғасы

Беріктіктегі созылуы σ , кг/мм ²		
қатты	80	-
жұмсақ	40	39
Салыстырмалы ұзарту δ , %		
қатты	35	23-28
жұмсақ	5	4-9
Салыстырмалы тартылу ψ , %	76	50
Қаттылығы HB , %		
қатты	70	60-70
жұмсақ	128	100
Температура, °C		
құю	1280-1300	1330-1350
ыстық престеу	980-1030	900-960
күйдіру	600-780	780-810
рекристаллизация	420	450

Құрамында 30% Ni, 0,8% Fe, 1% Mn және 68-70% Cu болатын мельхиор құймасы конденсаторлық құбырлар ретінде [5], атом электр станцияларындағы салқындату жүйесінде жылуалмастырғыш құбырлар ретінде қолданылады [6]. Cu – Ni (C70100-C72950) құймаларының коррозиялық қасиетімен қатар, ауада тотығуға тұрақтылық қасиеті жоғары. Құрамында никель аз болатын (2-4 % Ni) құймалар беріктігі жоғары, термиялық тұрақты және жақсы иілгіштік қасиеті қажет болатын электрохимиялық/электронды қондырғылар жасауда қолданылады. Мыстың C70600 (10 % Ni), C72200 (16 % Ni, Fe, Cr), C71500 (30 % Ni) құймалары кемелерде, теңіз электр станцияларында конденсаторларға арналған құбырлар ретінде өндіріледі. Сонымен қатар, әртүрлі теңізде қолданылатын қондырғылар, соның ішінде клапандар, сорғылар, фитингтер, кеме корпустары және теңіз мұнай-газ платформаларына арналған ластануға, коррозияға төзімді қаптамалар ретінде қолданысқа ие [7].

Cu-Ni-Zn (C73500-C79830) – құймасын құрамында никельге қарағанда мырыш көбірек болатындықтан, мыстың никельді жез құймасы ретінде қарастыруға болады. Құйманың да коррозиялық тұрақтылығы, беріктілігі жоғары болғандықтан, тамақ өнеркәсібінде тамақ өнімдерін, сусындарды өңдеу қондырғыларын жасауда қолданылады. Жылтырлық қасиетінің арқасында никельді жез құймасы гальваникалық ыдыстар, оптикалық, фотографиялық қондырғылар және музыкалық аспаптар жасауда пайдаланылады [7].

Мельхиор құймасының құрамындағы никельдің мөлшері жоғарылаған сайын құйманың беріктілік қасиеті және меншікті электркедергісі жоғарылайды, ал иілгіштік, жылу өткізгіштік қасиеттері төмендейді.

Мыс-никель құймаларының механикалық қасиеттері мен қолдану салалары келесі кестеде келтірілген (6-кесте) [1].

6– кесте. Мыс-никель негізіндегі құймалардың механикалық қасиеттері

Құйма маркасы	Механикалық қасиеті			Қолдану аясы
	σ , кг/мм ²	δ , %	НВ, кг/мм ²	
Мельхиор МН19	35	35	70	Медициналық құралдар, жылуалмастырғыш құбырлар, т.б.
Мельхиор МНЖМц30-1-1	38	45	70	Конденсаторлы құбырлар, жылуалмастырғыш құбырлар, электротехника бөлшектері, медициналық құралдар және т.б.
Нейзельбер МНЦ15-20	40	45	70	Механикалық құралдардың бөлшектерін, техникалы ыдыстар, т.б.

Мельхиор мыстың құрамында 20-30% никель және көбінде қосымша темір, марганец металдары бар құймасы. Нейзильбер Cu-Ni-Zn үштік жүйедегі, құрамында 5-35% никель, 13-45% мырыш болатын құйма.

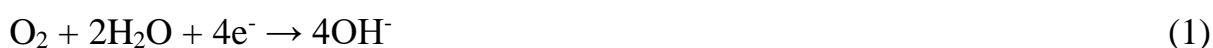
1.2.1 Мельхиор құймасының сулы ерітінділердегі коррозиялық қасиеті

Мыс-никель негізіндегі құймалары жоғары коррозияға тұрақтылық қасиетімен ерекшеленеді. Минералды қышқылдарда, әсіресе азотты қышқылдарда мельхиор құймалары жылдам коррозияға ұшырайды. Органикалық қышқылдарда мыс-никель құймаларының коррозиялық қасиеті мардымды жүреді. Сілтілердің де құйманың коррозиялық қасиетіне айтарлықтай әсері болмайды. Бірақ, аммиакты және қышқылды тұздарда құйманың коррозиялық жылдамдығы бірден артады. Сілтілерлерде, аммиак ерітіндісінде МН19 мельхиорына қарағанда МНЖМц30-1-1 мельхиорының коррозиялық тұрақтылығы жоғары. Мельхиор құймаларының көпшілігі тұщы және теңіз суларына, атмосфералық жағдайларда жақсы коррозиялық тұрақтылық қасиетін көрсетеді [1].

Мельхиор құймасының коррозиялық қасиеті марганец қышқылында [6], натрий хлоридінің сулы ерітіндісінде [5, 9-11, 15, 16], теңіз суында [12-14] күкірт қышқылында [19, 20, 22] және литий бромидінің ерітіндісінде [21] зерттелінген. Құрамы 70-30 болатын мыс-никель құймасының коррозиялық қасиеті марганец қышқылында зерттелген. 2,5 моль/л марганец қышқылында 0,43 моль/л хроматтың болуы мельхиордың коррозиясын 50 %-ға төмендететіні анықталған. Электрохимиялық зерттеу әдісі үшін Eco Chemie Autolab PG

STAT30 қондырғысы қолданылған. Үш электродты конфигурация, яғни платина фольгасы, мельхиор және этанол электрод ретінде каломелді электрод пайдаланылған. Мельхиор үлгілеріне циклдік поляризациялық зерттеулер HMnO_4 қышқылында 90°C температурада хромат иондарын қосып және қоспай жүргізілген. Циклдік поляризация нәтижесінде мельхиор марганец қышқылында питтинге (нүктелік коррозия) ұшырамай, біркелкі коррозия болатыны көрсетілген. Рентген құрылымды талдау нәтижелері мельхиор құймасында түзілген пленка құрамында мыс, никель және марганец оксидтерінің болатынын көрсеткен [6].

Құрамы Cu-Ni (90-10) және Cu-Ni (70-30) болатын мельхиор құймаларының коррозиялық қасиеті тұзды ерітіндіде салыстырмалы түрде зерттелінге. 3,5% NaCl сулы ерітіндісінде Cu-Ni (90-10) құймасы Cu-Ni (70-30) құймасына қарағанда коррозиялық тұрақтырақ. Теңіз суында OH^- иондарына қарағанда Cl^- иондары мыс иондарымен Cu^+ жеңіл әрекеттеседі. Сондықтан теңіз суында мыс және мыс құймаларының коррозиясына әсер етуші негізгі фактор ол – хлорид иондары. Катодты реакция оттегінің тотықсыздануымен, анодты реакция мыстың еруімен жүреді [5]:



Теңіз суларында немесе натрий хлоридінің сулы ерітінділерінде аноды реакция мыстың мыс хлоридіне дейін еруі бойынша жүреді:



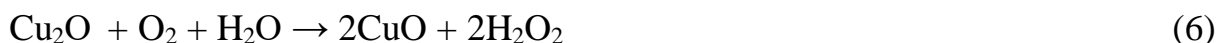
CuCl_2^- ионының концентрациясының жоғарылауынан мыс оксидін түзу реакциясы жүреді:



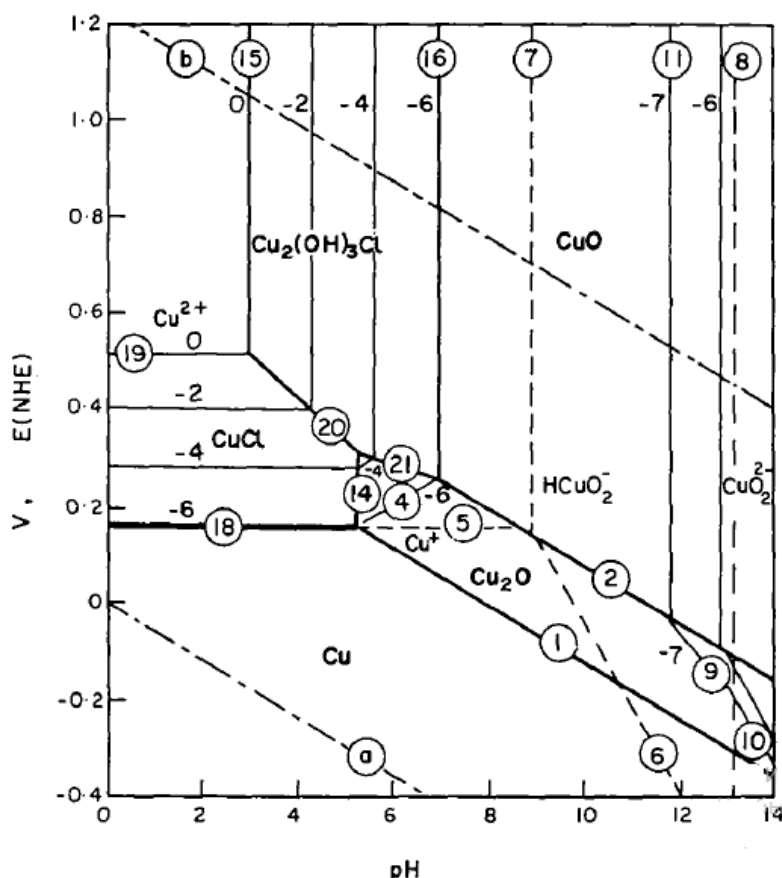
Пурбэ диаграммасы – «металл-су» жүйесіндегі тотығу-тотықсыздану потенциалы мен рН мәнінің арасындағы байланысты анықтау арқылы коррозия өнімдерінің формаларына баға беру барысында қолданылады. Пурбэ [8] диаграммасына сәйкес, мыс теңіз суында 25°C температурада, эксперименттік жағдайда, Cu_2O , CuO немесе $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ дейін тотығу потенциалына ие (1-сурет):



Үлгі бетінде Cu_2O мөлшері азаяды, ал CuO және $\text{Cu}(\text{OH})_2$ мөлшерлері артады, бұл электронды өткізгіштікті төмендетеді және коррозияға төзімділікті арттырады. Ары қарай мыстың тотығуын келесідей реакциялармен көрсетуге болады:



Никель белгілі бір дәрежеде құйманың коррозиясына жол бермейтін тығыз оксид пленкасын қалыптастыру үшін тотығады [5]:



1-сурет – 25 °С температурада, теңіз суындағы мыстың Пурбэ диаграммасы [8]

Электрохимиялық әдіс арқылы 3,5% NaCl сулы ерітіндісінде Cu-Ni (90-10) құймасының коррозиялық қасиетіне әсер ететін әртүрлі параметрлердің (температура, хлоридтер, көмірқышқыл газы, оттегі) әсерлері қарастырылған. Хлоридті ерітінділердің құрамында көмірқышқыл болатын болса, мельхиор құймасының коррозиялық жылдамдығының артатыны анықталған [9]. 3,5% NaCl сулы ерітіндісінде Cu-Ni (90-10) құймасының коррозиялық қасиетіне гидростатикалық қысымның әсері зерттелген. Жоғары гидростатикалық қысымда хлор иондарының белсенділігі артады, соның әсерінен мельхиор құймасының бетінде хлор иондары адсорбцияланып, құйманың еруін жылдамдатады [10]. Бадаву және т.б. ғалымдары Cu-xNi құймасының бейтарап ортада әртүрлі концентрацияда NaCl ерітіндісіндегі коррозиялық қасиетін қарастырған. Зерттеу нәтижесінде хлорид ерітіндісінің критикалық концентрациясының болатындығы (0,3 М), одан төмен концентрацияда

коррозия жылдамдығы хлорид концентрациясының артуымен артатындығы және жоғары концентрацияда мыс (I) оксидінің түзілуімен жүретін мыс (I) хлоридінің гидролизденуінен коррозия жылдамдығы төмендейді. Сонымен қатар, никельдің мөлшерінің көп болуы хлоридті ерітіндідегі құйманың коррозиялық жылдамдығының төмен болуына әсер етеді. Зерттеу жұмысы үшұяшықты электролизерда жүргізілген. Мельхиор құймасының бейтарап ортадағы циклді вольтамперограммасы сканерлеу жылдамдығының 10 мВ/с^{-1} мәнінде, $0,6 \text{ М}$ хлорид ерітіндісінде $\text{pH}=7$ түсірілген. Анодтық токтың тығыздығының белсенді аймағында адсорбцияланған бөлшектердің келесі реакциялар бойынша еруінің есебінен потенциалдың артуы жүреді [11]:



Аралық бөлшектердің еруі электрод бетінде жаңа белсенді орталықтың түзілуіне әкеледі және пассивті пленканың түзілуі қиындай түседі [11].

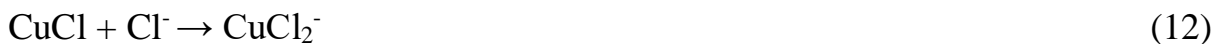
Мыс-никель (90/10) құймасының коррозиялық қасиетін зерттеу үшін құйма құбырын бір айға теңіз суына батырып, раман спектроскопиясы, электрохимиялық импедансты спектроскопия әдістері қолданылған. Түзілген пленка құрамында $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$, Cu_2O , $\gamma\text{-FeOOH}$, Fe , $\text{NiO/Ni}(\text{OH})_2$ қоспаларының болатыны анықталған. Темірмен байытылу пленканың сыртқы қабатында, ал ішкі қабатында никельмен байытылу болатындығы байқалған. Ішкі қабаттағы NiO құйманың коррозиялық тұрақтылығының жоғары болуына үлкен үлес қосады. Пленкамен алынған үлгінің коррозиялық тұрақтылығы пленкасыз құйманың коррозиялық тұрақтылығынан едәуір жоғары болатыны анықталған. Сонымен қатар, Cu-Ni 90/10 құймасының коррозиялық қасиетіне қысымның әсері зерттелген. Жоғары қысымның құйманың коррозиясына ынталандырушы ретінде әсер ететіні және жоғары қысымның құйманың қайта тұндыру процесін тежейтіндігі анықталды. Зерттеу нәтижесінде мельхиор құймасының беткі қабаты электрохимиялық импедансты спектроскопия, энергодисперсті рентгені спектроскопия, фотоэлектронды рентген спектроскопия әдістері арқылы зерттелген [12]. Теңіз суында мельхиор құймасының (90-10) коррозиялық қабатында Cu_2O , CuO немесе $\text{Cu}(\text{OH})_2$ қоспалары CuCl_2 , CuCl немесе $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ қоспаларына түрленетіндігі айқындалған [12, 13].

Потенциодинамикалық поляризация қисықтары үлгілерді сканерлеу жылдамдығы $0,01 \text{ мВ/с}$ болғанда түсірілген. Зертеу нәтижесі бойынша теңіз суындағы мельхиор құймасының коррозиясы мынадай катодты (1-реакция) және анодты реакциялардан тұрады деп болжамдалған [13]:



Құйманың еруі төмен болғандықтан, құйма бетінде әрдайым мыс хлоридінің пленкасы түзіледі. Коррозия уақытының жоғарылауымен бірге мыс

хлоридінің адсорбциялық пленкасы біртіндеп еріп мыс хлоридің иондары түзіледі:



Сонымен қатар, CuCl_2^- ионы OH^- ионымен әрекеттесіп, мыс оксиді (Cu_2O) пленкасын түзеді. Ол құйманың теңіз суындағы коррозиялық жылдамдығын төмендетеді:



Теңіз суында еріген оттегінің мөлшері көп болады. Біраз уақыттан соң мыс оксиді гидролизінің нәтижесінде мыс гидроксидінің түзілуі жүреді:



Құйманың коррозиялық тұрақтылығы құйма бетінің біркелкі болмауына, кеукті құрылымына байланысты төмендейтіні байқалған.

Мельхиор құймасының теңіз суындағы коррозиялық қасиетіне және механикалық қасиетіне алюминийдің әсері бақыланған. $\text{Cu-7Ni-xAl-1Fe-1Mn}$ құймасының микроқұрылымы мөлдір электронды микроскопия әдісімен, электрохимиялық әдістер арқылы коррозиялық қасиеттері зерттелген. Зерттеу нәтижесінде мельхиорға алюминийді легирлегенде алынған $\text{Cu-7Ni-xAl-1Fe-1Mn}$ құймасының коррозиялық және механикалық қасиеттерінің айтарлықтай өзгеретіндігі анықталған [14].

Градиентті наноқұрылымды беттік қабаты бар Cu-10Ni құймасының ультрадыбыстық беттік әдіспен (USRP) синтезделген. Алынған құйманың коррозиялық қасиеті 3,5% NaCl ерітіндісінде зерттелген. Электрохимиялық зерттеулер нәтижесі өңделген Cu-10Ni құймасының коррозиялық тұрақтылығының анағұрлым артатындығын көрсеткен. Бұл зерттеу жұмысы Cu-10Ni құймасының қаттылығы мен коррозиялық тұрақтылық қасиеттерін бір мезгілде беттік нанокристалдау әдісі арқылы жақсартуға болатынын дәлелдеген [15]. Cu-10Ni құймасының хлоридті бейтарап ортадағы коррозиялық қасиеті тотығу-тотықсыздану реакцияларына негізделген; катодта сутегінің тотықсыздануы, анодты мыстың еру реакциялары жүреді. Анодты реакцияда мыстың дихлоранионды комплекс түзе еруі жүреді (2-реакция).

Мыс хлориді анионы бейтарап ерітіндіде мыс оксидін түзе гидролизге ұшырайды:

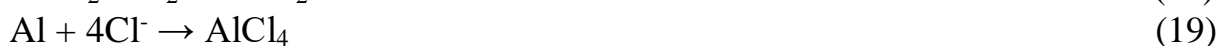
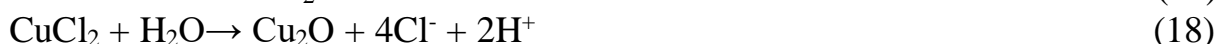


USRP өңдеуінен кейін құйма бетінде Cu_2O оксидінің мөлшері азайып, CuO және $\text{Cu}(\text{OH})_2$ мөлшерлері көбейеді де құйманың электрон өткізгіштігі төмендеп, коррозиялық тұрақтылығы жоғарылайды. Мыстың ары қарай тотығуын 6- және 7-реакциялары бойынша жүреді. Никель құйманың

коррозиясын төмендететін тығыз оксидтік пленка түзе тотығады (8-реакция) [15].

3,5 % NaCl ерітіндісінде көк шай сулы экстрактысының мыс-никель құймасының коррозиясының экологиялық таза ингибиторы ретінде қолданылуын зерттеген. Зерттеу жұмыстары электрохимиялық әдістерге негізделіп жүргізілген. Зерттеу нәтижелері қолданылған сулы экстрактының құйма коррозиясын айтарлықтай төмендететінін көрсеткен. Жасыл су сығындысы мен көк шай ингибиторларының ингибирлеу тиімділігі ерітінді концентрациясының жоғарылауымен жоғарылап, температураның артуымен төмендейтіні анықталған. Cu-10Ni және Cu-30Ni құймаларының ингибирлеу тиімділігі 91,5% және 93,9% құраған [16].

Мыстың басқа да құймаларының да, мысалы қола құймасының натрий хлориді ерітіндісіндегі коррозиялық қасиеті зерттелген. Никель-алюминий қоласы – мыс негізіндегі кеңінен танымал құйма. Жақсы коррозияға тұрақтылық, жоғары беріктілік қасиетімен құйманың қолданыс аясы кең. Электронды микроскопты талдау нәтижелері және электрохимиялық сынақтар никель-алюминий қоласының коррозияға төзімділігі коррозия өнімі пленкасының пайда болуымен жоғарылайтындығын көрсетеді. Натрий хлоридінің сулы ерітіндісінде қола құймасының еруі төмендегі реакциялармен жүреді [17] :



Никель-алюминий қоласының сілтілі ерітіндідегі электрохимиялық қасиеті, пленканың түзілу потенциалының әсері зерттелген. Құйма бетінде пайда болған пассивті пленкалардың тұрақтылығын зерттеу барысында потенциодинамикалық және потенциостатикалық поляризация, электрохимиялық импеданс спектроскопия, рентгендік дифракция әдістері қолданылған. Барлық электрохимиялық тәжірибелер анодтық потенциалдар құймада пайда болған пассивті пленкаларға қатты әсер ететіндігі анықталған [18].

Күкірт қышқылының [19, 20] және LiBr сулы ерітінділерінде [21] мельхиор құймасының электрохимиялық қасиеттері қарастырылған. Қышқылды ортада мельхиор құймасын ерітіп, одан бағалы металдарды бөліп алу жұмыстар жасалған. Оттегінің электргенерирленген белсенді формалары қатысында, күкірт қышқылының сулы ерітіндісінде мельхиор құймасының анодтық еруі зерттелген. 0,3 В потенциалда, 2,54 мА/см² ток тығыздығында оттегінің белсенді формасының көп мөлшері құйманың еру процесі барысында түзілген [19]. Cu-5Ni құймасының 0,5 М H₂SO₄ ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеті циклдік вольтамперометрия, электрохимиялық импедансты спектроскопия,

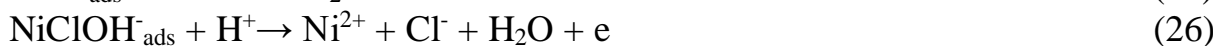
квазистационарлы сызықты потенциал әдістері арқылы зерттелген [20]. Cu-5Ni құймасының H₂SO₄ ерітіндісіндегі анодтық әрекеті мыстың электрохимиялық еруінен және күкірт құрамды пассивті қабаттың пайда болуымен жүреді. Ni мөлшерінің болуы жоғары оң потенциал мәнінде мыстың тотығу жылдамдығын бәсеңдетеді [20]. LiBr ерітіндісіндегі мельхиор құймасының электрохимиялық қасиеті ерітіндінің 0,1-9,0 М концентрациясы аралығында зерттелген. Құйма бетінде анодты потенциалдың төмен мәнінде (-200 В) беті никельмен байытылған Cu₂O легирленген пленкасының түзілуінен токтың пассивтенуі жүретіні анықталған. Анодты потенциалды (>300 мВ) жоғарылатқанда анодты токтың максимумның түзілуі пассивті пленка Cu₂(OH)₃Br түзілетінін көрсетеді [21]. Мыс және Cu-10Ni-10Zn құймасының электрохимиялық әдіс арқылы коррозиялық қасиеттері қышқылды, сілтілі және бейтарап ерітінділерде зерттелген. Құйманың коррозиялық жылдамдығы қышқылды ерітінділерде бейтарап, сілтілі ерітінділермен салыстырмалы түрде жоғары болатыны анықталған. Сулы ерітінділердегі құйманың еруі никель және мырыштың күрделі оксидтік пленкаларының пайда болуынан бәсеңдейді [22]. Мыс-никель негізіндегі құймалардың электрохимиялық және химиялық тұрақтылығының термодинамикасы [23] ғылыми мақаласында қарастырылған. Ауадағы мельхиор құймасының химиялық тұрақтылығы никель арқылы анықталып, Cu-Ni-O жүйесінің фазалық диаграммасы құрастырылған [23].

Cu-Ni құймасының қышқылды хлоридті ортадағы электрохимиялық қасиеті зерттелген [24]. Құйманың электрохимиялық қасиетін зерттеуде потенциодинамикалық және электрохимиялық импедансты спектроскопия әдістері қолданылған. Ғылыми зерттеу жұмысы үшұяшықты электролизерде, қышқыл хлоридті рН=2 ортада (0,55 М NaCl + 0,05 М HCl) жүргізілген. Мельхиор құймасының электрохимиялық реакциясына құйма құрамының, хлорид иондарының концентрациясының және тәжірибе уақытының әсерлері талданған. Зерттеу нәтижелерін салыстыру мақсатында таза металдардың қасиеттерімен салыстыру жүргізілген. Потенциодинамикалық талдау әдістері нәтижесі құйма құрамында никельдің мөлшерінің артуы мельхиордың коррозиялық жылдамдығын төмендететіндігін және никель мөлшері 30 %-дан аса түскенде коррозия жылдамдығының артатындығын көрсеткен. Коррозияның ток тығыздығы хлорид иондарының концентрациясының 0,6 М дейін артуымен арта түсетіндігі анықталған [24].

Мельхиор құймасының белсенді еруі барысында электроди бетінде аралық өнімдер адсорбциялану мүмкін [24]:



Бұл адсорбцияланған бөлшектер электрод бетін қаптап, аралық өнім болуы мүмкін. Және адсорбцияланған Cl⁻ бөлшектерінің келесідей шабуылдауынан потенциал мәні жоғарылаған сайын ток тығыздығының артуы болады:



Хлорид ионының қатысуымен аралық бөлшектердің десорбциясы электрод бетінде жаңа белсенді орталықтардың түзілуіне әкеледі. Осылайша, пассивті пленканың түзілуі күрделеніп, құйманың локализацияланған еруі жүреді [24].

1.3 Сулы электролиттерде мыс және никельдің электрохимиялық қасиеті

Мыс – жоғары электрөткізгіштік, жылуөткізгіштік қасиетке ие металл. Құрамында 99,3 % мыс болса таза мыс деп саналады. Металдың физика-механикалық қасиеттерін жақсарту мақсатында мысқа алюминий, никель, мырыш, темір, т.с.с. металдарды қосып мыс құймаларын қолданады.

Электрохимиялық қасиеті бойынша, мыс – аса кернеулігі аз металдар қатарына жататындықтан жай ерітінділерде мыс поляризацияға ұшырайды. Мыстың сулы ерітінділердегі электрохимиялық қасиеттерін стационарлы токпен поляризациялау арқылы зерттелеген [25].

Мыстың электрохимиялық және коррозиялық қасиеттері күкірт қышқылында, хлоридті ерітінділерде, қарастырылған. Хлорид-иондары қатысында, мыстың анодты еруінің жылдамдығы электродтың айналу жылдамдығына байланысты болады. Сонымен қатар, сулы ортада мыс коррозиясының ингибиторлары ингибиторлық қызмет атқармайтындығы, 1 М изопропональды тұз қышқылы ерітіндісінде мыстың коррозия жылдамдығы артатындығы ғылыми зерттеу жұмысында анықталған. Натрий хлоридінің 3 % ерітіндісінде мыстың бір валентті мыс оксидіне дейін тотығуы анодтық үрдіс. Құрамында мыс (II) иондары бар хлоридті ерітінділерде катодты поляризация кезінде репропорция реакциясының жүруіне байланысты мыстың еруінің жылдамдығы арта түседі:



Мыс комплекс түзуге бейім металдардан болғандықтан, хлоридті ерітінділерде ерігіш мыс хлоридінің комплексті қосылыстары түзіледі. Мысалы, натрий хлориді ерітіндісінде ерітіндіге өтетін мыс иондарының тиімді заряды $1 \pm 0,01$ тең. Мыстың еру механизмі екі ионизациялану бағытымен жүруі мүмкін [25]:



Екі валентті мыс иондары тұз қышқылы ерітіндісінде мыс электродында түсірілген поляризациялық қисықтарда екі толқын байқалды және бірінші толқынның шектік тогына дейін ток тығыздықтарында мыс электродын катодты поляризациялағанда оның салмағы кемиді. Күкір қышқылды ерітіндіде мыс (II) иондарының тотықсыздануы кезінде де полярограммада екі толқын тіркелген.

Электрорафинация кезінде иондану реакция нәтижесінде түзілген мыс иондары ерітінді көлемінде диффузияланған және келесі реакция бойынша еріген оттегімен әрекеттеседі:

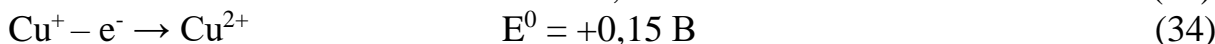
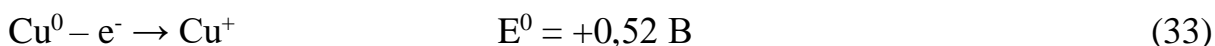


Осылайша, бір валентті иондар мыс электродына оттегінің баруына жол бермейді. Бірақ, катодтық ток бойынша шығымның 100 %-дан төмен болуы қосымша реакциялардың жүруімен және металдың оттегімен тікелей тотығуымен түсіндіруге болады:



Зерттеу нәтижесінде катодты поляризация кезінде мыстың купро-иондары түзе иондануы барлық уақытта орын алатындықтан, мыс электродында бұл реакциялардың жүруі мүмкін емес деген қорытынды жасалған [25].

Күкірт қышқылында өнеркәсіптік айнымалы токтың анодты және катодты жартылай периодтарында, айнымалы токтың 50 Гц жиілігінде мыс ұнтақтарының түзілу механизмі зерттелген. 100 г/л концентрациялы күкірт қышқылында, мыс иондарының концентрациясы 15 г/л құрағанда электролизерде түзілетін ұнтақтың ток бойынша шығымы 50-53% болған. Электролиз барысында 4000 А/м² ток тығыздығында 1-1,5 мкм дөңгелек пішінді металл ұнтақтары түзілген. Ток тығыздығын жоғарылатқанда ультрадисперсті мыс ұнтақтарының түзілгені анықталды [26]. Анодтық поляризация әдісімен калий бромидінің сулы ерітіндісінде мыс электродының электрохимиялық қасиеті зерттелген. Мыс электродының анодтық поляризациясында келесі реакциялар жүруі мүмкін:



Мыс (I) бромидінің ерігіштігі төмен, сондықтан пайда болған мыс (I) иондары бром иондарымен реакцияға түсіп мыс (I) бромидін құрайды. Мұны ерітінді түбіндегі қызғылт сары шөгінділердің пайда болуынан байқаған:



Бром иондарының аниондарының мыс иондарымен әрекеттесуі ерітінді концентрациясының жоғарылауымен күшейеді. Жоғары концентрациялы

бромид иондарында мыс электроды бромды пленкамен қапталып, электродтың пассивтелуі жүреді. Мыс электродының 200 А/м^2 ток тығыздығында мыс (I) бромидінің түзілуінің ток бойынша шығымы $72,1\%$ құраған. Мыс (I) бромидінің түзілуіне электролит концентрациясының әсері айтарлықтай. 2 М калий бромидінің ерітіндісінде ток бойынша шығым мәні артып, максимум арқылы өтетіні анықталған [27].

Әртүрлі рН мәндерінде, хлоридті ерітіндідегі мыстың анодтық еруі поляризациялық өлшеу әдістерімен және сандық голография әдістерімен зерттелген. Зерттеу жұмысында электролит ретінде үш электролит қолданылған: $0,5 \text{ М NaCl}$; $0,5 \text{ М NaCl} + 0,01 \text{ М HCl}$ және $0,5 \text{ М NaCl} + 0,01 \text{ М NaOH}$. NaCl ерітіндісі қатысында қышқылды және бейтарап орталарда мыстың тотығуы шамамен бірдей жүреді: алдымен мыстың мыс иондарына еруі жүреді, сосын CuCl қабаты түзіледі. Бейтарап ортаға қарағанда, қышқылды ортада мыстың еруі жылдамдығы сәл жоғары. Дегенмен, сілтілі ортада жүретін процесс мүлдем өзгеше: мыс тұрақты пленканың Cu_2O түзілуінен аздап пассивті болады да, мыстың еру жылдамдығы бәсеңдейді. Зерттеу жұмысында электролит ретінде үш электролит қолданылған: $0,5 \text{ М NaCl}$; $0,5 \text{ М NaCl} + 0,01 \text{ М HCl}$ және $0,5 \text{ М NaCl} + 0,01 \text{ М NaOH}$ [28].

Кварцтық микрогравиметрия және вольтамперометрия әдістерімен алтын электродына мыстың катодты шөгуі және оның тұз қышқылы ерітіндісінде анодты еруі зерттелген. Зерттеу жұмысы платина сымы, каломельді және жұмысшы электродтан тұратын үш электродты ұяшықта жүргізілген. Мыс иондарының тотықсыздануы екі сатымен жүреді. Мыс иондарының катодты шөгуі және анодты еру механизмдері келесі реакциялармен көрсетілген:



Зерттеу нәтижесінде мыс (I) хлоридті кешендерінің тұрақтылығына байланысты, үдеріс кезінде мыс (I) иондарының аралық қосылысының пленкасының түзілуі анықталған [29].

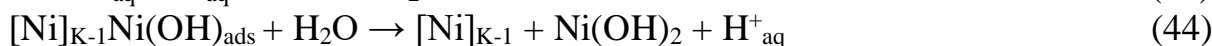
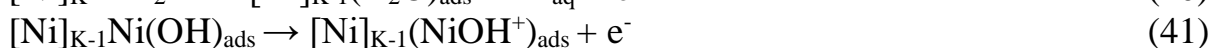
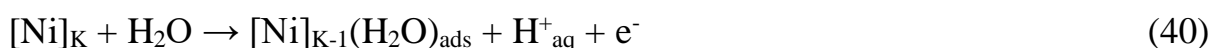
Күкірт қышқылы ерітіндісінде, айнымалы токта, әртүрлі потенциал мәндерінде мыстың электрохимиялық тұнуы қарастырылған. Мысты гальваностатикалық тұндыру платиканлы сымнан, алтын электродынан тұратын екі электродты ұяшықта жүргізілген. $0,5 \text{ моль/л}$ мыс сульфатының ерітіндісіне және $0,1 \text{ моль/л}$ күкірт қышқылы ерітіндісіне электродтар батырылған. Электрод бетінде мыс сульфаттары, оксидтері, гидроксидтерінен тұратын жаңа пленканың түзілгені анықталған. Түзілген пленка мыстың еру жылдамдығын төмендеткенімен, электрод электроактивтілік көрсетіп тұрғандықтан оны пассивті қабат деп қарастыруға болмайды. Сонымен қатар, мыстың еру жылдамдығы масса және электрохимиялық импеданс бойынша анықталған. Электрохимиялық және массалық импеданс спектрлерін алу үшін электродты ұяшықта $0,1 \text{ М}$ күкірт қышқылында жасалды [30].

Эталин негізіндегі терең эвтектикалық еріткіште мыстың шөгуі кезінде анодта жүретін реакцияларға талдау жасалған. Көрінетін-УФ спектроскопия және электрохимиялық өлшеу әдістері нәтижесінде анодты бөлшектердің (CuCl_2) күрделі екендігі көрсетілген. Таза эталинде анодтық процестің тиімділігі 100 %, еру валенттілігі бірлікке тең. Еру валенттілігі электродтың айналу жылдамдығына, мыс (II) ерітіндісінің концентрациясына, еріткіш құрамындағы су мөлшеріне айтарлықтай тәуелділікті көрсеткен. Зерттеу барысында анодтық ерумен қатар, коррозиялық реакцияның да жүретіндігі байқалған [31]:



Қышқылды ортада поляризацияланған айнымалы токта никель электродының электрохимиялық еруі қарастырылған. Никель электродының еруіне негізгі электрохимиялық параметрлердің әсерлері зерттелген. Катодтық жыне циклдік потенциодинамикалық поляризация қисықтары тұрғызылып, никель иондарының түзілуінің кинетикасы көрсетілген. -160 В және 200 В потенциалдар аралығында никельдің еруі қарқынды жүретіндігі анықталған [32].

Күкірт қышқылында никель (II) аралық түру металл бетінде судың адсорбциясы нәтижесінде пайда болады. Бұл өз кезегінде, гидратацияланудың әртүрлі дәрежелерінде ерітіндіде гидратталған Ni^{2+} ионын немесе құрамында $\text{Ni}(\text{OH})_2$ болатын пассивті қабат түзетін реакцияға әкеледі. Қышқылды ерітінділерде никель электродының еруі және пассивтелуі төмендегі реакциялар бойынша жүруі мүмкін екендігі көрсетілген [33]:



H_2SO_4 қышқылының ерітіндісінде поляризацияланған токта никельдің еру процесінде никель оксидінің анодты қабықшаларының катодты поляризация кезінде бір мезгілде тотықсыздану процестері мен электролиттегі оксидтердің химиялық еруі нәтижесінде жойылып кететіні байқалған. Күкірт қышқылында никельдің еруі циклдер арасындағы аралық катодты поляризацияны қолдана отырып, киудік вольтамперометрия әдісімен зерттелген. Никельді депассивациялауға катодты импульстар потенциалының және процесс ұзақтығының бірлескен әсеріні негізгі заңдылықтары анықталған. Никель оксидінің қабықшалары металдың катодты поляризациясы кезінде бір мезгілде тотықсыздану процестері мен электролиттегі оксидтердің химиялық еруі нәтижесінде жоғалады [34]. Күкірт қышқылында никельдің электрохимиялық пассивация қасиеті гальваностатикалық анодты поляризация әдісі арқылы

зерттелген. Никельдің еру және пассивация процестері үшін термодинамикалық активация параметрлерінің мәндері анықталған [35]. Айнымалы процестерде никельдің импульсті еру заңдылығы зерттеліп, никельдің еруі айналу жылдамдығына байланысты болатындығы және төмен айналу жылдамдығында никельді тиімді өңдеуге болатындығы айқындалған. Өңделген никель электродының беті сканерлеуші электронды микроскопия, электрохимиялық импедансты спектроскопия әдістері арқылы зерттелеген. Зертту нәтижесінде никельдің еруі айналу жылдамдығына тікелей тәуелді екені анықталған. Айналу жылдамадығының төмен мәнінде никельдің пассивтелуі, питтингі және жоғары жылдамдығында еруі және таңдамалы еруі бір цикл ішінде дәйекті түрде жүретіні қарастырылған [36]. Циклдік волтамперометрия әдісі арқылы HNO_3 ерітіндісінің әртүрлі концентрация мәнінде никельдің электрохимиялық қасиетін зерттеу барысында ерітіндіде никельдің пассивтелуі NiO пленкасының түзілуімен түсіндірілген [37].

Хлорид иондарының қатысында натрий гидроксидінің ерітіндісінде никельдің электрохимиялық қасиеті магнитті өрісте және магнитті өріс қатысынсыз зерттеу жұмыстары жүргізіліп, магнитті өрістің никельдің анодты қасиетіне және реакция жылдамдығына, электрод бетінің морфологиясына әсері анықталды. Поляризация кезінде 0,1 В, 0,3 В және 0,4 В пассивті диапазонында магнитті өріс әсерінен анодты токтың төмендегені, магнитті өрістен алған кезде анодты токтың жоғарылауы байқалған [38]. $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{KSCN}$ ерітіндісінде никельдің анодтық еруі зерттеліп, нәтижесінде никель электродының бетінде қалың тұзды пленканың түзілетіні анықталған. H_3PO_4 ерітіндісіндегі SCN^- иондарының әсерінен никель тогының тербелісі байқалған. Лоренц күші арқылы никель тогының тербелісіне магнитті өріс әсері зерттелген. Токтың тербелісі кезінде электрод бетіндегі $\text{Ni}(\text{OH})_2$ сыртқы қабаты NiOOH пассивті пленканың түзілуіне әкеледі. Жаңадан түзілген электродтағы ішкі қабат SCN иондарының әсерінен еріп электродтың пассивтелуі жойылады [39].

1.3.1 Сулы электролиттерде мыс құймаларының электрохимиялық қасиеттері

Натрий фосфатының сулы ерітіндісінде айнымалы токпен поляризацияланған мыстың жез құймасының электрохимиялық қасиеттері зерттелген. Жездің натрий фосфаты ерітіндісінде еруіне негізгі электрохимиялық параметрлердің (ток тығыздығы, электролит концентрациясы, электролиз ұзақтығы, ерітінді температурасы, ток жиілігі) әсерлері қарастырылып, жездің электрохимиялық еруінің тиімді жағдайы анықталған. Поляризацияланған жездің натрий фосфатында электрохимиялық еруінің тиімді параметрлері анықталған: $i_B = 400 \text{ A/m}^2$, $i_T = 60 \text{ kA/m}^2$, $[\text{Na}_3\text{PO}_4] = 1,0 \text{ M}$, $\nu = 50 \text{ Гц}$. Айнымалы ток режимінде поляризацияланған жез құймасының мыс (II) және мырыш (II) иондарын түзе қарқынды еруі байқалған. Құйманың еруінің ток бойынша шығымының жез электродындағы ток тығыздығын

арттырғанда бастапқыда жоғарылап, 400 A/m^2 ток тығыздығында біркелкі төмендегені анықталған. Титан электродындағы ток тығыздығын арттырғанда жездің еруінің ток бойынша шығымының 60 кА/м^2 мәнінде максимум арқылы өтетіндігі көрсетілген [40].

Мыс негізіндегі құймалардың (L63, мельхиор, монель, Cu-Al) гальваностатикалық режимдегі әртүрлі құрамдағы жоғары температуралы тұзды электролиттердегі коррозиялық және электрохимиялық қасиеттері зерттелген. Мыс құймаларының коррозиялық потенциал мәндері анықталған: L63 жез $-0,58 \text{ В}$, мельхиор $-0,91 \text{ В}$, монель $-0,81 \text{ В}$, Cu-Al $-1,43 \text{ В}$. Құймалардың ішінде L63 жез құймасы тұз балқымаларында нанопорлы және мезопорлы материалдар алу үшін ең перспективалы құйма болып табылады [41].

Жез құймасының натрий хлориді ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеті потенциостатикалық, потенциодинамикалық поляризация және электрохимиялық импедансты спектроскопия әдістерімен зерттелген. NaCl ерітіндісінің жоғары концентрацияларында (10-20%) құймадағы мырыш пен мыстың еруі және мыстың қайта тұнуы жүретіндігі байқалған. Cu-Zn құймасының 3,5 % NaCl ерітіндісіндегі коррозия жылдамдығына $25-70 \text{ }^\circ\text{C}$ аралығындағы температураның әсері қарастырылған. Зерттеу нәтижесі ерітіндінің температурасы мен концентрациясының жоғарылауымен коррозиялық ток тығыздығының мәні де жоғарылайтынын көрсеткен [42]. Cu-Zn құймасының хлоридті ерітіндіде анодты еруінің кинетикасы төмендегі реакциялармен түсіндірілген. Коррозияның бастапқы стадиясында мырыш ZnO түзеді:



Және құймадағы мыс бір валентті мыс оксидтерін түзеді:



Электрод бетінде мыстың хлоридтерімен қапталуы болады да, электрод пассивацияға ұшырайды (11-реакция). Содан кейін, түзілген мыс (I) хлориді диспропорцияға ұшырауы мүмкін (12-реакция) немесе, мыс (II) хлоридті кешендерін түзе еруі мүмкін:



Әртүрлі рН мәнінде жез (Cu-40Zn-2Pb) құймасының электрохимиялық қасиеті нитратты ерітіндіде зерттелеген. рН=11 кезінде мыстың O/PbO пленкаларының түзілуінен жездің пассивтелуі жүретіндігі, рН=12 болғанда Cu(OH)₂-мен байытылған пленканың түзілетіні анықталған. Электрохимиялық сынақ NaNO₃ іртүрлі концентрациясында (0,05 – 1 М), әртүрлі рН мәндерінде

(рН = 11, 12, 13) жүргізілген. Нитрат ерітінділерінде тәжірибе барысында жез құймасының бетінің өздігінен дезинкификацияға ұшырайтыны байқалған [43]. Әртүрлі электрохимиялық әдістер арқылы NaOH сулы ерітіндісінде Cu-30Zn құймасының электрохимиялық қасиеті мен пассивтелуі зерттеліп, потенциодинамикалық поляризациялық қисықтар сілті ерітіндісінің концентрациясының жоғарылауы коррозияның ток тығыздығының өсуіне әкелетіні анықталған. Электрохимиялық импедансты спектроскопия талдауының нәтижелері құймадағы мырыштың еруінің жоғарылауымен NaOH ерітіндісінің концентрациясының артатындықтан, импеданстың мәнінің төмендегені байқалған. Анодты пленка бетінің морфологиясы электрохимиялы кимпедансты спектроскопия, раман спектроскопиясы, рентгенқұрылымды спектроскопия әдістері қолданылды. Анодты пленка морфологиялық жарықтардан және өлшемі 100 нм болатын бөлшектерден тұратыны көрсетілді. Құйманың сыртқы қабатында CuO оксидті қабаттың түзілгені анықталған [44]. Жез құймасының құрамында 0,5 М NaHCO₃ бар 0,5 М натрий хлоридінің сулы ерітіндісіндегі анодтық еруінің механизмі қарастырылған. Мыс еруінің және бәр мезгізде мырыш пен мыстың еруінің ток тығыздықтарының мәні анықталған. Құйманың еру тиімділігі жұмысшы электродтың анодты токта еруі бойынша бағаланған. Анодты токпен поляризацияланған жез құймасының потенциал мәндерін анықтау тәжірибесі потенциометр/ гальваностатты үш электродты ұяшықта жүргізілген. Жұмысшы электрод ретінде – Cu-Zn жез құймасы, салыстырмалы электрод ретінде – KCl ерітіндісіне қаныққан күміс хлоридті электрод және көмекші электрод ретінде – платина сымы қолданылған. Потенциалдың 0,8 В мәнінде бәр валентті мыс ионы тіркелген. Ал, мыс (II) ионын анықтау -0,3 В потенциалында жүргізілген.

Жез құймасының анодты поляризациясын түсіру жұмыстары электродты электролит ерітіндісіне батыра салысымен жүргізілген. Зерттеу нәтижесінде электрод бетінде мырыштың жақсы еруіне байланысты мыспен байытылған пленканың түзілетіндігі байқалған [45].

L63 жез құймасының карбонатты сілтілі ерітінділерде еруі 773 К жақсы жүретіндігі көрсетілген. Сондай-ақ, құйма бетінің тегістігі электрохимиялық параметрлерген, яғни потенциал мәні мен ток тығыздығына байланысты болатындығ анықталған. Гальваностатикалық поляризация анодты ток тығыздығының (5 кА/м² – 5 мА/м²) әсерін, коррозиялық тұрақтылықты зерттеу үшін қолданылған [46]. Сонымен қатар, жез құймасының электрохимиялық қасиеті гальваностатикалық режимде зерттелген. L63 жез құймасы – тұзды балқымаларда нанопорлы және мезопорлы материалдарды дайындау үшін мыс негізіндегі ең перспективалы құйма. Мыс құмаларының жоғары температурада, хлоридті қоспалардағы электрохимиялық қасиеттерін қарастырып, жездің хлоридті балқымаларындағы қасиеті перспективалы болатыны анықталған [47].

Монель құймасының сілтілі карбонаттар балқымасындағы электрохимиялық және коррозиялық қасиеті зерттелген. Құйманың еру селективтілігі және тұрақты анодтық потенциалда сақталғаннан кейін электрод

бетінің модификациясы талданған. Анодтық поляризация электрод бетінің күйінің өзгеруімен қатар жүреді [48].

Ток жиілігі 50 Гц болатын айнымалы токпен поляризацияланған константин құймасының электрохимиялық қасиеті тұз қышқылының сулы ерітіндісінде зерттелеген. Тұз қышқылында константин электродының мыс (I) және никель (II) иондарын түзе еритіндігі анықталған. Айнымалы токпен поляризацияланған константин электродының еру үрдісіне негізгі электрохимиялық параметрлердің әсерлер зерттеліп, оптималды болатын параметрлер қарастырылған. Оптималды жағдайда, тұз қышқылының ерітіндісінде константин электродының еріп, мыс (I) және никель (II) иондарының түзілуінің ток бойынша шығымдары 91% және 74% құраған [49].

Мыс құймаларының (Cu65-Ni65, Cu35-Ni65, Cu63-Zn37, Cu40-Zn37, Cu50-Al50) сілтілі металдардың карбонаттары мен хлоридтерінің қоспасынан жасалған ортада анодты еруі зерттелген. Ток тығыздығының 100-1400 А/м² және анодтық потенциалдың +0,1 В; +0,2 В; +0,5 В мәндерінде электролиз процесі жүргізілген. Зерттеліп отырған ортада мыс құймасы еріп, құма бетінде никельмен байытылған пленкалардың түзілетіндігі анықталған [50].

Мыстың қола құймасының электрохимиялық зерттеу әдістері арқылы құрамында құмырсқа және сірке қышқылдары болатын электролиттің жұқа қабатындағы коррозиялық қасиетіне талдау жасалған. Зерттеу нәтижелері электролит қабатының артуымен құйманың коррозиялық жылдамдығының жоғарылайтындығын көрсеткен. мыс құймасының бетінде түзілетін мыс формиаты және мыс ацетатының гидраттары коррозия өнімдері болатыны анықталған [50]. Электрохимиялық әдістер, анодты поляризация, циклді вольтамперометрия, электрохимиялық импедансты спектроскопия әдістері арқылы Cu-Al қолы құймасының Na₂SO₄ ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеті мен коррозиялық тұрақтылығы зерттелген. 0,5 М Na₂SO₄ ерітіндісіне 0,15 М хлорид-ионын қосу арқылы CuCl түзілуінен коррозия жылдамдығының төмендейтіні анықталған. Дегенмен, хлорид-ионының жоғары концентрациясында ерігіш CuCl₂⁻ ионының түзілуінен коррозия жылдамдығы артады. Активтелу энергиясы есептеліп, 10 кДж/моль мәнін құраған. Бұл, коррозия процесінің диффузиялық режимде жүретіндігін көрсетеді. Электрод бетінде келесіде адсорбциялық бөлшектердің түзілуі мүмкін екендігі көрсетілген [51]:



Электрод бетіндегі түзілген адсорбциялық бөлшектер еруі немесе потенциалдың ұлғаюымен пассивтелуі мүмкін. Бұл адсорбциялық бөлшектердің түзілуінің әсерінен құйма пассивацияға ұшырайды. Анодты

тоқтың жоғарылауымен адсорбциялық бөлшектер еріп, ерітіндіде мыс иондарын түзеді [51]:



Электрохимиялық микроөңдеу әдісі арқылы никель-алюминийлі қола құймасының анодты еруі зерттелген. Зерттеу барысында жез, мыс және карбидті вольфрам электродтары салыстырмалы түрде қолданылған. Қолданылған үш электродта құйманың анодтық еруіне жақсы әсер ететіні анықталған [52].

Никель-алюминийлі мыс құймасының хлоридті сулы ерітінділердегі коррозиялық қасиеті электрохимиялық әдістер негізінде: сызықты вольтамперометрия, электронды сканерлеуші микроскопия әдістері арқылы зерттелген. Құйманың микроқұрылымындағы фазасыны әртүрлі тұрақтылығына байланысты Ni-Cu-Al құймасының электрохимиялық қасиеті ерітіндінің рН-ны өзгерісіне байланысты болды. Ерітіндінің рН-мән 4,0-ден жоғары болған кезде, құйманың тотығуы мыс иондарына бай α-фазасының әсерінен болғандығы анықталғын. рН 4,0-тен кіші мәндерінде құйманың анодтық қасиеттері никель, алюминийдің тотығуымен жүрді. Бейтарап ортада, хлоридті ерітіндіде Ni-Cu-Al құймасының еруінің реакция реті есептеліп, құйманың тотығуының кинетикалық моделі құрастырылған. Сонымен қатар, құйманың механикалық қасиетінің оның микроқұрылымына байланысты екендігі дәлелденді. Никель-алюминийлі мыс құймасының хлоридті ерітіндідегі коррозиялық, электрохимиялық қасиетінің ерекшеліктері көрсетілген [52].

1.4 Айнымалы токты қолдану ерекшелігі

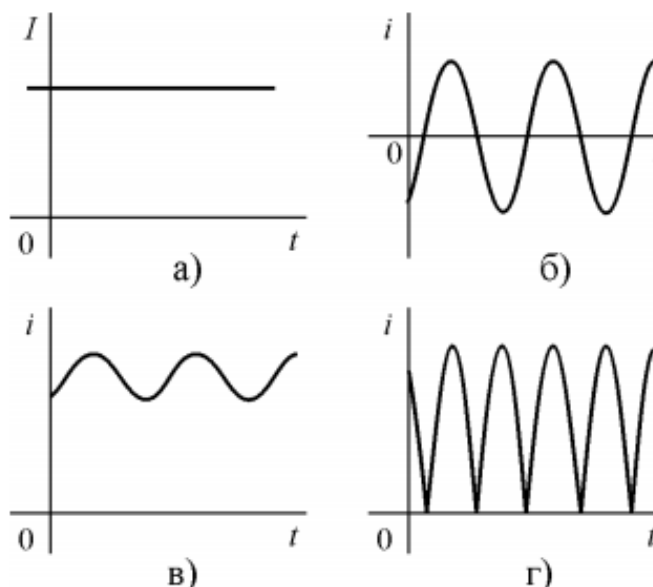
Айнымалы ток – бағыты мен шамасы периодты түрде өзгеріп отыратын электр тогы. Техникада айнымалы ток ток күші мен кернеудің период ішіндегі орташа мәні нөлге тең болатын периодты ток деп түсіндіріледі.

Айнымалы токтың бағыты уақыт бойынша кері және тура бағытта белгілі заңдылықпен: сызықты, синусоидалы, логарифмді, т.б. түрде өзгереді (2-сурет). Сонымен қатар, айнымалы ток тек уақыт бойынша бағытымен ғана емес, амплитудамен, цикл қайталанатын уақыт ұзақтығымен, айнымалы токтың оң және теріс импульстары арасындағы арақатынастармен ерекшеленеді. Тура және кері бағыттарда өткізілген электр мөлшерінің арасындағы қатынасқа байланысты айнымалы ток симметриялық және ассиметриялық болуы мүмкін [53].

Тұрақты токпен салыстырғанда айнымалы токты қолдану тиімділіктері:

- Айнымалы токтың жоғары тиімділігінде қолжетімді тотықтырғыштарды қолдану мүмкіндігі;

- Процесс қондырғысының қарапайымдылығы (диафрагма, катодты окшаулаудың қажеттілігі жоқ);
- Әртүрлі ерітінділерде металдың тотығуының жүре беретіндігі;
- Металдардың толығымен тотығу дәрежесіне жете алу мүмкіндігі.



2-сурет – Уақыт бойынша өзгеруіне байланысты электр тогының түрлері: а) тұрақты ток; б) айнымалы ток; в) синусоидалы айнымалы ток; г) синусоидалы емес айнымалы ток [54]

Айнымалы ток поляризация құбылысына айтарлықтай әсер етеді. Осциллографиялық зерттеулер металдың комплексті тұздарының ерітіндісіндегі поляризацияланған токпен салыстырғанда ток бағытының өзгеруі кезінде ток шамасының жоғарылайтындығын көрсетеді. Электродтардың полярлығының өзгеруі кезінде анодты токтың жоғары поляризациясы байқалады. Бұл құбылысты, металдарды электролиз арқылы тұндыруда тиімді болып табылады.

Тұрақты ток пен айнымалы токта электрондық реакциялар бірдей болуы мүмкін. Дегенмен, бір реакциялардың жылдамдығы деполяризацияға байланысты жоғарылауы, бір реакциялардың жылдамдығы тежеу нәтижесінде төмендейді. Ерітінділерде айнымалы токта қосылыстардың тотығуының себебі, анодты жартылай периодта жүретін реакциялар деполяризацияға ұшырайды, ал кері реакция тұрақты токтағы реакция сияқты тежеледі.

Тұз қышқылы ерітіндісінде екі мыс электродының айнымалы ток поляризациясы кезінде еруінің реакция өнімі бір валентті мыс хлориді болады. Жиілігі 50 Гц айнымалы токта электродтардың поляризациясы кезінде катодты және анодты жартылай периодта мыстың электрондық реакциясының бірінші стадиясы ғана жүріп үлгереді. Сонымен қатар, мыс электродтарының химиялық еруі де жүреді (27-реакция).

Жалпы, мыс электродтарының айнымалы токта поляризациялануы мыс (I) хлоридтерін ток бойынша шығымның жоғары мәндерінде синтездеп алуға мүмкіндік туғызады.

Айнымалы токта поляризацияланған электродтарда металдардың (мысалы, никель, мыс, висмут, т.б.) еруі барысында, жоғары ток тығыздықтарының мәнінде де электродтың пассивацияға ұшырауы болмайды [54].

1.5 1-бөлім бойынша қорытынды

Бұл тарауда мыс және никельдің, мыс-никель негізіндегі құймалардың физика-химиялық, механикалық, электрохимиялық және коррозиялық қасиеттері туралы мәліметтер келтірілген.

Мельхиор – мыстың никель негізіндегі, физика-механикалық қасиеті және коррозиялық қасиеті жақсы құйма. Мельхиор құймасы өзіне тән ерекше қасиеттеріне байланысты конденсаторлық және жылуалмастырғыш құбырлар ретінде, тұрмыстық құралдар жасауда, кеме жасауда, медициналық жабдықтар жасауда қолданылу ерекшеліктері көрсетілді. Мельхиор электродының қышқылды, сілтілі, бейтарап орталардағы коррозиялық, электрохимиялық қасиеттеріне әдеби шолу жасалынды.

Cu – Ni негізіндегі құйманың сулы ертінділердегі коррозиялық, электрохимиялық қасиеттерін зерттеген ғылыми жұмыстарға талдау жасай отырып, мельхиор құймасының қышқылды және бейтарап ертінділердегі электрохимиялық қасиеттерінің толық зерттелмегендігі анықталды. Мыс-никель құймаларының коррозиялық және электрохимиялық қасиеттері натрий хлориді [5, 9-11, 15, 16], теңіз суында [12-14], күкірт қышқылы [19, 20, 22], литий бромиді [21] ертінділерінде зерттелгені анықталды.

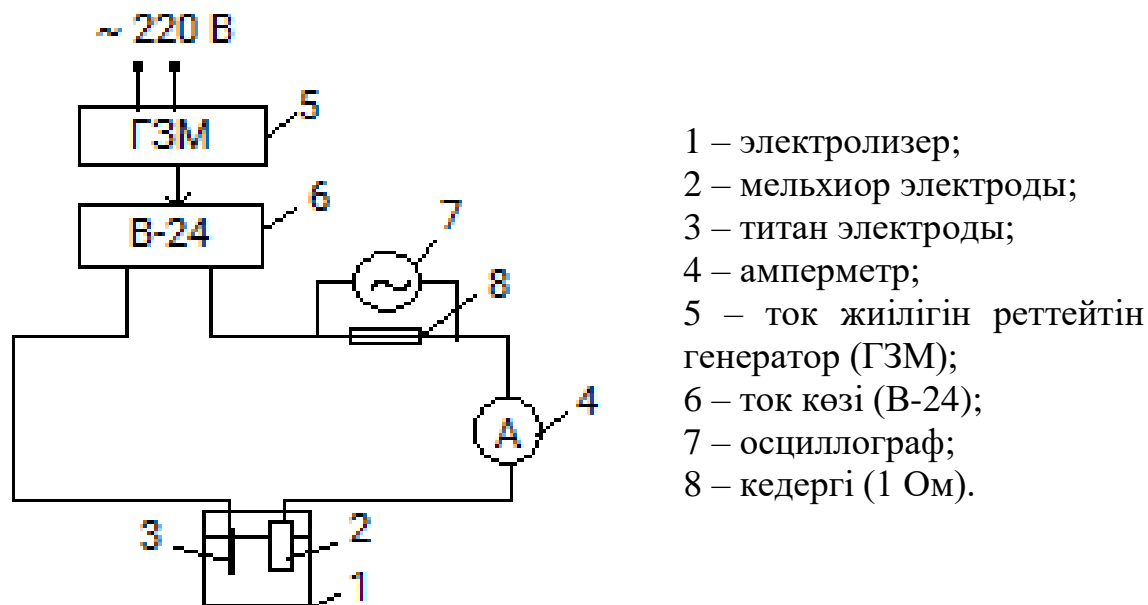
II ЗЕРТТЕУ НЫСАНДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІНЕ СИПАТТАМА

2.1 Айнымалы ток режимінде электролиз жүргізу әдістемесі

Мельхиор электродының электрохимиялық қасиеті өндірістік жиіліктегі айнымалы ток электролиз режимінде зерттелді. Мельхиор электродының электрохимиялық еруі электролиз әдісіне негізделген. Мельхиор электродының электрохимиялық қасиетін зерттеу барысында қолданылған қондырғы 3-суретте, сызба-нұсқасы 4-суретте бейнеленген. Негізгі зерттеу жұмыстары электрод кеңістігі бөлінбеген 100 мл шыны электролизерде жүргізілді. Электролиз жүргізу барысында жұмысшы электрод ретінде – мельхиор пластинкасы (Cu 67,5% - Ni 27,5%) және салыстырмалы электрод ретінде – ауданы кіші титан сымы қолданылды. Электрохимиялық тізбекте айнымалы ток көзі ретінде В-24 маркалы қондырғы пайдаланылды. Айнымалы ток синусоидасының ауытқуы С-1-77 маркалы эмбебап осциллограф көмегімен анықталды. Зерттеу жұмысының барысында айнымалы токтың әртүрлі жиіліктерін алу үшін ГЭМ дыбыстық генераторы қолданылды.



3-сурет – Мельхиор электродының электрохимиялық қасиетін зерттеу барысында қолданылған қондырғы



4-сурет – Өндірістік айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының электрохимиялық қасиеттерін анықтауға арналған қондырғының сызба-нұсқасы

Өндірістік ток жиілігі 50 Гц болатын айнымалы ток режимінде поляризациялау арқылы электролиз үрдісін жүргізу барысында электролит үшін тұз қышқылының және натрий хлоридінің сулы ерітінділері қолданылды. Зерттеу жұмысының барысында мельхиор электродының электролизге дейінгі және кейінгі массалары өлшеніп отырылды. Электролиз нәтижесінде түзілген ерітіндідегі мыс және никель иондарының мөлшерлерін анықтау фотоколориметрлік әдістерімен жүргізілді [55, 56].

2.2 Ерітіндідегі мыс және никель иондарының мөлшерін анықтау әдістемесі

2.2.1 Ерітіндідегі мыс иондарының мөлшерін фотоколориметриялық әдіспен анықтау

Ерітіндідегі мыс (II) иондарын анықтаудың кеңінен қолданылатын екі әдісі бар: фотоколориметриялық және иодометриялық әдіс. Бұл әдістер қарапайымдылығымен, қол жетімділігімен өлшеу дәлдігімен және жоғары сезімталдығымен ерекшеленеді.

Ерітіндідегі мыс иондарының мөлшерін фотоколориметриялық әдіспен анықтау. Мыс иондары аммиактың сулы ерітіндісінде қанық көк түсті комплексті иондар түзеді. Мыс иондарын фотоколориметриялық әдіспен анықтау осы реакцияға негізделген:



Реактивтер тізімі:

- Мыс сульфатының стандартты ерітіндісі (С-1мг/см³)
- 10 % аммиак сулы ерітіндісі

Жұмыстың орындалу әдістемесі:

1. Сыйымдылығы 50 мл өлшеуіш колбаға 5 мл $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ стандартты ерітіндісін, 5 мл аммиактың сулы ерітіндісін құйып, белгіге дейін дистилденген сумен келтіреді. Алынған ерітіндінің толқын ұзындығының 620 нм мәнінде оптикалық тығыздығы ($A_{\text{ст}}$) өлшенеді.

2. Зерттелетін ерітіндінің аликвотты бөлігін 50 мл өлшеуіш колбаға құйып, 5 мл аммиак ерітіндісін қосып, белгіге дейін дистилденген сумен келтіреді. Сосын ерітіндінің оптикалық тығыздығы (A_x) өлшенеді. Зерттеліп жатқан ерітіндідегі мыс (II) иондарының концентрациясы төмендегі формуламен анықталады:

$$C_x = \frac{C_{\text{ст}} \cdot A_x}{A_{\text{ст}}} \quad (1)$$

мұндағы, $C_{\text{ст}}$ – мыстың стандартты ерітіндісінің концентрациясы, мг/дм³;

C_x – зерттелетін ерітіндідегі мыс концентрациясы, мг/дм³;

$A_{\text{ст}}$ – стандартты ерітіндінің оптикалық тығыздығы;

A_x – зерттелетін ерітіндінің оптикалық тығыздығы.

2.2.2 Ерітіндідегі никель иондарының мөлшерін йод қатысында диметилглиоксим ерітіндісімен фотометриялық әдіспен анықтау

Реактивтер тізімі:

- 20 % шарап қышқылы
- Концентрлі аммиак ерітіндісі
- 1 % ДМГ (диметилглиоксим)
- 0,01 н йод ерітіндісі
- Стандартты никель ерітіндісі

Барлық тұздардың маркалары «хт» болып табылады.

Ерітінділерді дайындау.

Стандартты никель ерітіндісін дайындау үшін 100 мл өлшем колбасына х.т. $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ тұзының 0,956 г мөлшерін аналитикалық таразыда өлшеп алып, бірнеше тамшы күкірт қышқылы қосылған 50 мл дистилденген суда ерітіп белгіге дейін дистилденген сумен келтіреді. 1 мл дайын болған ерітінді құрамында 500 мкг никель (II) болады.

10% NaOH ерітіндісін дайындау үшін 10 г сілтіні 100 мл өлшем колбасында дистилденген суда ерітіп, белгіге дейін дистилденген сумен келтіреді.

0,01 н йод ерітіндісін дайындау үшін 0,1269 г металдық йодты 0,25 % KI ерітіндісінде ерітеді.

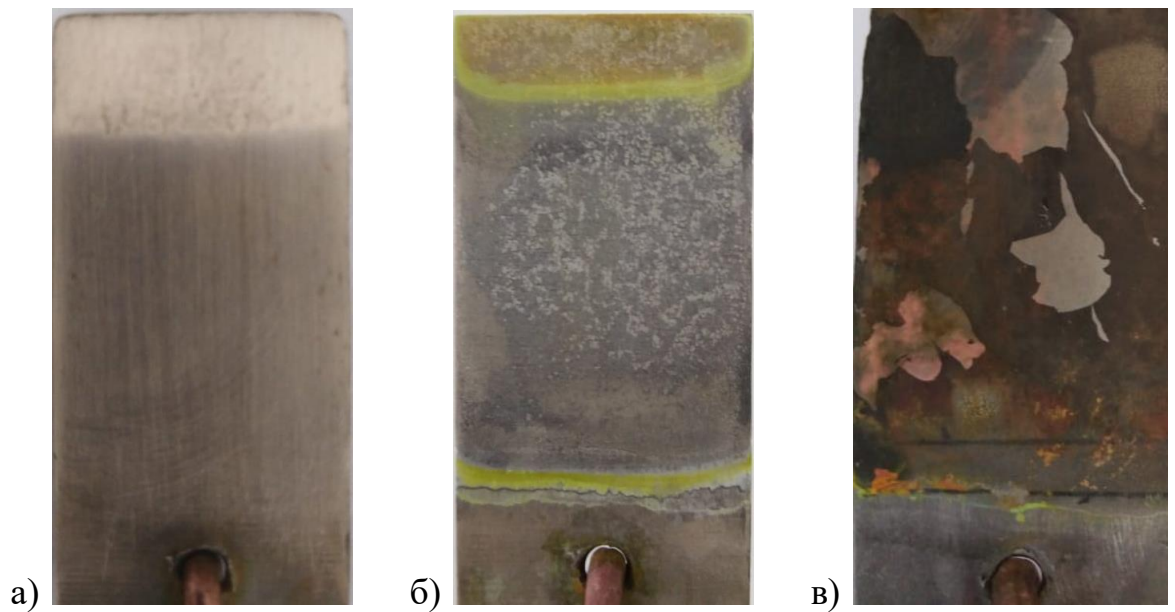
1 % диметилглиоксим ерітіндісін дайындау үшін 1 г тұзды 10 % NaOH ерітіндісінде ерітіп, 100 мл-ге дейін дистилденген сумен келтіреді.

Сыйымдылығы 50 мл болатын өлшеуіш колбаға 2 мл 20 % шарап қышқылы, 10 мл концентрленген аммиак ерітіндісі, 1 мл 1% ДМГ ерітіндісі құйылады. Сосын зерттелінетін никель ерітіндісінің аликвотты бөлігі құйылып, соңғы кезекте ерітіндіге 3 мл 0,01н йод ерітіндісі қосылып белгіге дейін дистилденген сумен толтырылады. Ерітіндінің оптикалық тығыздығы 10 мин кейін фотометр КФК-3 қондырғысында, толқын ұзындығының 460 нм мәнінде өлшенеді. Никель (II) ионын анықтау үшін градуирленген график тұрғызуға стандартты никельдің 5-50 мкг/50мл аралығында оптикалық тығыздығы түсіріледі.

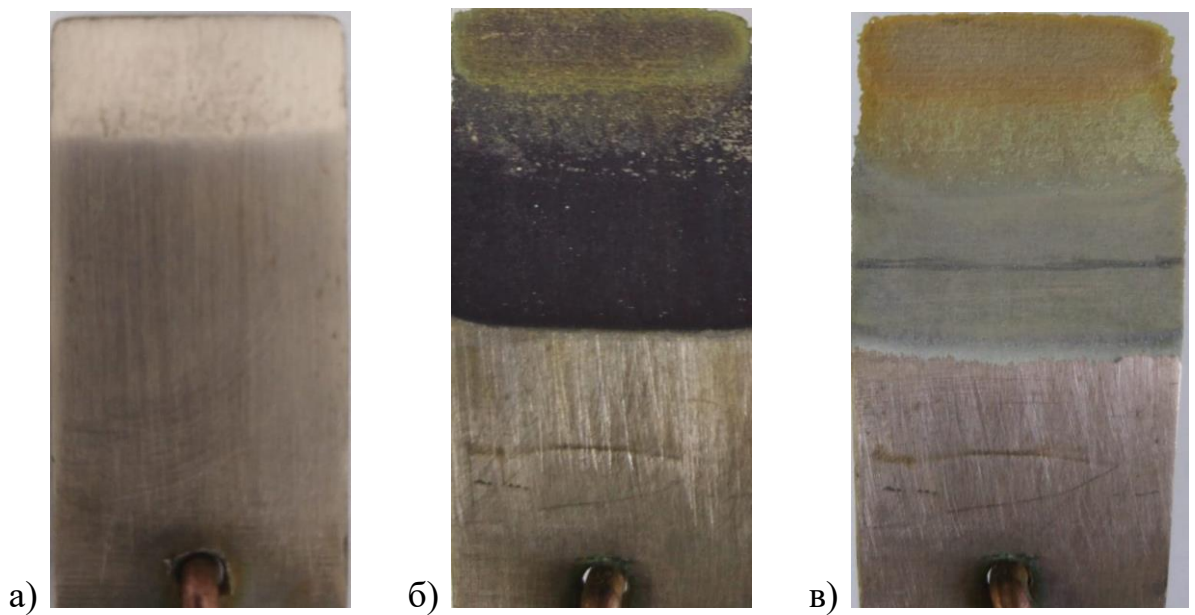
2.3 Электродтарды жұмысқа дайындау

Зерттеу барысында электродтардың тазалығына және жұмыс дайындығына қатты мән берілді. Жұмысшы электрод ретінде – мельхиор пластинкасы, салыстырмалы электрод ретінде – ауданы кіші титан сымы қолданылды. Электродтарды жұмысқа дайындау механикалық тазалаудан тұрады. Механикалық тазалағыш ретінде – кетіргіш қағазы (наждачная бумага) пайдаланылды. Электродтардың беті механикалық тазаланып, дистилденген сумен шайылып, кептірілді. Әр зерттеу тәжірибесінің барысында жұмысшы электродтың массасы аналитикалық таразыда өлшеніп отырылды. Барлық сандық өлшеу жұмыстары үш реттен кем емес дәрежеде өткізілді. Есептеу және график тұрғызу жұмыстары Excel программасы арқылы жүзеге асырылды.

Мельхиор электродының тұз қышқылы, натрий хлориді ерітінділеріндегі айнымалы және тұрақты ток кезіндегі электролиз үрдісіне дейінгі және кейінгі көріністер 5- және 6-суреттерде келтірілді. Айнымалы токта поляризацияланған мельхиор электродының натрий хлорид ерітіндісіне қарағанда тұз қышқылының сулы ерітіндісінде жақсы ерігендігі анықталды. Ал, тұрақты ток кезінде керісінше, тұз қышқылы ерітіндісінде электродтың аз еруі және натрий хлориді ерітіндісінде электродтың жақсы еріп, электрод бетінің аздап жемірілуге ұшырағаны байқалды.



5-сурет – Мельхиор электродының айнымалы токтағы а) электролиз үрдісіне дейінгі, б) тұз қышқылы ерітіндісіндегі электролизден кейінгі, в) натрий хлориді ерітіндісіндегі электролизден кейінгі бейнесі.



6-сурет – Мельхиор электродының тұрақты токтағы а) электролиз үрдісіне дейінгі, б) тұз қышқылы ерітіндісіндегі электролизден кейінгі, в) натрий хлориді ерітіндісіндегі электролизден кейінгі бейнесі.

2.4 Зерттеу нәтижелерін математикалық статистика тәсілімен өңдеу әдістемесі

Өндірістік жиілігі 50 Гц айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының тұз қышқылы мен натрий хлориді ерітінділерінде

электрохимиялық еруі бойынша жүргізілген зерттеу нәтижелерінің дұрыстығының сапалық көрсеткіштерін анықтау үшін зерттеу нәтижелерін математикалық статистика тәсілімен өңдеу жүргізілді. Математикалық статистикалық шамаларды есептеу барысында мельхиор құймасының еруінің оңтайлы жағдайында мыс және никель иондарының түзілуінің ТШ мәндері алынды.

Мыс және никель иондарының түзілуінің ТШ мәндерінің орташа арифметикалық мәні \bar{x} төмендегі формула бойынша есептелінді:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2)$$

Мұнда, \bar{x} – орташа арифметикалық мән;
 $\sum x_i$ – өлшенетін мән суммасы (ток бойынша шығым);
 n – жүргізілген өлшеу саны ($n=3$)

Орташа ауытқу – орташа мәннің айналасындағы мәндердің таралуын сипаттайды. Өлшеу санының (n) артуы, орташа мәнді анықтаудың кездейсоқ қателігінің төмендеуіне әкеледі. Талдаудың репродуктивтілігін бағалау үшін өлшемсіз мән – салыстырмалы стандартты ауытқу қолданылады, ол көбіне пайызбен беріледі. Стандартты орташа ауытқу Δx мәні төмендегі формуламен анықталды:

$$\Delta x = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (3)$$

Формуладағы абсолюттік мән ауытқу белгілерін жою үшін қолданылады. Егер ауытқудың туралық шамаларын пайдаланса, онда стандартты ауытқу мәні нөлге тең болып қалады.

Гаусстың қарапайым қателік теориясына сәйкес жеке өлшеудің кездейсоқ қателігі орташа квадраттық ауытқу деп аталады.

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Бұл шаманың квадраты дисперсия деп аталады. Дисперсия мәні артқанда өлшеу нәтижелерінің таралуы артады, яғни қате артады. Дисперсия орташа сызықтық ауытқу сияқты түбегейлі есептеледі, тек элементтердің жеке шамалары мен жиынтықтың орташа арифметикалық ортасы арасындағы ауытқу белгілерін жою үшін осы шамалардың квадратты мәндері қолданылады. Дисперсияны анықтауға арналған формула:

$$S^2 = \frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (5)$$

Дисперсияның квадрат түбірі бізге стандартты ауытқуды немесе орташа квадраттық ауытқу мәнін береді:

$$S = \sqrt{S^2} \text{ немесе } S = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (6)$$

Барлық өлшеу сериясының қателігін бағалау үшін жеке өлшеудің орнына қажетті x_0 шамасының шын мәнінен ауытқуды сипаттайтын орташа арифметикалық мәнің орташа квадраттық қателігін табу керек. Арифметикалық ортаның квадраттық қателігі:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (7)$$

Салыстырмалы қате, δ – қабылданған тірек мәнінен ауытқу ретінде бақыланатын мән.

$$\delta = x_i - \mu \quad (8)$$

Зерттеу нәтижелерінің сенімділік интервалы немесе стандартты кездейсоқ қателігі төмендегі формуламен анықталды [57]:

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha} \cdot S_{\bar{x}} \quad (9)$$

Мұнда, S_n – орташа квадраттық ауытқу;

S – дисперсия мәні;

$S_{\bar{x}}$ – арифметикалық ортаның квадраттық қателігі;

$\Delta_{\bar{x}}$ – стандартты кездейсоқ қателік;

t_{α} - Стьюдент коэффициенті.

III МЕЛЬХИОР ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЕРУІН ЗЕРТТЕУ

3.1 Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының тұз қышқылы сулы ерітіндісіндегі электрохимиялық еруін зерттеу

3.1.1 Мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері

Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының электрохимиялық еру үрдісіне негізгі электрохимиялық параметрлердің: титан электродындағы ток тығыздығының, мельхиор электродындағы ток тығыздығының, ерітінді концентрациясының, электролиз ұзақтығының, ерітінді температурасының және айнымалы ток жиілігінің әсерлері жүйелі түрде зерттелді.

Өндірістік ток жиілігі 50 Гц айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының электрохимиялық еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері 20-120 кА/м² аралығында зерттелінді (7-сурет). Титан электродындағы ток тығыздығының артуымен құйманың еруінің ток бойынша шығымының 60 кА/м² ток тығыздығында максимум арқылы өтетіні байқалды. Мыс (I) және никель (II) иондарының түзлуінің ток бойынша шығым мәндері титан электродының ток тығыздығының 60 кА/м² мәнінде сәйкесінше 41 %-дан 59 %-ға дейін және 11 %-тен 15 %-ке дейін жоғарылап, ток тығыздығын одан әрі жоғарылатқанда 17 % және 4 %-ға дейін төмендейтіні анықталды. Құйманың еруінің ток бойынша шығымының артуын титан электродының «вентильдік» қасиетімен түсіндіруге болады. «Вентильдік» әсер анодты жартылай периодта титан электродында электр тогының өтуіне кедергі туғызатын оксидтік қабаттың түзілуі нәтижесінде пайда болады.

Тұз қышқылы ерітіндісінде айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының еруі келесі реакциялар бойынша жүруі мүмкін:



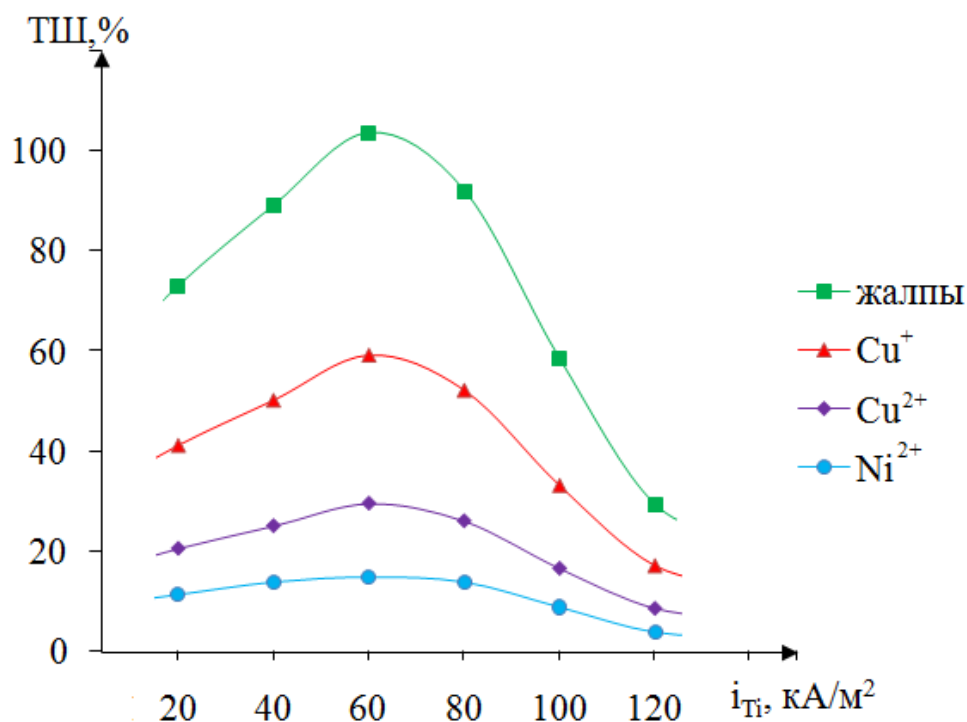
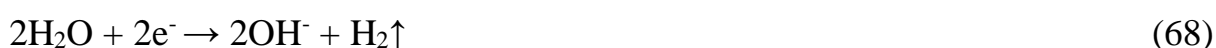
Тұз қышқылының ерітіндісінде мельхиор құймасының құрамындағы мыстың тотығуы бір валентті иондарды түзе жүруі басым (2-реакция). Түзілген мыс хлориді тұз қышқылды ортада әртүрлі құрамды ерігіш хлорид кешенді қосылыстарын түзеді [40]:



Ерітіндідегі өткен никель иондары ерітіндідегі хлор иондарымен әрекеттесіп, никель (II) хлориді түзіледі:



Мельхиор электродының электрохимиялық еруінің ток бойынша шығымның ток тығыздығының артуымен төмендеуі титан электродында бөлініп жатқан сутегінің тотықсыздану реакциясының өсуіне байланысты. Айнымалы токпен поляризациялау кезінде анодты жартылай периодта мельхиор электродының еруі жүргенде, катоды жартылай периодта титан электродында сутек газының қарқынды бөлінуі байқалды:



7-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на титан электродындағы ток тығыздығының әсері. $i_M=400 \text{ A/m}^2$, $[\text{HCl}]=0,5 \text{ M}$, $\tau = 0,5 \text{ сағ}$.

Мыс-никель құймасының еруінің жалпы ток бойынша шығымның 100 %-дан асуының себебін, құйма құрамындағы мыстың тұз қышқылының сулы ерітіндісінде ерітіндісінде электрохимиялық еруімен қатар химиялық еруінің орын алуымен түсіндіруге болады (27-реакция).

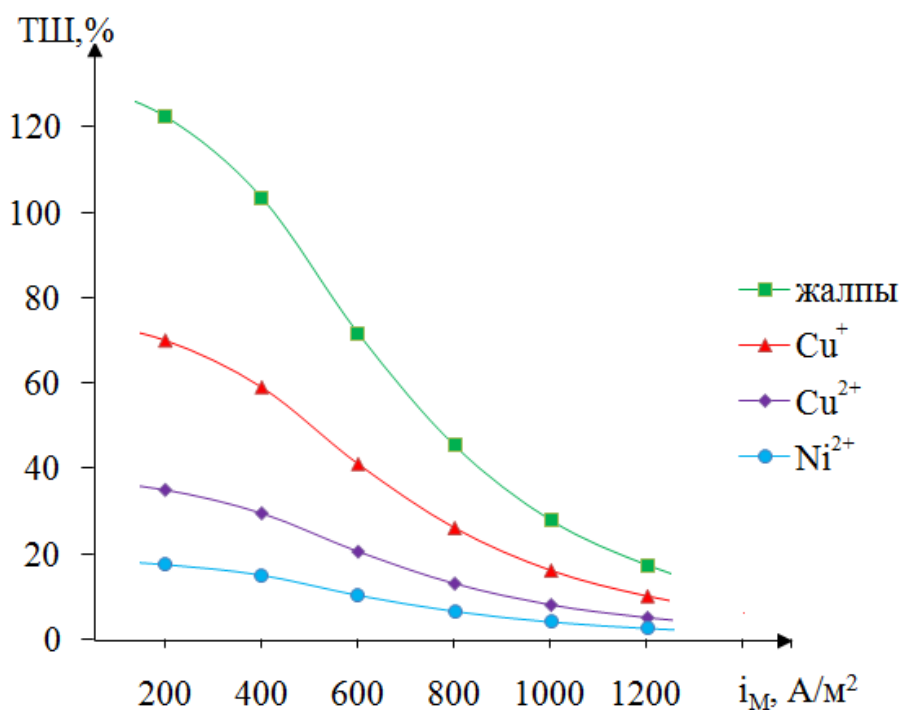
Мельхиор электродының потенциалы мыспен салыстырғанда теріс болғандықтан, ерітіндідегі мыс (Cu^{2+}) иондарының электрод бетінде цементтелу процесі орын алуы мүмкін. Нәтижесінде электрод бетінде түзілген

мыс ұнтақтары мен мельхиор электроды гальваникалық жұп түзіп [40], құйма құрамындағы никельдің ерітіндіге өтуін жеңілдетеді. Бұл үдерістер жалпы ток бойыншы шығым мәнінің жоғары (ТШ>100 %) болуына алып келеді.

Тұз қышқылының сулы ерітіндісіне мельхиор электродын поляризацияламай 0,5 сағатқа салып қойғанымызда 0,47 мг никельдің, 1,04 мг мыстың және 1,66 мг мельхиор электродының ерігені байқалды.

3.1.2 Cu-Ni құймасының еруінің ток бойынша шығымына мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері

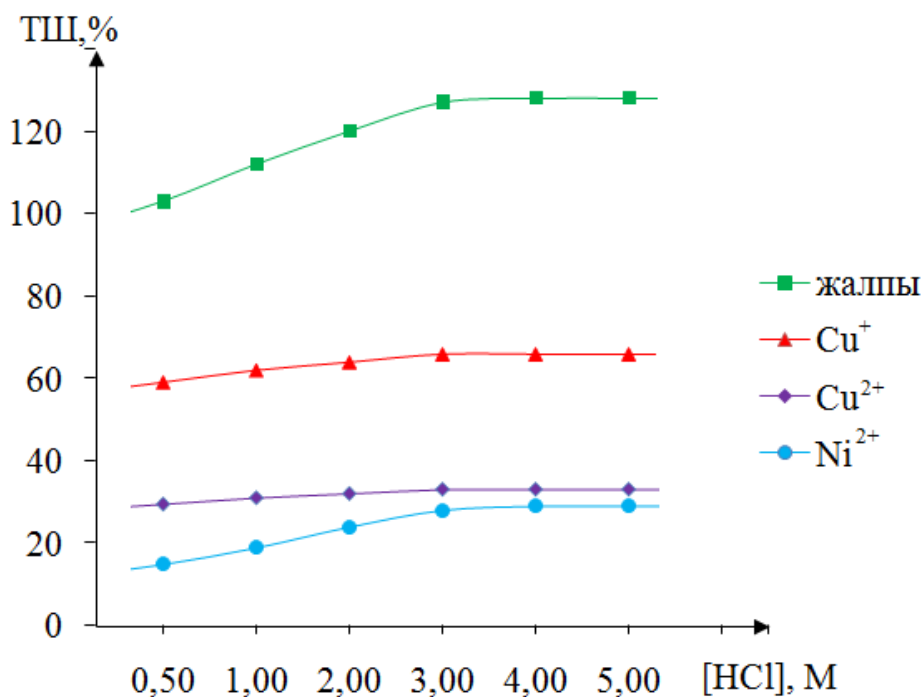
Айнымалы токпен поляризацияланған Cu-Ni құймасының еруіне мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері 200 A/m^2 - 1200 A/m^2 аралығында зерттелді (8-сурет). Осы тәжірибе барысында титан электродындағы ток тығыздығы 60 k A/m^2 мәнінде тұрақты ұсталды. Cu-Ni құймасының еруінің жалпы ТШ мельхиор электродының 200 A/m^2 ток тығыздығында 122,5 %-дан 1200 A/m^2 ток тығыздығында 17,5 %-ға дейін елеулі кеміді. Мельхиор электродының ток тығыздығын жоғарылатқанда Cu (I) ионы бойынша ТШ 70 %-дан 10%-ға, Cu (II) ионы бойынша ТШ 35%-дан 5 %-ға және Ni (II) ионы бойынша ТШ 17,5 %-дан 2,5 %-ға дейін айтарлықтай төмендегені байқалды. Бұл ток тығыздығының аруымен қосымша реакциялардың жылдамдығының өсуімен байланысты. Сонымен қатар, ток тығыздығының аруымен бір валентті мыс хлоридінің электрод бетінде адсорбциялануы нәтижесінде пассивтеліп, мельхиор құймасының еруінің ТШ кемиді.



8-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері. $i_{Ti}=60 \text{ kA/m}^2$, $[\text{HCl}]=0,5 \text{ M}$, $\tau = 0,5 \text{ сағ.}$

3.1.3 Мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына тұз қышқылы концентрациясының әсері

Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының электрохимиялық еру ерекшелігіне тұз қышқылының концентрациясының әсері 0,5 – 5,0 М концентрация аралығында зерттелді (9-сурет). Тұз қышқылының сулы ерітіндісінің концентрациясының артуымен мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымы өседі. Бұл заңды құбылыс, анионның концентрациясының артуымен оның тотықтырғыштық қасиеті артады. Сондай-ақ, тұз қышқылының сулы ерітіндісінің концентрациясының артуымен оның электрөткізгіштігі де жоғарылайды да негізгі үрдістің жылдамдығының өсуі байқалады. Зерттеу барысында тұз қышқылының концентрациясын 0,5 М-ден 5,0 М-ге дейін арттырғанда ТШ мәні жалпы мыс иондары бойынша айтарлықтай өзгермеді, мельхиор электродының еруінің жалпы ТШ 103 %-дан 128 %-ға дейін жоғарылады.



9-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на тұз қышқылының концентрациясының әсері. $i_{T1}=60 \text{ кА/м}^2$, $i_M=400 \text{ А/м}^2$, $\tau = 0,5 \text{ сағ}$.

Мельхиор электродының электрохимиялық еруінің ток бойынша шығым мәндерінің қышқыл концентрациясына тәуелділігінен реакция реті есептелді. Мыс (I) (7-кесте), мыс (II) (8-кесте) және никель (II) (9-кесте) иондарының түзілуінің реакция ретін есептеу мәндері келтірілді. Cu (I) иондарының түзілуінің реакция реті 0,95 мәнді, Cu (II) иондарының түзілуінің реакция реті 0,79 және Ni (II) иондарының түзілуінің реакция реті 0,42 мәнді көрсетті.

7-кесте. Мыс (I) иондарының реакция реттілігін есептеу

n	C _{эл}	x= lgC	x ²	ТШ, %	y=lgТШ	x•y
1	0,5	-0,301	0,0906	59,01	1,77	-0,533
2	1,0	0	0	62,23	1,794	0
3	2,0	0,301	0,0906	64,36	1,808	0,544
4	3,0	0,477	0,228	66,18	1,820	0,868
5	4,0	0,602	0,363	66,31	1,821	1,097
6	5,0	0,699	0,488	66,42	1,822	1,274
∑	-	1,778	1,259	-	10,837	3,250

$$b = \frac{n\sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{6 \cdot 3,25 - (1,778 \cdot 10,837)}{6 \cdot 1,259 - 3,1612} = 0,953$$

8-кесте. Мыс (II) иондарының реакция реттілігін есептеу

n	C _{эл}	x= lgC	x ²	ТШ, %	y=lgТШ	x•y
1	0,5	-0,301	0,0906	29,5	1,469	-0,443
2	1,0	0	0	31,12	1,492	0
3	2,0	0,301	0,0906	32,23	1,507	0,454
4	3,0	0,477	0,228	33,06	1,519	0,725
5	4,0	0,602	0,363	33,17	1,520	0,915
6	5,0	0,699	0,488	33,28	1,521	1,063
∑	-	1,778	1,259		9,031	2,715

$$b = \frac{n\sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{6 \cdot 2,715 - (1,778 \cdot 9,031)}{6 \cdot 1,259 - 3,1612} = 0,791$$

9-кесте. Никель (II) иондарының реакция реттілігін есептеу

n	C _{эл}	x= lgC	x ²	ТШ, %	y=lgТШ	x•y
1	0,5	-0,301	0,0906	15,2	1,182	-0,356
2	1,0	0	0	19,3	1,286	0
3	2,0	0,301	0,0906	24,14	1,383	0,416
4	3,0	0,477	0,228	28,51	1,455	0,694

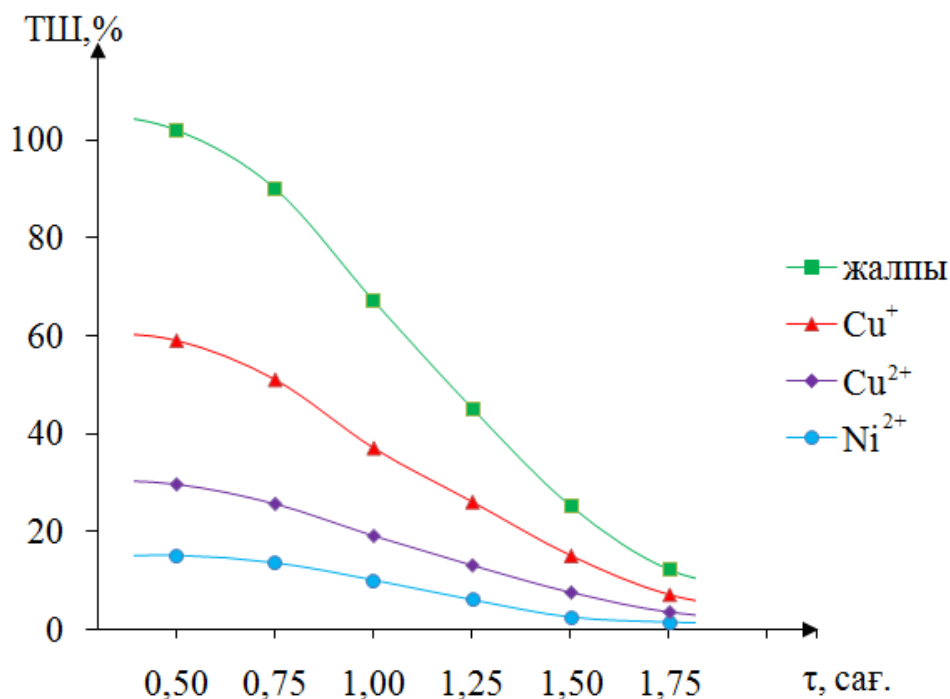
9-кесте жалғасы

5	4,0	0,602	0,363	29,22	1,466	0,883
6	5,0	0,699	0,488	29,45	1,469	1,027
Σ	-	1,778	1,259		8,239	2,664

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{6 \cdot 2,664 - (1,778 \cdot 8,24)}{6 \cdot 1,259 - 3,1612} = 0,424$$

3.1.4 Мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына электролиз ұзақтығының әсері

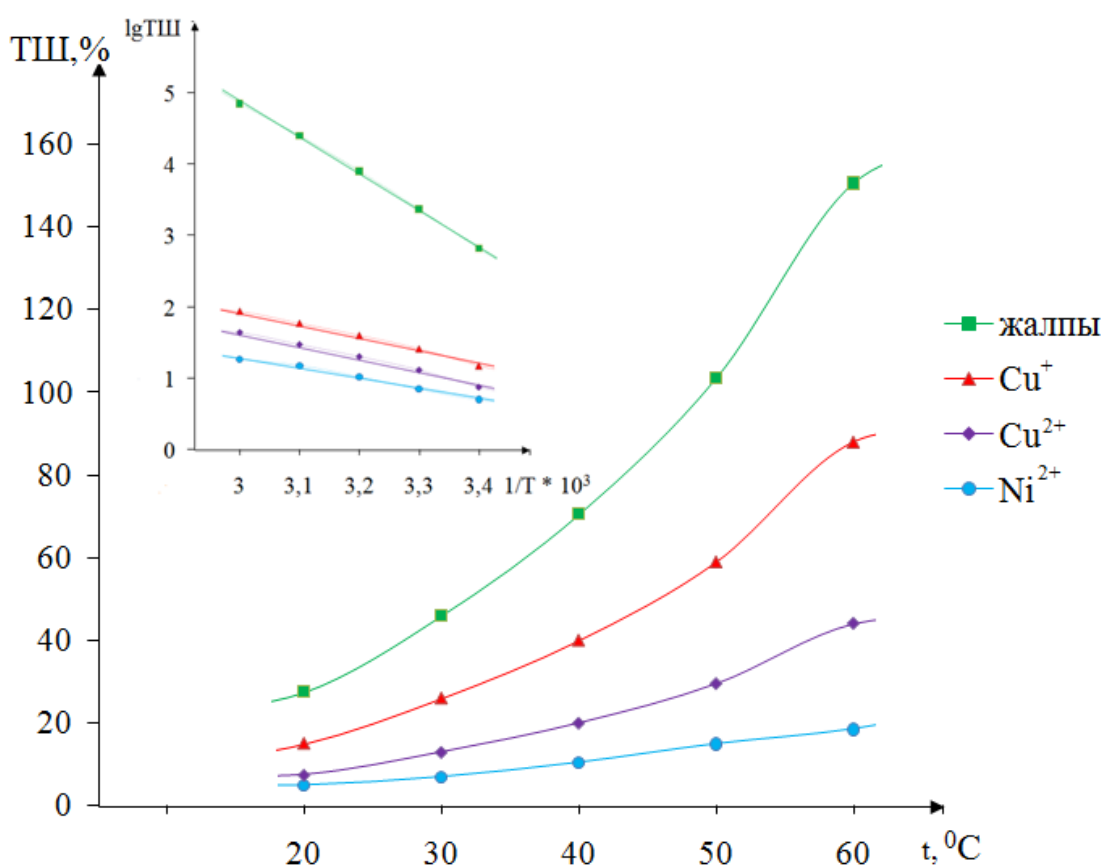
Мыс-никель құймасының электрохимиялық еруіне электролиз ұзақтығының әсері зерттелді (10-сурет). Электролиз ұзақтығын арттыру мыс (I) және никель (II) иондарының түзілуінің ТШ-ның кемуіне әкелді. Яғни, уақыт артуымен электродтардың электролиз өнімдерімен пассивтелуі орын алады. Электролиз жүру уақыты 1 сағаттан артқанда, электролит титан электродында мыс ұнтақтарының түзілуі байқалды. Титан электродында мыс ұнтақтарының жинақталуы нәтижесінде титан электродының тоқты түзету қасиеті төмендейді. Бұл өз кезегінде, құйманың еруінің ток бойынша шығымының төмендеуіне әсер ететіні анықталды. Жалпы, мельхиор электродының электрохимиялық еруі үшін тиімді электролиз ұзақтығы – 0,5 сағ..



10-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на электролиз ұзақтығының әсері. $i_{Ti}=60 \text{ кА/м}^2$, $i_M=400 \text{ А/м}^2$, $[\text{HCl}]=0,5 \text{ М}$

3.1.5 Мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына ерітінді температурасының әсері

Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына және еруі жылдамдығына электролит температурасының әсері зерттелді (11-сурет). Электролит температурасы жоғарылаған сайын мыс-никель құймасының еру жылдамдығының артатыны анықталды. Титан электродында сутегінің қарқынды бөлінуімен қатар, ерітінді температурасының артуымен мельхиор электродының еріп, титан электродының аймағында мыс ұнтақтарының жинақталып бөлінуі байқалды. Құйманың еруінің жалпы ТШ мәні сызықты түрде артты. Ерітінді температурасын 20-60 °С-қа дейін жоғарылатқанда Ni (II) ионы бойынша ТШ 5 %-дан 18,6 %-ға дейін, жалпы мыс иондары бойынша ТШ 22,5 %-дан 132 %-ға дейін айтарлықтай жоғарылады.



11-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на ерітінді температурасының әсері және мельхиор электродының ток бойынша шығым логарифмінің температураға кері тәуелділігі. $i_{Ti}=60 \text{ кА/м}^2$, $i_M=400 \text{ А/м}^2$, $[\text{HCl}]=0,5 \text{ М}$, $\tau = 0,5 \text{ сағ}$.

Химиялық реакциялардың жылдамдығы активтену энергиясымен анықталатыны белгілі. Температуралы-кинетикалық ($\lg\text{ТШ}-1/T \cdot 10^3$) әдіспен мыс (I), мыс (II) және никель (II) иондарының активтену энергиясының орташа мәні есептелінді (10-, 11-, 12-кесте) және сәйкесінше $E_{\text{акт}}=35,02 \text{ кДж/моль}$,

$E_{\text{акт}}=34,62$ кДж/моль және $E_{\text{акт}}=26,035$ кДж/моль шаманы құрады. Бұл жүріп жатқан электрохимиялық реакцияның кинетикалық режимде жүретіндігін көрсетті.

10-кесте. Мыс (I) иондарының активтену энергиясын есептеу

n	T, °C	T, K	$x = \frac{1}{T} \cdot 10^3$	x^2	ТШ, %	$y=\lg\text{ТШ}$	$x \cdot y$
1	20	293	3,413	11,648	15,32	1,185	4,045
2	30	303	3,300	10,892	26,22	1,419	4,682
3	40	313	3,195	10,207	40,14	1,604	5,123
4	50	323	3,096	9,585	59,02	1,771	5,483
5	60	333	3,003	9,018	88,41	1,947	5,845
Σ			16,007	51,351		7,925	25,179

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 25,179 - (16,007 \cdot 7,925)}{5 \cdot 51,351 - 256,224} = -1,8079$$

$$E_a = -2,33 \cdot 8,314 \cdot (-1,8079) = 35,02 \text{ кДж/моль}$$

11-кесте. Мыс (II) иондарының активтену энергиясын есептеу

n	T, °C	T, K	$x = \frac{1}{T} \cdot 10^3$	x^2	ТШ, %	$y=\lg\text{ТШ}$	$x \cdot y$
1	20	293	3,413	11,648	7,66	0,884	3,018
2	30	303	3,300	10,892	13,11	1,118	3,688
3	40	313	3,195	10,207	20,07	1,303	4,161
4	50	323	3,096	9,585	29,5	1,469	4,551
5	60	333	3,003	9,018	44,2	1,645	4,941
Σ			16,007	51,351		6,419	20,36

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 20,36 - (16,007 \cdot 6,419)}{5 \cdot 51,351 - 256,224} = -1,787$$

$$E_a = -2,33 \cdot 8,314 \cdot (-1,787) = 34,62 \text{ кДж/моль}$$

12-кесте. Никель (II) иондарының активтену энергиясын есептеу

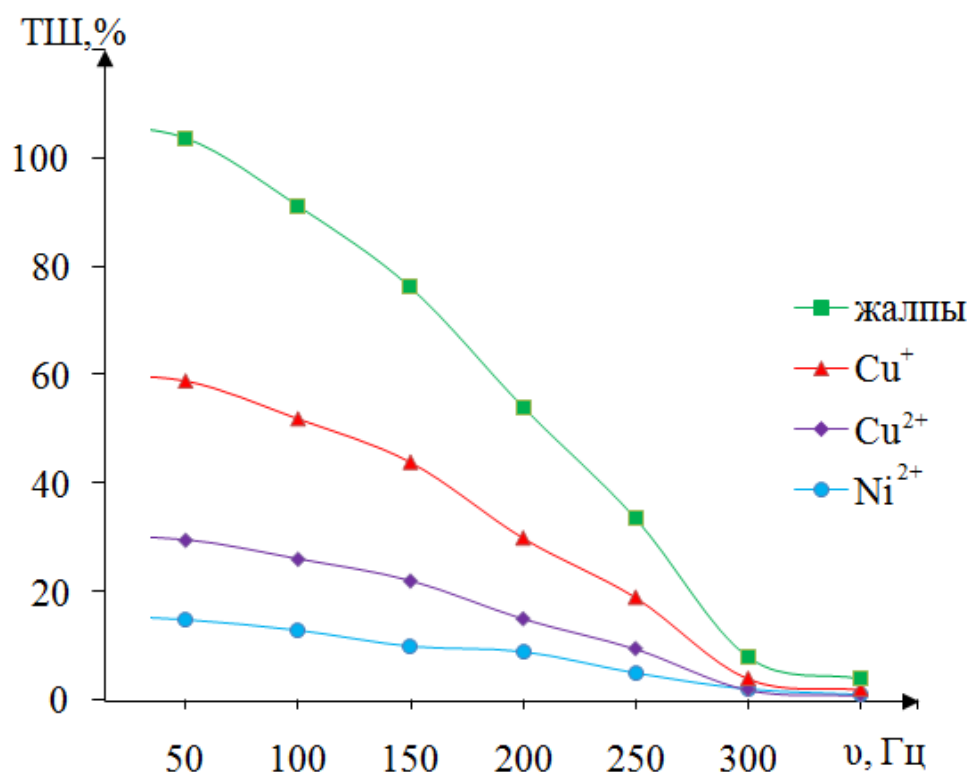
n	T, °C	T, K	$x = \frac{1}{T} \cdot 10^3$	x^2	ТШ, %	$y = \lg \text{ТШ}$	$x \cdot y$
1	20	293	3,413	11,648	5,26	0,721	2,461
2	30	303	3,300	10,892	7,71	0,887	2,928
3	40	313	3,195	10,207	10,54	1,023	3,268
4	50	323	3,096	9,585	15,05	1,178	3,645
5	60	333	3,003	9,018	18,6	1,269	3,812
Σ			16,007	51,351		5,078	16,114

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 16,114 - (16,007 \cdot 5,078)}{5 \cdot 51,351 - 256,224} = -1,344$$

$$E_a = -2,33 \cdot 8,314 \cdot (-1,344) = 26,035 \text{ кДж/моль}$$

3.1.6 Мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына айнымалы ток жиілігінің әсері

Айнымалы токпен поляризацияланған Cu-Ni құймасының еруіне айнымалы ток жиілігінің әсері мардымды екенін 12-суреттен көруге болады. Мельхиор электродының тұз қышқылы ерітіндісіндегі поляризациясына айнымалы ток жиілігінің әсері 50-350 Гц аралығындағы ток жиілігінде зерттелінді. Айнымалы ток жиілігінің шамасын жоғарылату Cu-Ni құймасының еруінің жалпы ток бойынша шығымын 103,5 %-дан 8 %-ға дейін айтарлықтай төмендетіп, 350 Гц-те мельхиор электроды еруін мүлдем тоқтатады деуге болады. Жиіліктің жоғарылауы кезінде ток бойынша шығымынан төмендеуін, ионизация процесінің тежелуімен, яғни анодты жартылай периодтағы тотығу реакциясының жүруіне қажетті уақыттың жетіспеуінен туындайды деп тұжырымдауға болады. Жоғары ток жиілігінде периодтар өте жылдам өзгертіндіктен анодтық жартылау периодта құйма компоненттері мыс пен никель тотығып үлгере алмайды. Бұл кезде электродтық процеске сутегі иондары ғана қатысады. Катодтық жартылай периодта сутегі иондары активті атомарлық күйге дейін тотықсызданады да, ал анодтық жартылай периодта олардың қайтадан H^+ күйге дейін тотығуы жүреді деп жорамалдауға болады. Сондай-ақ, бұл ток жиілігін арттыру кезінде ток тығыздығының әсерінің төмендеу заңдылығымен, электродтардағы нақты поляризацияның азаюымен түсіндіруге болады.

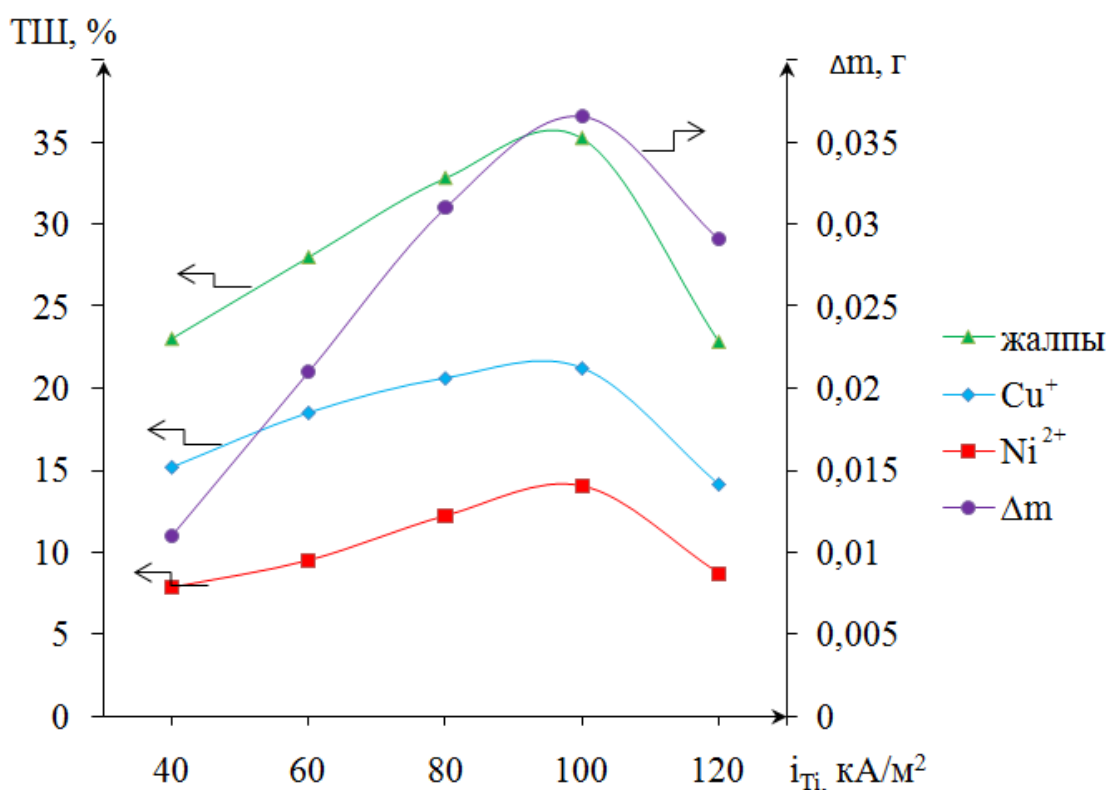


12-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на айнымалы ток жиілігінің әсері. $i_{Ti}=60 \text{ кА/м}^2$, $i_M=400 \text{ А/м}^2$, $[\text{HCl}]=0,5 \text{ М}$, $\tau = 0,5 \text{ сәғ}$.

3.2 Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының натрий хлоридінің сулы ерітіндісіндегі электрохимиялық еруін зерттеу

3.2.1 Cu-Ni құймасы еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері

Жиілігі 50 Гц болатын айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының натрий хлоридінің сулы ерітіндісінде электрохимиялық еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері (13-сурет) зерттелді. Ток тығыздығын 40 кА/м^2 -ден 100 кА/м^2 -ге дейін өсуімен, Cu (I) және Ni (II) иондарының түзілуінің ток бойынша шығымы сәйкесінше 15,2 %-дан 21,21 %-ға және 7,86 %-дан 14,04 %-ға дейін жоғарылауы байқалды. Титан электродындағы ток тығыздығының жоғарылауымен мельхиордың жақсы еруін титан электродының вентильдік қасиетімен түсіндіруге болады. 120 кА/м^2 ток тығыздығында құйманың еруінің ТШ мәнінің төмендейтіні анықталды. Үрдіс барысында мельхиор электродының массасының кему мөлшерінің титан электродындағы ток тығыздығының 100 кА/м^2 мәніне дейін біркелкі жоғарылайтыны байқалды. Cu-Ni құймасының электрохимиялық еруінің ток бойынша шығымы титан электродындағы ток тығыздығының 100 кА/м^2 мәнінде максимум мәнді көрсетті: Cu (I) және Ni (II) иондарының түзілуінің ТШ мәні 21,21 % және 14,04 % болды.

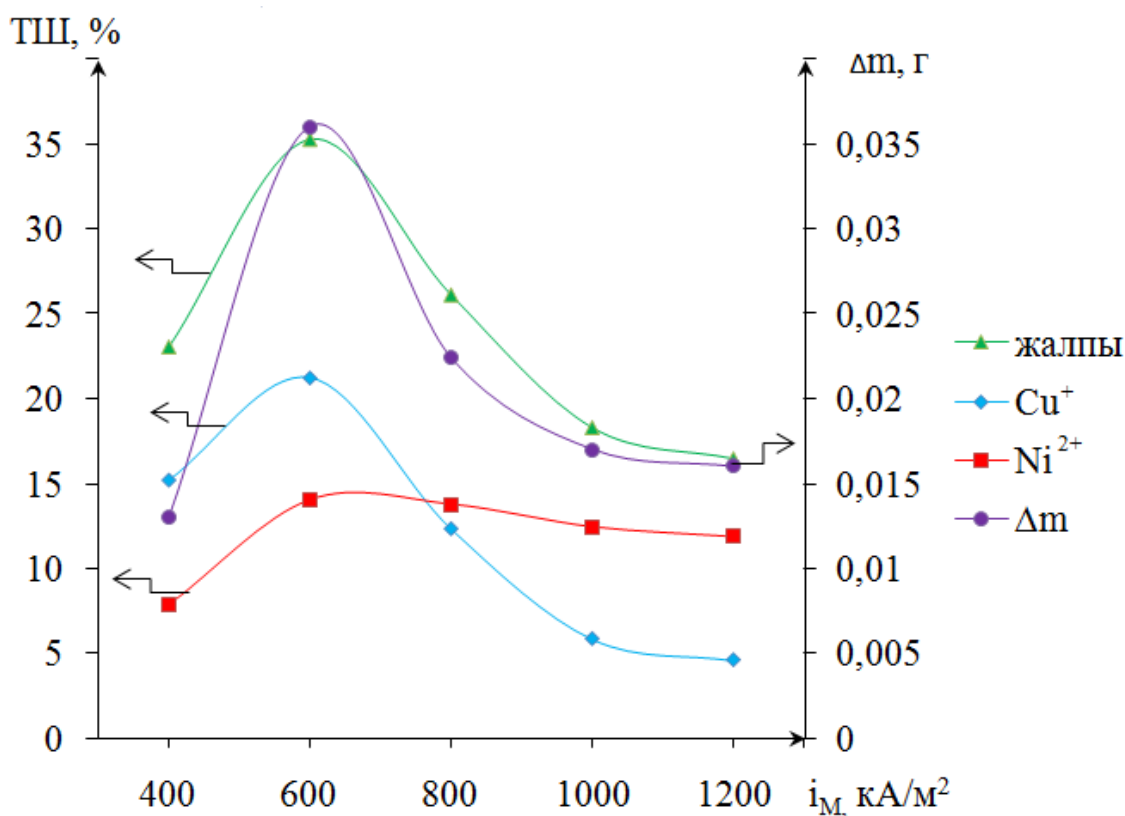


13-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на титан электродындағы ток тығыздығының әсері. $i_M=600 \text{ A/m}^2$, $[\text{NaCl}]=2,0 \text{ M}$, $\tau=1 \text{ сағ}$.

3.2.2 Cu-Ni құймасы еруінің ток бойынша шығымына мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері

Cu-Ni құймасының хлоридті ерітіндіде электрохимиялық еруіне мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері $400 \text{ A/m}^2 - 1200 \text{ A/m}^2$ аралығында зерттелді (14-сурет). Зерттеу барысында титан электродының ток тығыздығы 100 kA/m^2 мәнінде тұрақты ұсталды. Бейтарап ортадағы мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсерін зерттегенде мельхиор электродындағы ток тығыздығының 600 A/m^2 мәнінде мыс (I) және никель (II) иондарының түзілуінің ТШ мәні мен электрод массасының кему мөлшерінің максимум арқылы өтетіні байқалды. Ток тығыздығының ары қарай жоғарылауымен құйманың еруінің ТШ мәнінің жүретін қосымша реакция жылдамдықтарының жоғарылауының әсерінен төмендейтіндігі анықталды.

Ток тығыздығын 600 A/m^2 -ден 1200 A/m^2 -ға дейін арттырғанда Cu (I) және Ni (II) иондарының түзілуінің ток бойынша шығымы $21,21 \%$ -дан $4,62 \%$ -ға дейін және $14,04\%$ -дан $11,87 \%$ -ға дейін төмендегені байқалды. Құйма еруінің ток бойынша шығымының осылай өзгеруі ток тығыздығы жоғарылағанда қосымша реакциялардың жылдамдығының артуымен байланысты.

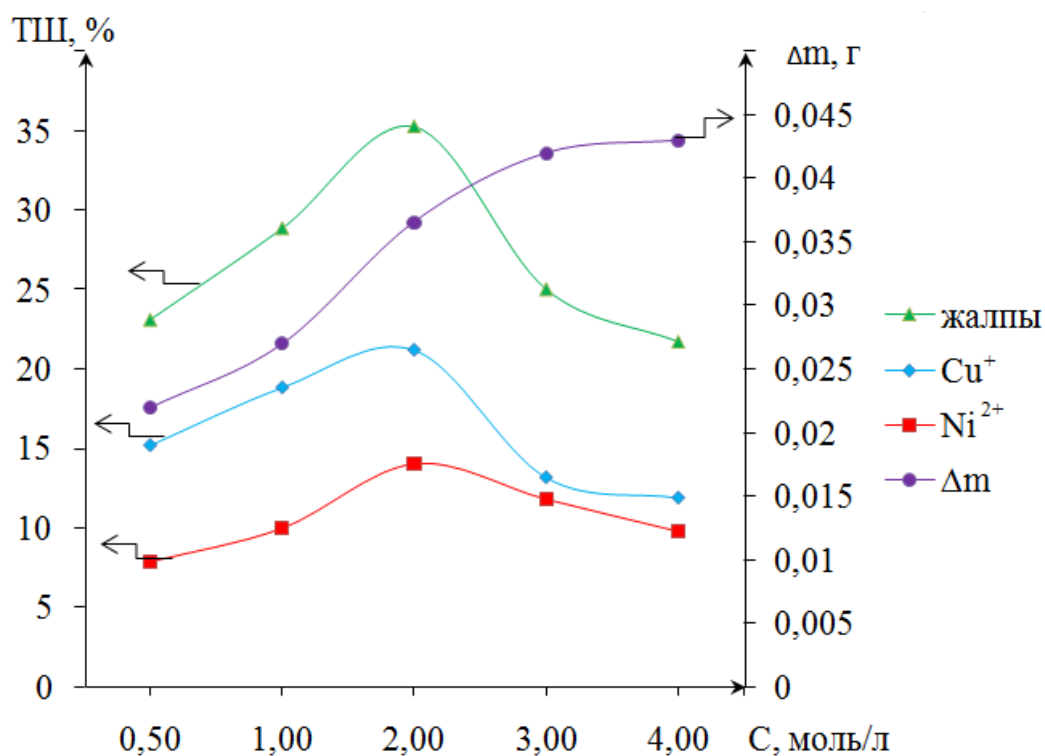


14-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері. $i_{Ti}=600 \text{ A/m}^2$, $[\text{NaCl}]=2,0 \text{ M}$, $\tau=1 \text{ сағ}$.

3.2.3 Cu-Ni құймасы еруінің ток бойынша шығымына натрий хлориді концентрациясының әсері

Мельхиор электродының электрохимиялық еруіне натрий хлориді ерітіндісінің концентрациясының әсері қарастырылды (15-сурет). Электродтың еруінің ТШ мәні ерітінді концентрациясының 0,5 М-ден 4,0 М-ге дейін артуымен максимум арқылы өтті. Электролит концентрациясының жоғарылауымен мельхиор электродының еруінің жақсы жүретіні электрод массасының кему мөлшерінің жоғарылауынан байқалды.

Cu-Ni құймасының электрохимиялық еруінің ток бойынша шығым мәндерінің қышқыл концентрациясына тәуелділігінен реакция реті есептелді (13-, 14-кесте). Cu (I) иондарының түзілуінің реакция реті 0,24 мәнді және Ni (II) иондарының түзілуінің реакция реті 0,42 мәнді көрсетті.



15-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на натрий хлоридінің концентрациясының әсері. $i_{Ti}=100 \text{ кА/м}^2$, $i_M=600 \text{ А/м}^2$, $\tau=1 \text{ сағ}$.

13-кесте. Мыс (I) иондарының реакция реттілігін есептеу

n	C _{эл}	x = lgC	x ²	ТШ, %	y = lgТШ	x·y
1	0,5	-0,301	0,0906	15,2	1,182	-0,356
2	1,0	0	0	18,84	1,275	0
3	2,0	0,301	0,0906	21,21	1,326	0,399
∑	-	0	0,181		3,783	0,044

$$b = \frac{n\sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{3 \cdot 0,044 - (0 \cdot 3,783)}{3 \cdot 0,181} = 0,24$$

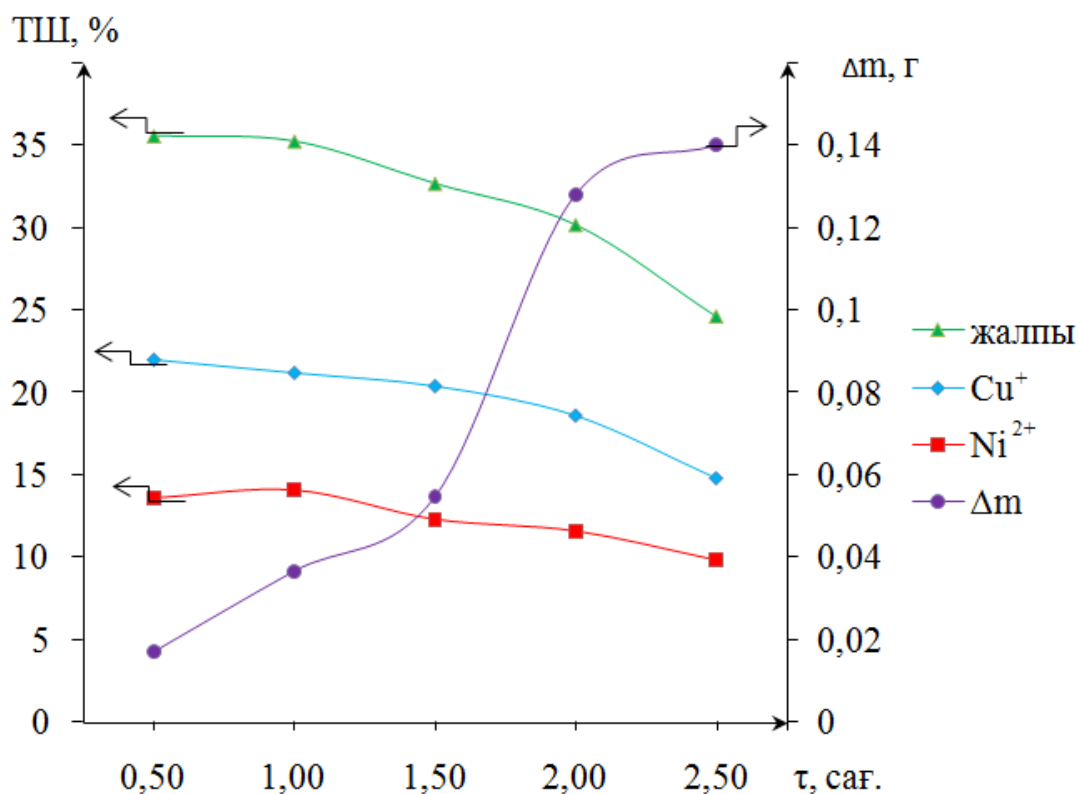
14-кесте. Никель (II) иондарының реакция реттілігін есептеу

n	C _{эл}	x = lgC	x ²	ТШ, %	y = lgТШ	x·y
1	0,5	-0,301	0,0906	7,86	0,895	-0,269
2	1,0	0	0	9,98	0,999	0
3	2,0	0,301	0,0906	14,04	1,147	0,345
∑	-	0	0,181		3,042	0,076

$$b = \frac{n\sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{3 \cdot 0,076 - (0 \cdot 3,042)}{3 \cdot 0,184} = 0,412$$

3.2.4 Cu-Ni құймасының еруінің ток бойынша шығымына электролиз ұзақтығының әсері

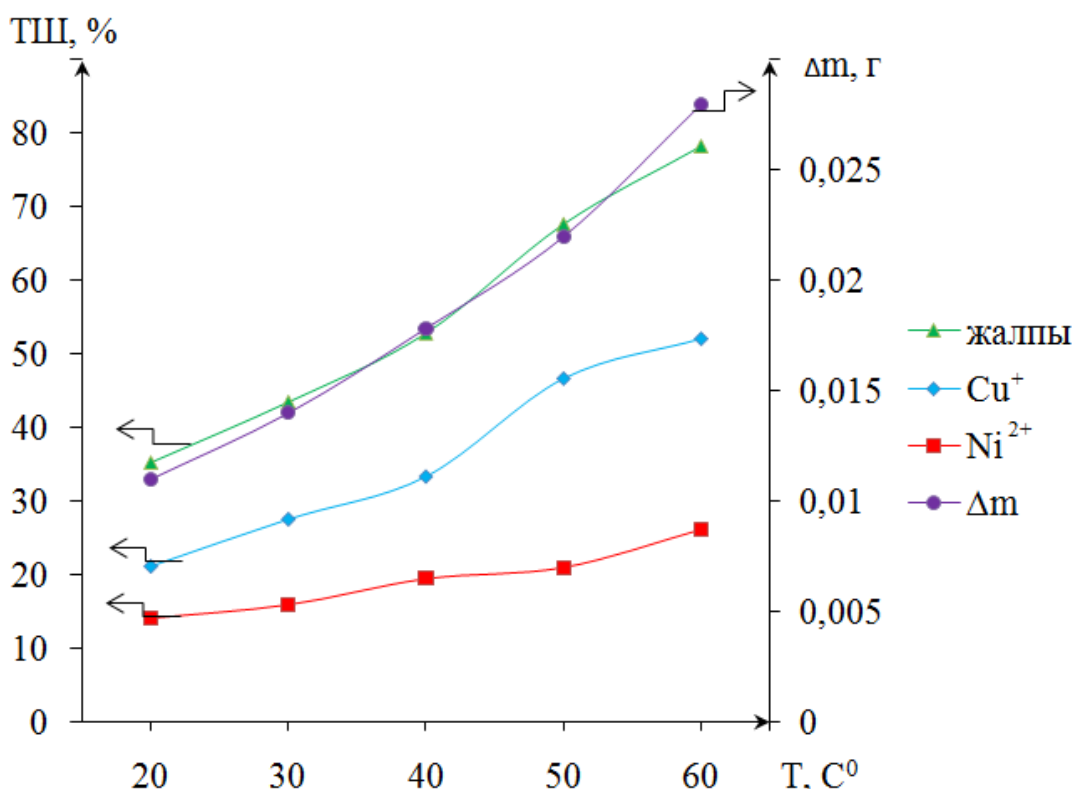
Электролиз ұзақтығын жоғарылатқанда электродтардың электролиз өнімдерімен пассивтелуі орын алатындықтан, Cu-Ni құймасының еруінің ток бойынша шығымының кемуі көрініс тапты (16-сурет). Электролиз ұзақтығы жоғарылаған сайын, электрод беті электролиз өнімдерімен қанығып, нәтижесінде мельхиор электродының еру жылдамдығы төмендейді. Натрий хлориді ерітіндісінде электролиз ұзақтығы 15 минуттан бастап ерітіндіде сары-ақшыл, жасыл түсті тұнбаның бөліне бастағаны байқалды. Электролиз ұзақтығының ары қарай артуымен ерітінді түсінің сары түске өзгеріп, ерітіндіде қою жасыл, қоңыр түсті тұнбаның бөлінетіні анықталды. Бұл ерітіндіде мыс пен никельдің гидроксидті және хлоридті қосылыстарының түзіліп жатқандығын көрсетеді.



16-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на электролиз ұзақтығының әсері. $i_{Ti}=100 \text{ кА/м}^2$, $i_M=600 \text{ А/м}^2$, $[\text{NaCl}]=2,0 \text{ М}$, $\tau=1 \text{ сағ.}$

3.2.5 Cu-Ni күймасы еруінің ток бойынша шығымына ерітінді температурасының әсері

Ток жиілігі 50 Гц айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының бейтарап ортада электрохимиялық еруіне электролит температурасының әсері зерттелді (17-сурет). Ерітінді температурасының 20 °С-тан 60 °С-қа дейін жоғарылауымен мельхиор электродының еруінің жалпы ток бойынша шығымының жоғарылауы байқалды.



17-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на ерітінді температурасының әсері. $i_{Ti}=100 \text{ кА/м}^2$, $i_{M}=600 \text{ А/м}^2$, $[\text{NaCl}]=2,0 \text{ М}$, $\tau=1 \text{ сағ}$.

Бейтарап ортада электрохимиялық реакциялардың активтену энергиясы түзу сызықты кескіннің бұрыштық коэффициентіне байланысты табылды. Температуралы-кинетикалық ($\lg \text{ТШ} - 1/T \cdot 10^3$) әдіспен анықталған мыс (I) және никель (II) иондарының активтену энергиясының есептеу 15- және 16-кестелерде келтірілді.

15-кесте. Мыс (I) иондарының активтену энергиясын есептеу

n	T, °C	T, K	$x = \frac{1}{T} \cdot 10^3$	x^2	ТШ, %	$y = \lg \text{ТШ}$	$x \cdot y$
1	20	293	3,413	11,648	21,21	1,326	4,527
2	30	303	3,300	10,892	27,6	1,441	4,755

15-кесте жалғасы

3	40	313	3,195	10,207	33,4	1,524	4,868
4	50	323	3,096	9,585	46,7	1,669	5,168
5	60	333	3,003	9,018	52,1	1,717	5,156
Σ			16,007	51,351		7,677	24,475

$$b = \frac{n\sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 24,475 - (16,007 \cdot 7,677)}{5 \cdot 51,351 - 256,224} = -0,962$$

$$E_a = -2,33 \cdot 8,314 \cdot (-0,962) = 18,64 \text{ кДж/моль}$$

16-кесте. Никель (II) иондарының активтену энергиясын есептеу

n	T, °C	T, K	$x = \frac{1}{T} \cdot 10^3$	x^2	ТШ, %	$y = \lg \text{ТШ}$	$x \cdot y$
1	20	293	3,413	11,648	14,04	1,147	3,916
2	30	303	3,300	10,892	15,89	1,201	3,964
3	40	313	3,195	10,207	19,45	1,289	4,118
4	50	323	3,096	9,585	21	1,322	4,094
5	60	333	3,003	9,018	26,2	1,418	4,259
Σ			16,007	51,351		6,378	20,351

$$b = \frac{n\sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 20,351 - (16,007 \cdot 6,378)}{5 \cdot 51,351 - 256,224} = -0,636$$

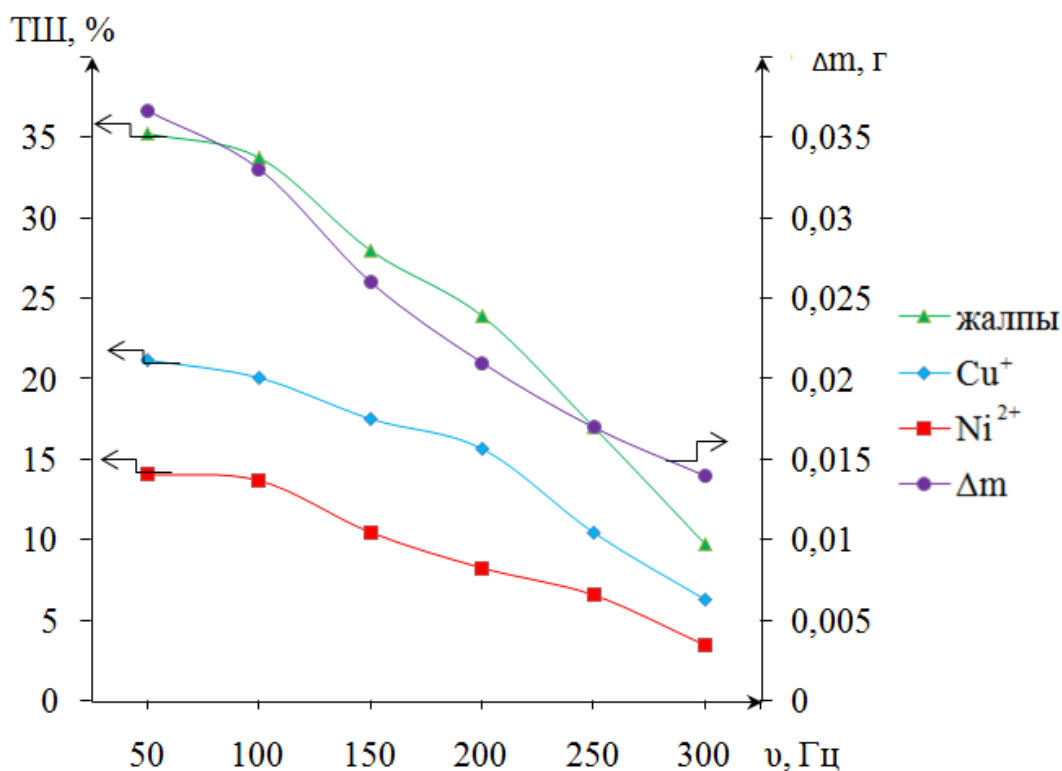
$$E_a = -2,33 \cdot 8,314 \cdot (-0,636) = 12,32 \text{ кДж/моль}$$

Температуралы-кинетикалық ($\lg \text{ТШ} - 1/T \cdot 10^3$) әдіспен анықталған мыс (I) және никель (II) иондарының активтену энергиясының орташа мәні сәйкесінше $E_{\text{акт}} = 18,64$ кДж/моль және $E_{\text{акт}} = 12,32$ кДж/моль шаманы құрады. Бұл жүріп жатқан электрохимиялық реакцияның диффузиялық-кинетикалық режимде жүретіндігін көрсетті. Мыс (I) иондарының түзілу үрдісі кинетикалық режимде жүрсе, никель (II) иондарының активтену энергиясының төмен болуы никельдің тотығуының диффузиялық режимде жүретіндігін көрсетеді.

3.2.6 Cu-Ni күймасы еруінің ток бойынша шығымына ток жиілігінің әсері

Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына айнымалы ток жиілігінің әсері қарастырылды (18-сурет). Натрий хлоридін ерітіндісінде ток жиілігінің поляризацияланған мельхиор электродының электрохимиялық еруіне әсері мардымды екендігі анықталды. Хлоридті ерітіндіде мельхиор электродының еруіне айнымалы ток жиілігінің әсері 50 Гц-пен 300 Гц аралығында зерттелді.

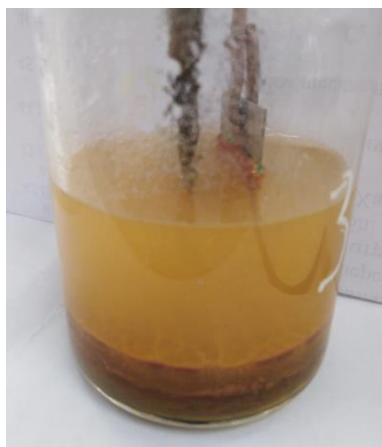
Ток жиілігінің мәнінің артуымен мельхиор электродының еруінің, яғни мыс (I) және никель (II) иондарының түзілуінің ток бойынша шығымы 21,21 %-дан 6,3 %-ға дейін және 14,04 %-дан 3,44 %-ға дейін төмендеп, ток жиілігін одан әрі жоғарылатқанда күйманың еруі мүлдем тоқтады деуге болады. Айнымалы ток жиілігінің жоғары мәнінде анодтық және катодтық жартылай периодтар жылдам өзгертіндіктен анодтық жартылай периодта күймадағы мыс пен никель тотығып үлгері алмайды. Нәтижесінде, электродтық процеске тек сутегі иондары қатысады.



18-сурет – Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының ТШ-на ток жиілігінің әсері. $i_{Ti}=100 \text{ кА/м}^2$, $i_{M}=600 \text{ А/м}^2$, $[\text{NaCl}]=2,0 \text{ М}$, $\tau=1 \text{ сәғ}$.

19-суретте натрий хлориді ерітіндісінде айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының тиімді жағдайда электрохимиялық еруі бейнеленген. Тиімді жағдайда натрий хлоридінің ерітіндісінде 50 Гц айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының еруі барысында

электролит ерітіндісінің түсінің сары түске өзгеріп, ерітіндіде сарғыш қоңыр және қоңыр-жасылдау түсті тұнбаның түзілгені байқалды. Сарғыш түс мыс (I) гидроксидіне, қою жасыл түс никель (II) гидроксидіне тән.



19-сурет – Натрий хлориді ерітіндісінде айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының тиімді жағдайда электрохимиялық еруі

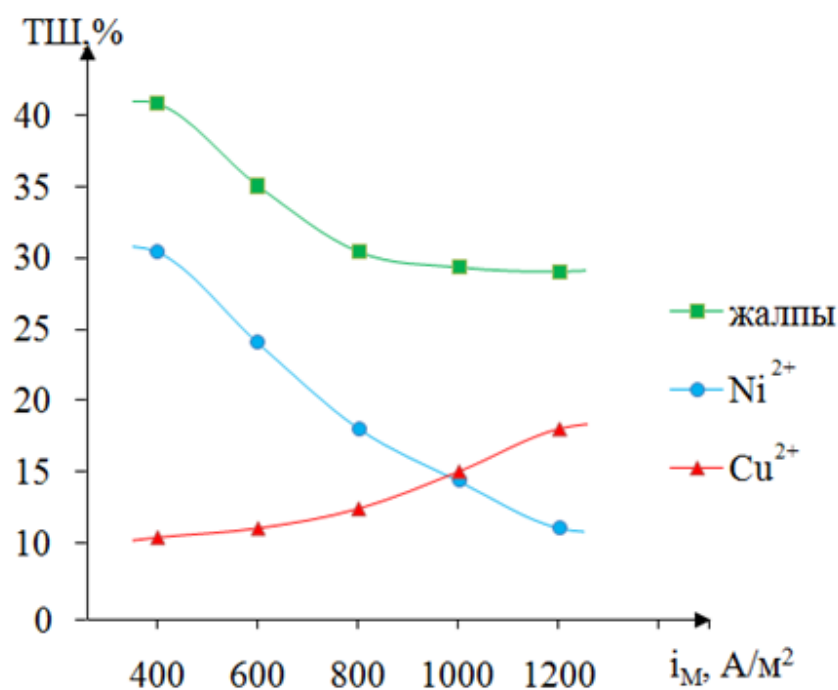
3.3 Анодты ток режимінде мельхиор электродының электрохимиялық еруі

3.3.1 Тұз қышқылы ерітіндісінде тұрақты ток режимінде мельхиор электродының электрохимиялық еруі

Тұрақты токта мельхиор электродының электрохимиялық еруі тұз қышқылының сулы ерітіндісінде зерттелді. Зерттеу барысында мыс-никель құймасының еруінің ток бойынша шығымына мельхиор электродындағы ток тығыздығының, электролит концентрациясының, электролиз ұзақтығының және ерітінді температурасының әсерлері қарастырылды.

Электролизден алынған ерітіндіге сапалық талдау жасалды. Сапалық талдау нәтижесі бойынша ерітіндіде мыс (II) және никель (II) иондары анықталды. Тұрақты ток режимінде жүргізілген электролиз нәтижесінде түзілген ерітіндідегі мыс (II) және никель (II) иондарының мөлшерлерін анықтау фотоколориметрлік әдістерімен жүргізілді [55,56].

Мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері ток тығыздығының 200-1200 А/м² аралығында зерттелді (20-сурет). Ток тығыздығын 200 А/м²-ден 1200 А/м²-ге дейін жоғарылатқанда мельхиор электродының еруінің жалпы ТШ мәні және никель (II) ионының түзілуінің ТШ мәнінің төмендегені байқалды. Ал, мыс (II) иондарының түзілуінің ТШ мәнінің ток тығыздығының жоғарылауымен артатындығы анықталды. Ток бойынша шығымның ток тығыздығының артуымен төмендеуін тұрақты ток кезінде жүретін қосымша реакциялармен түсіндіруге болады.



20-сурет – Тұрақты ток режимінде мельхиор электродының ТШ-на мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері. $i_{T1}=60 \text{ кА/м}^2$, $[HCl]=0,5 \text{ М}$, $\tau=0,5\text{сағ}$.

Тұз қышқылының концентрациясының тұрақты ток режимінде мелхиор электродының электрохимиялық еруінің ТШ-на әсер зерттеліп, құйманың еруінің жалпы ТШ-ның ерітінді концентрациясының жоғарылауымен артатыны байқалды (21-сурет). Концентрацияның жоғарылауымен ерітінді көлемінде тотықтырғыш аниондар мөлшерінің жоғарылауымен, үрдістің жылдамдығы артады, сәйкесінше құйманың еруінің ток бойынша шығымының артуы жүреді. Мельхиор электродының электрохимиялық еруінің ток бойынша шығым мәндерінің қышқыл концентрациясына тәуелділігінен реакция реті есептелді (17-, 18-кесте). $Cu(II)$ иондарының түзілуінің реакция реті 0,389 мәнді және $Ni(II)$ иондарының түзілуінің реакция реті 0,111 мәнді көрсетті.

17-кесте. Мыс (II) иондарының реакция реттілігін есептеу

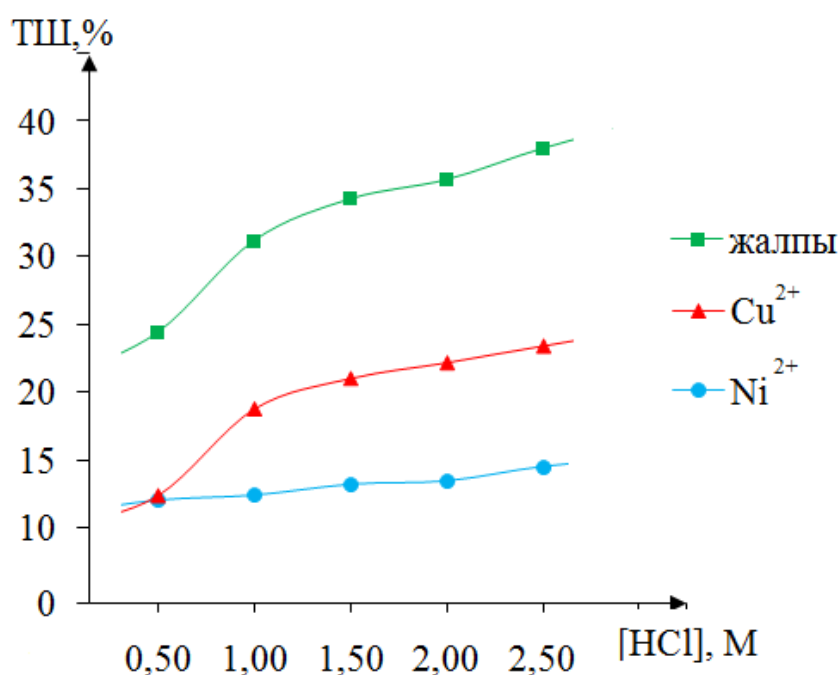
n	$C_{эл}$	$x = \lg C$	x^2	ТШ, %	$y = \lg \text{ТШ}$	$x \cdot y$
1	0,5	-0,301	0,0906	12,38	1,093	-0,329
2	1,0	0	0	18,78	1,274	0
3	1,5	0,176	0,031	21,03	1,323	0,233
4	2,0	0,301	0,0906	22,2	1,346	0,405
5	2,5	0,398	0,158	23,44	1,369	0,545
Σ		0,574	0,371		6,406	0,854

$$b = \frac{n\sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 0,854 - (0,574 \cdot 6,406)}{5 \cdot 0,371 - 0,329} = 0,389$$

18-кесте. Никель (II) иондарының реакция реттілігін есептеу

n	C _{эл}	x=lgC	x ²	ТШ, %	y=lgТШ	x•y
1	0,5	-0,301	0,0906	12,03	1,080	-0,325
2	1,0	0	0	12,4	1,093	0
3	1,5	0,176	0,031	13,21	1,121	0,197
4	2,0	0,301	0,0906	13,46	1,129	0,3339
5	2,5	0,398	0,158	14,53	1,162	0,463
Σ		0,574	0,371		5,586	0,675

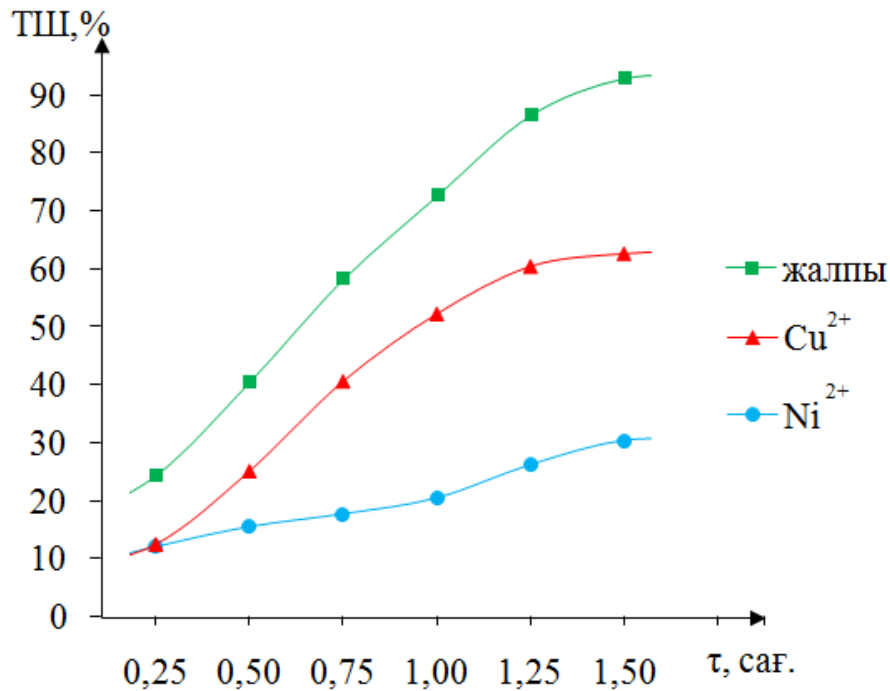
$$b = \frac{n\sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 0,675 - (0,574 \cdot 5,586)}{5 \cdot 0,371 - 0,329} = 0,111$$



21-сурет – Тұрақты ток режимінде мельхиор электродының ТШ-на электролит концентрациясының әсері. $i_{Ti}=60 \text{ кА/м}^2$, $i_M=600 \text{ А/м}^2$, $\tau=0,5 \text{ сағ}$.

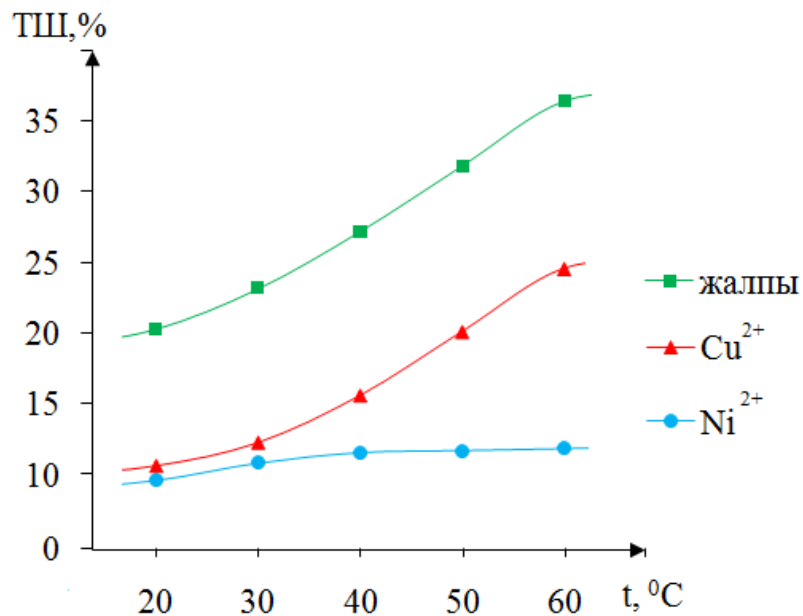
Мельхиор электродының тұрақты ток режимінде, тұз қышқылының сулы ерітіндісінде еруіне электролиз ұзақтығының әсері қарастырылды (22-сурет). Электролиз ұзақтығының артуымен құйманың еруінің жалпы ТШ-ның

жоғарылайтыны және мельхиор электродының жасыл түсті ұнтақ бөліп еру жылдамдығының жоғарлайтындығы анықталды.



22-сурет – Тұрақты ток режимінде мельхиор электродының ТШ-на электролиз ұзақтығының әсері. $i_T=60 \text{ кА/м}^2$, $i_M=600 \text{ А/м}^2$, $[\text{HCl}]=0,5 \text{ М}$

Тұрақты ток режимінді мельхиордың еруінің ток бойынша шығымына ерітінді температурасының әсері 20-60 °С температура аралығында зерттелді (23-сурет). Ерітінді температурасының жоғарылауымен мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымы мәнінің өсуі байқалды.



23-сурет – Тұрақты ток режимінде мельхиор электродының ТШ-на ерітінді температурасының әсері. $i_T=60 \text{ кА/м}^2$, $i_M=800 \text{ А/м}^2$, $[\text{HCl}]=0,5 \text{ М}$

Cu (II) және Ni (II) иондарының активтену энергиясы есептелінді (19-, 20-кесте). $E_{\text{акт}}(\text{Cu}^{2+})=17,14$ кДж/моль және $E_{\text{акт}}(\text{Ni}^{2+})= 3,84$ кДж/моль шаманы құрады. Бұл жүріп жатқан реакцияның диффузиялық режимде жүретіндігін көрсетеді.

19-кесте. Мыс (II) иондарының активтену энергиясын есептеу

n	T, °C	T, K	$x = \frac{1}{T} \cdot 10^3$	x^2	ТШ, %	$y=\lg\text{ТШ}$	$x \cdot y$
1	20	293	3,413	11,648	10,66	1,028	3,508
2	30	303	3,300	10,892	12,3	1,089	3,597
3	40	313	3,195	10,207	15,62	1,194	3,814
4	50	323	3,096	9,585	20,12	1,304	4,036
5	60	333	3,003	9,018	24,57	1,390	4,175
Σ			16,007	51,351		6,005	19,129

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 19,129 - (16,007 \cdot 6,005)}{5 \cdot 51,351 - 256,224} = -0,885$$

$$E_a = -2,33 \cdot 8,314 \cdot (-0,885) = 17,14 \text{ кДж/моль}$$

20-кесте. Никель (II) иондарының активтену энергиясын есептеу

n	T, °C	T, K	$x = \frac{1}{T} \cdot 10^3$	x^2	ТШ, %	$y=\lg\text{ТШ}$	$x \cdot y$
1	20	293	3,413	11,648	9,63	0,984	3,357
2	30	303	3,300	10,892	10,84	1,035	3,416
3	40	313	3,195	10,207	11,57	1,063	3,397
4	50	323	3,096	9,585	11,71	1,069	3,308
5	60	333	3,003	9,018	11,85	1,074	3,224
Σ			16,007	51,351		5,224	16,703

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 16,703 - (16,007 \cdot 5,224)}{5 \cdot 51,351 - 256,224} = -0,198$$

$$E_a = -2,33 \cdot 8,314 \cdot (-0,198) = 3,84 \text{ кДж/моль}$$

Тұз қышқылының сулы ерітіндісінде анодты ток режимінде мельхиор электродының оңтайлы жағдайда еруі 24-суретте бейнеленген. Тиімді жағдайда титан электродының аймағында мыс ұнтақтарының жинақталып бөлінуі, мельхиор электродының ақшыл-жасыл түсті тұнба түзе қарқынды еруі және ерітінді түсінің ақшыл-көк түске өзгеруі байқалды. Катодта тотықсыздану процесі нәтижесінде мыс ұнтақтарының түзілуі байқалды.



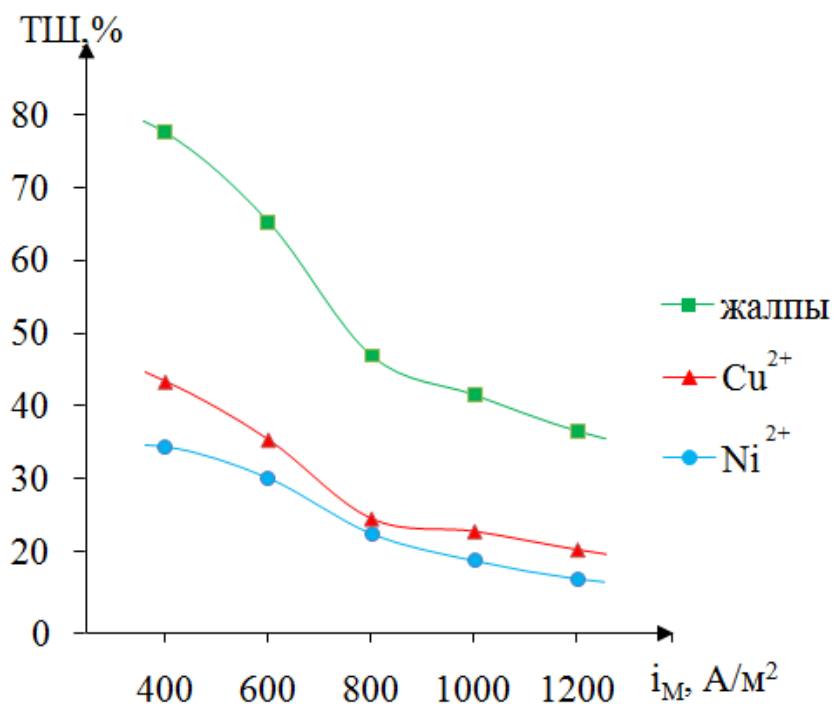
24-сурет – Тұз қышқылында тұрақты ток режимінде мельхиор электродының оңтайлы жағдайда еруі

3.3.2 Натрий хлориді ерітіндісінде тұрақты ток режимінде мельхиор электродының электрохимиялық еруі

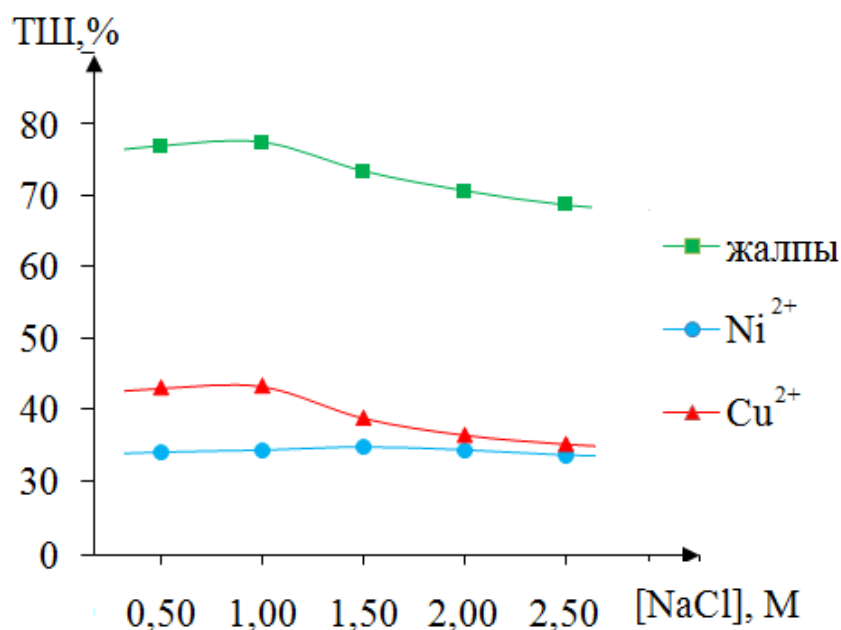
Мельхиор электродының натрий хлоридінің сулы ерітіндісінде электрохимиялық еруі тұрақты ток режимінде зерттелді. Мыс-никель негізіндегі құйманың еруінің ток бойынша шығымына мельхиор электродындағы ток тығыздығының, электролит концентрациясының, электролиз ұзақтығының, ерітінді температурасының әсерлері қарастырылды.

Натрий хлориді ерітіндісінде құйманың еруіне мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері $200-1200 \text{ A/m}^2$ аралығында зерттелді (25-сурет). Мельхиор электродының ток тығыздығын 200 A/m^2 -ден 1200 A/m^2 -ге дейін жоғарылатқанда мельхиор электродының еруінің ТШ мәнінің төмендейтіні байқалды. 400 A/m^2 ток тығыздығында мельхиор құймасының еруінің жалпы ток бойынша шығымы $81,74 \%$ құрады.

Бейтарап ортада, хлоридті ерітінді концентрациясының тұрақты ток режимінде мельхиор электродының электрохимиялық еруінің ТШ-на әсері қарастырылды (26-сурет). Құйманың еруінің жалпы ТШ-ның ерітінді концентрациясының жоғарылауымен тұздық пассивация әсерінен баяу төмендейтіні байқалды.



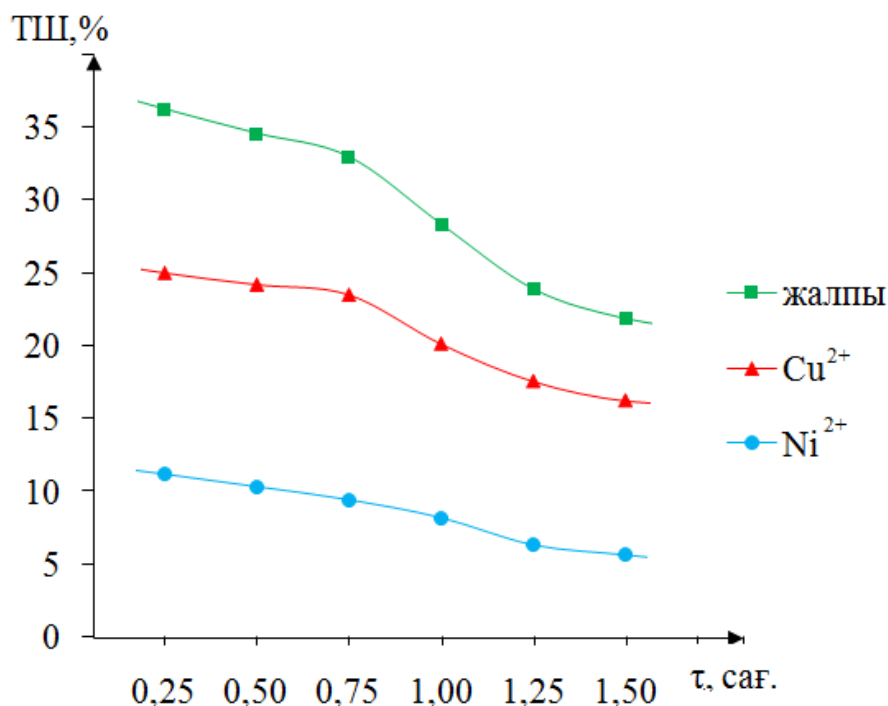
25-сурет – Бейтарап ортада тұрақты ток режимінде мельхиор электродының ТШ-на мельхиор электродындағы ток тығыздығының әсері. $i_{\text{Tl}}=60 \text{ кА/м}^2$, $[\text{NaCl}]=1,0 \text{ М}$, $\tau=0,5 \text{ сағ}$.



26-сурет – Бейтарап ортада тұрақты ток режимінде мельхиор электродының ТШ-на электролит концентрациясының әсері. $i_{\text{Tl}}=60 \text{ кА/м}^2$, $i_M=400 \text{ А/м}^2$, $\tau=0,5 \text{ сағ}$.

Бейтарап ортада тұрақты ток режимінде мельхиор электродының ТШ-на электролиз ұзақтығының әсері зерттелді (27-сурет). Электролиз ұзақтығының жоғарылауымен мельхиор құймасының еруінің ток бойынша шығымының

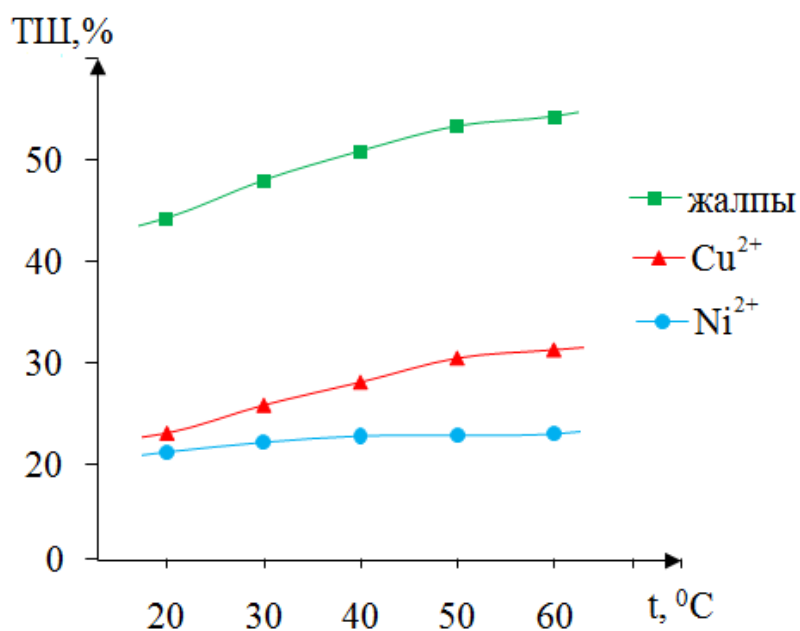
біркелкі төмендеуі байқалды. Бұл құбылыс электролиз ұзақтығының жоғарылауымен электролиз өнімдерінің мөлшерінің артып, электрод бетінде пассивтелуімен байланысты.



27-сурет – Бейтарап ортада тұрақты ток режимінде мельхиор электродының ТШ-на электролиз ұзақтығының әсері. $i_T=60 \text{ кА/м}^2$, $i_M=400 \text{ А/м}^2$, $[\text{NaCl}] = 1,0\text{M}$.

28-суретте тұрақты ток режимінде мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына ерітінді температурасының әсері келтірілді. Ерітінді температурасының $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -тан $60 \text{ }^\circ\text{C}$ -қа дейін жоғарылауымен құйманың еруінің жалпы ТШ мәнінің $44,5 \%$ -дан $54,2\%$ -ға дейін артатыны анықталды.

Анодты ток режимінде натрий хлориді ерітіндісіндегі мыс (II) және никель (II) иондарының активтену энергиясы температуралы-кинетикалық әдіспен анықталды (21-, 22-кесте). $E_{\text{акт}}(\text{Cu}^{2+}) = 6,43 \text{ кДж/моль}$ және $E_{\text{акт}}(\text{Ni}^{2+}) = 1,65 \text{ кДж/моль}$ құрады. Бұл мельхиор электродының еріп, мыс (II) және никель (II) иондарының түзілу реакцияларының диффузиялық режимде жүретіндігін көрсетеді.



28-сурет – Бейтарап ортада тұрақты ток режимінде мельхиор электродының ТШ-на ерітінді температурасының әсері. $i_{Ti}=60 \text{ кА/м}^2$, $i_M=400 \text{ А/м}^2$, $[\text{NaCl}]=1,0\text{М}$.

21-кесте. Мыс (II) иондарының активтену энергиясын есептеу

n	T, °C	T, K	$x = \frac{1}{T} \cdot 10^3$	x^2	ТШ, %	$y=\lg\text{ТШ}$	$x \cdot y$
1	20	293	3,413	11,648	23,04	1,362	4,650
2	30	303	3,300	10,892	25,81	1,412	4,659
3	40	313	3,195	10,207	28,06	1,448	4,626
4	50	323	3,096	9,585	30,44	1,483	4,592
5	60	333	3,003	9,018	31,25	1,495	4,489
Σ			16,007	51,351		7,201	23,018

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 23,018 - (16,007 \cdot 7,201)}{5 \cdot 51,351 - 256,224} = -0,332$$

$$E_a = -2,33 \cdot 8,314 \cdot (-0,332) = 6,43 \text{ кДж/моль}$$

22-кесте. Никель (II) иондарының активтену энергиясын есептеу

n	T, °C	T, K	$x = \frac{1}{T} \cdot 10^3$	x^2	ТШ, %	$y=\lg\text{ТШ}$	$x \cdot y$
1	20	293	3,413	11,648	21,2	1,326	4,527

22-кесте жалғасы

2	30	303	3,300	10,892	22,14	1,345	4,439
3	40	313	3,195	10,207	22,76	1,357	1,336
4	50	323	3,096	9,585	22,82	1,358	4,205
5	60	333	3,003	9,018	22,95	1,361	4,086
Σ			16,007	51,351		6,748	21,594

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{5 \cdot 21,594 - (16,007 \cdot 6,748)}{5 \cdot 51,351 - 256,224} = -0,085$$

$$E_a = -2,33 \cdot 8,314 \cdot (-0,085) = 1,65 \text{ кДж/моль}$$

3.4 Электролиздің тиімді жағдайында тәжірибе нәтижелерін математикалық статистика әдісімен өңдеу

Сулы ерітінділерде мельхиор электродының мыс (I) және никель (II) иондарын түзе қарқынды ерітіндігі байқалды. Жиілігі 50 Гц айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының сулы ерітінділердегі электрохимиялық еруінің тиімді жағдайлары анықталды (23–кесте).

23 – кесте. Айнымалы токпен поляризациялау кезінде қышқылды және бейтарап орталарда электролиз жүргізу үшін тиімді жағдайлар

Электрохимиялық параметрлер	Орта	
	HCl ерітіндісі	NaCl ерітіндісі
Титан электродындағы ток тығыздығы, кА/м ²	60	100
Мельхиор электродындағы ток тығыздығы, А/м ²	400	600
Электролит концентрациясы, моль/л	0,5	2,0
Электролиз ұзақтығы, сағ.	0,5	1,0
Ерітінді температурасы, °С	60	20
Ток жиілігі, Гц	50	50

50 Гц айнымалы токпен поляризацияланған мыс-никель құймасының тұз қышқылы мен натрий хлориді ерітінділерінде еруінен алынған нәтижелерді

математикалық статистикалық өңдеу 2.4-тараудағы 2-9 теңдеулері бойынша жүргізілді. Тиімді жағдайда мельхиор электродының электрохимиялық еруіне 3 мәрте тәжірибе жүргізіліп, алынған мәндер бойынша математикалық статистикалық шамалардың: орташа арифметикалық мән, стандартты ауытқу, дисперсия және стандартты қате мәндері есептелді (24, 25-кесте).

Мыс (I) ионы бойынша:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{58,46+59,07+59,52}{3} = 59,02$$

$$\Delta x = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{0,56+0,05+0,5}{3} = 0,37$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(58,46-59,02)^2 + (59,07-59,02)^2 + (59,52-59,02)^2}{3}} = 0,43$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(58,46-59,02)^2 + (59,07-59,02)^2 + (59,52-59,02)^2}{3(3-1)}} = 0,31$$

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha} \cdot S_{\bar{x}} = 0,95 \cdot 0,31 = 0,29$$

Мыс (II) ионы бойынша:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{29,63 + 29,51 + 29,39}{3} = 29,51$$

$$\Delta x = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{0,12+0+0,12}{3} = 0,08$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(29,63-29,51)^2 + (29,51-29,51)^2 + (29,39-29,51)^2}{3}} = 0,098$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(29,63-29,51)^2 + (29,51-29,51)^2 + (29,39-29,51)^2}{3(3-1)}} = 0,069$$

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha} \cdot S_{\bar{x}} = 0,95 \cdot 0,069 = 0,066$$

Никель (II) ионы бойынша:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{15,12+15,23+14,67}{3} = 15,01$$

$$\Delta x = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{0,11+0,22+0,34}{3} = 0,37$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(15,12-15,01)^2 + (15,23-15,01)^2 + (14,67-15,01)^2}{3}} = 0,24$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(15,12-15,01)^2 + (15,23-15,01)^2 + (14,67-15,01)^2}{3(3-1)}} = 0,17$$

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha} \cdot S_{\bar{x}} = 0,95 \cdot 0,17 = 0,16$$

Мельхиордың еруінің жалпы ток бойынша шығымы бойынша:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{103,2+103,8+103,5}{3} = 103,5$$

$$\Delta x = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{0,3+0,3+0}{3} = 0,20$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(103,2-103,5)^2 + (103,8-103,5)^2 + (103,5-103,5)^2}{3}} = 0,24$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(103,2-103,5)^2 + (103,8-103,5)^2 + (103,5-103,5)^2}{3(3-1)}} = 0,173$$

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha} \cdot S_{\bar{x}} = 0,95 \cdot 0,17 = 0,165$$

24-кесте. Тұз қышқылының сулы ерітіндісінде айнымалы токта электролиз жүргізу нәтижелері бойынша математикалық статистикалық өңдеу мәндері

n	1	2	3	\bar{x}	Δx	S	Δ_x	$\delta, \%$
ТШ Cu(I),%	58,46	59,07	59,52	59,02	0,37	0,43	0,29	2,23
ТШ Cu(II),%	29,63	29,51	29,39	29,51	0,08	0,098	0,066	1,01
ТШ Ni(II),%	15,12	15,23	14,67	15,01	0,37	0,24	0,16	4,9
Жалпы ТШ, %	103,2	103,8	103,5	103,5	0,20	0,24	0,165	0,72

Мыс (I) ионы бойынша:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{21,44+21,18+20,95}{3} = 21,19$$

$$\Delta x = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{0,25+0,01+0,24}{3} = 0,17$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(21,44-21,19)^2+(21,18-21,19)^2+(20,95-21,19)^2}{3}} = 0,20$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(21,44-21,19)^2+(21,18-21,19)^2+(20,95-21,19)^2}{3(3-1)}} = 0,14$$

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha} \cdot S_{\bar{x}} = 0,95 \cdot 0,14 = 0,13$$

Никель (II) ионы бойынша:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{14,29+14,08+13,76}{3} = 14,04$$

$$\Delta x = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{0,25+0,04+0,28}{3} = 0,19$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(14,29-14,04)^2+(14,08-14,04)^2+(13,76-14,04)^2}{3}} = 0,22$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(14,29-14,04)^2+(14,08-14,04)^2+(13,76-14,04)^2}{3(3-1)}} = 0,15$$

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha} \cdot S_{\bar{x}} = 0,95 \cdot 0,15 = 0,146$$

Мельхиордың еруінің жалпы ток бойынша шығымы бойынша:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{35,73+35,26+34,71}{3} = 35,23$$

$$\Delta x = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{0,5+0,03+0,52}{3} = 0,35$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum f(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(35,73-35,23)^2+(35,26-35,23)^2+(34,71-35,23)^2}{3}} = 0,42$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(35,73-35,23)^2+(35,26-35,23)^2+(34,71-35,23)^2}{3(3-1)}} = 0,29$$

$$\Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha} \cdot S_{\bar{x}} = 0,95 \cdot 0,29 = 0,28$$

25-кесте. Натрий хлоридінің сулы ерітіндісінде айнымалы токта электролиз жүргізу нәтижелері бойынша математикалық статистикалық өңдеу мәндері

n	1	2	3	\bar{x}	Δx	S	Δ_x	δ , %
ТШ Cu(I),%	21,44	21,18	20,95	21,2	0,17	0,20	0,13	0,61
ТШ Ni(II),%	14,29	14,08	13,76	14,04	0,19	0,22	0,146	0,66
Жалпы ТШ, %	35,73	35,26	34,71	35,23	0,35	0,42	0,28	1,23

Мұнда, \bar{x} - орташа арифметикалық мән;

Δx – стандартты ауытқу;

S – дисперсия;

Δ_x – стандартты қате;

δ – салыстырмалы қате.

Айнымалы токпен поляризациялау арқылы мельхиор электродының тұз қышқылының сулы ерітіндісінде еру механизмін зерттеу барысында тиімді жағдайда құйманың еруінің жалпы стандартты ауытқуы 0,20, дисперсия мәні 0,24 және стандартты қате мәні 0,165 тең болды. Ал, айнымалы токпен поляризациялау арқылы мельхиор электродының натрий хлориді ерітіндісінде еруінің жалпы стандартты ауытқуы 0,35, дисперсия мәні 0,42 және стандартты қате мәні 0,28 тең болды. Бұл математикалық статистикалық шамалардың <1 болуы анықталған тиімді ортаның дәлдігінің жоғары екендігін, жүргізілген тәжірибенің дұрыстығын көрсетеді. 50 Гц айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының еруінің жалпы ток бойынша шығымы тиімді жағдайда тұз қышқылының сулы ерітіндісінде $103,5 \pm 0,72$ %, натрий хлориді ерітіндісінде $35,23 \pm 1,23$ % құрады.

3.5 3-бөлім бойынша қорытынды

Бұл тарауда ток жиілігі 50 Гц болатын айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының электрохимиялық қасиеттері тұз қышқылында және натрий хлориді ерітінділеріндегі зерттеу нәтижелері келтірілді. Мельхиор электродының сулы ерітінділерде еруінің ток бойынша шығымына титан және мельхиор электродтарындағы ток тығыздығының, электролит концентрациясының, электролиз ұзақтығының, ерітінді

температурасының және ток жиілігінің әсерлері қарастырылды. Сулы ерітінділерде мельхиор электродының еруінің тиімді жағдайлары анықталды.

- Тұз қышқылында: $i_{Ti} = 60 \text{ кА/м}^2$, $i_M = 400 \text{ А/м}^2$, $[\text{HCl}] = 0,5 \text{ М}$, $\tau = 0,5 \text{ сағ.}$, $\nu = 50 \text{ Гц}$.
- Натрий хлориді ерітіндісінде: $i_{Ti} = 100 \text{ кА/м}^2$, $i_M = 600 \text{ А/м}^2$, $[\text{NaCl}] = 2,0 \text{ М}$, $\tau = 1 \text{ сағ.}$, $\nu = 50 \text{ Гц}$.

Салыстыру мақсатында, анодты токпен поляризациялау арқылы да мельхиор электродының тұз қышқылы мен натрий хлориді ерітінділеріндегі электрохимиялық еруіне зерттеулер жүргізілді. Нәтижесінде тұрақты токқа қарағанда айнымалы токпен поляризациялау кезінде мыс-никель негізіндегі құйманың еруінің ТШ мәнінің жоғары болатыны, әрі тұрақты токта электродтың пассивацияға қатты ұшырамайтыны анықталды. Мельхиор құймасының қышқылды, бейтарап сулы ерітінділердегі электрохимиялық еру ерекшеліктерін зерттеу үшін айнымалы токтағы поляризацияны қолданған тиімді болатыны көрсетілді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Мельхиор электродының электрохимиялық қасиеттері тұз қышқылы және натрий хлориді сулы ерітінділерінде жүйелі түрде зерттелді. 50 Гц айнымалы токпен поляризацияланған мельхиордың электрохимиялық еруі титан электродымен жұптастырылып жүргізілді және зерттеу барысында алынған нәтижелерге негізделі отырып төмендегідей тұжырымдар жасалды:

1. Поляризацияланған мельхиор электродының электрохимиялық қасиетін зерттеу үшін тұрақты токқа қарағанда айнымалы токты қолдану тиімді болатыны анықталды.

2. Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының Cu (I), Cu (II) және Ni (II) иондарын түзе еруі тұз қышқылында жақсы жүретіні анықталды. Тиімді жағдайда мельхиор электродынан мыс ұнтақтарын бөліп алуға болатыны анықталды. Натрий хлориді ерітіндісінде мельхиор электродының Cu (I) және Ni (II) иондарын түзе қарқынды ерітіндігі байқалды.

3. Мельхиор электродының еруіне негізгі электрохимиялық параметрлердің әсерлерін зерттеу нәтижесінде құйманың еруінің оңтайлы жағдайлары анықталды:

✓ Айнымалы ток режимінде: Тұз қышқылында: $i_{Ti} = 60 \text{ кА/м}^2$, $i_M = 400 \text{ А/м}^2$, $[\text{HCl}] = 0,5 \text{ М}$, $\tau = 0,5 \text{ сағ}$. Натрий хлоридінде: $i_{Ti} = 100 \text{ кА/м}^2$, $i_M = 600 \text{ А/м}^2$, $[\text{NaCl}] = 2,0 \text{ М}$, $\tau = 1 \text{ сағ}$.

✓ Анодты ток режимінде: Тұз қышқылында: $i_{Ti} = 60 \text{ кА/м}^2$, $i_M = 800 \text{ А/м}^2$, $[\text{HCl}] = 0,5 \text{ М}$, $\tau = 1,5 \text{ сағ}$. Натрий хлоридінде: $i_{Ti} = 60 \text{ кА/м}^2$, $i_M = 400 \text{ А/м}^2$, $[\text{NaCl}] = 1,0 \text{ М}$, $\tau = 1,0 \text{ сағ}$.

4. Оңтайлы жағдайда құйманың еруінің жалпы ток бойынша шығым мәні айнымалы токта: тұз қышқылында 103,5 %, натрий хлориді ерітіндісінде 35,24 % құрады.

5. Жүргізілген жұмыстың дұрыстығының сапалық көрсеткіштерін анықтау үшін зерттеу нәтижелерін математикалық статистикалық шама мәндері есептеліп, анықталған нәтижелердің бірден төмен болуы жүргізілген жұмыстың дәлдігінің жоғары екендігін көрсетті.

Пайдаланылган әдебиеттер тізімі

1. Осинцев О. Е., Федоров В. Н. Медь и медные сплавы: отечественные и зарубежные марки. – М.: Инновационное машиностроение, 2016. – 12-20, 156-168 с.
2. Kaiser S., Kaiser M. S. A comparative study of chemical and physical properties of copper and copper alloys affected by acidic, alkaline and saline environments // J. of Electrochemical Science and Engineering. – 2020. – № 4(10). – P. 373-384.
3. Волкогон Г. М. Производство слитков никеля и никелевых сплавов. – М.: Metallurgia, 1976. – 18-21 с.
4. Смирягин А. П. Промышленные цветные металлы и сплавы. – М.: Metallurgia, 1974. – 559 с.
5. Gaber G. A., Hussein W. A., Ahmed A. S. Comparative study of electrochemical corrosion of novel designs of 90/10 and 70/30 copper-nickel alloys in brine solutions // Egyptian J. of Chemistry. – 2020. – № 4(63). – P. 19-20.
6. Subramanian V., Chandramohan P., Srinivasa M. P., Velmurugan S., Narasimhan S. V. Corrosion of cupronickel alloy in permanganate under acidic condition // Corrosion science. – 2007– № 4(2). – P. 620-636.
7. Davis J. R., Davis & Associates. Copper and Copper Alloys: ASM Specialty Hand. – ASM International, 2001. – P. 65-68.
8. Bianchi G., Longhi P. Copper in sea-water, potential-pH diagrams // Corrosion Science. – 1973– № 13. – P. 853-864.
9. Ekerenam O. O., Ma A., Zhang Y., Emori W. Electrochemical behavior of three 90Cu-10Ni tubes from different manufactures after immersion in 3.5 % NaCl solution // J. of Materials Engineering and Performance. – 2017– № 4(26). – P. 1701-1716.
10. Ezuber H. M., Al Shater A. Influence of environmental parameters on the corrosion behavior of 90/10 cupronickel tubes in 3.5 % NaCl // Desalination and Water Treatment. – 2016 – №15(57). – P. 6670-6679.
11. Badawy W. A., Ismail K. M., Fathi A. M. Effect of Ni content on the corrosion behavior of Cu-Ni alloys in neutral chloride solutions // Electrochemical Acta. – 2005– № 18(50). – P. 3603-3608.
12. Ma A. L., Jiang S. L., Zheng Y. G., Ke W. Corrosion product film formed on the 90/10 copper-nickel tube in natural seawater: composition/structure and formation mechanism // Corrosion Science. – 2015. – № 91. – P. 245-261.
13. Jin T., Zhang W., Li N., Liu X., Han L., Dai W. Surface characterization and corrosion behavior of 90/10 copper-nickel alloy in marine environment // Materials. – 2019– № 11(12). – P. 1869.
14. Yang R., Wen J., Zhou Y., Song K., Song Z. Effect of Al element on the microstructure and properties of Cu-Ni-Fe-Mn alloys // Materials. – 2018 – № 9(11). – P. 177.

15. Gaber G. A., Maamoun M. A., Ghanem W. A. Evaluation of the Inhibition efficiency of a green inhibitor on corrosion of Cu-Ni alloys in the marine application // *Key Engineering Materials*. – 2018– № 786. – P. 174-194.
16. Xia T., Zeng L., Zhang X., Liu J., Zhang W., Liang T., Yang B. Enhanced corrosion resistance of a Cu10Ni alloy in a 3.5% NaCl solution by means of ultrasonic surface rolling treatment // *Surface and Coatings Technology*. – 2019. – №363. – P. 390-399.
17. Palani S., Lakshaman P., Kaliyamurthy R. Experimental investigations of electrochemical micromachining of nickel aluminum bronze alloy // *Materials and Manufacturing Processes*– 2020. – № 35(16). – P. 1860-1869.
18. Amegroud H., Guenbour A., Bellaouchou A., Lgaz H., Chung I. M., Alrashdi A. A. A comprehensive investigation of the electrochemical behavior of nickel-aluminum bronze alloy in alkaline solution: The effect of film formation potential // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2021– № 614. – P. 126
19. Wang Y., Xue Y., Zhang C. Enhanced anodic dissolution of cupronickel alloy scraps by electro-generated reactive oxygen species in acid media // *J. of Alloys and Compounds*. – 2019– № 806. – P. 106-112.
20. Hurtado M. R. F., Sumodjo P. T. A., Benedetti A. V. Electrochemical studies with a Cu-5% Ni alloy in 0.5 V H₂SO₄ // *Electrochemical acta*. – 2003 – № 19(48). – P. 2791-2798.
21. El Warraky A. A., El Meleigy A. E., Abd El S. E. The electrochemical behavior of 70-30 Cu-Ni alloy in LiBr solutions // *Egyptian J. of Chemistry*. – 2016 – № 5(59). – P. 833-850.
22. Badawy W. A., El-Rabiei M. M., Nady H. M., Samy M. A. Comparison of electrochemical behavior of Cu-10Ni-10Zn alloy and Cu in aqueous solutions // *Zeitschrift fur physikalische Chemie*. – 2015– № 3(229). – P. 351-363.
23. Nikolaychuk P. A., Tyurin A. G. Thermodynamics of chemical and electrochemical stability of copper-nickel alloys // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. – 2012– № 4(48). – P. 462-476.
24. Ismail K. M., Fathi A. M., Badawy W. A. Electrochemical behavior of copper-nickel alloys in acidic chloride solutions // *Corrosion Science*. – 2006– № 8(48). – P. 1912-1925.
25. Бaешов А. Б., Жылысбаева Г. Н., Кадирбаева А. С. Мыс және оның қосылыстарын электрохимиялық әдіспен алу. – Алматы: 2017. – 13-174б.
26. Bayeshov A., Abdijanov D. A., Abduvalieva U. A. Zhurinov M. Study of electrochemical properties of copper in solution of sulphuric acid with copper (II) ions and titan through potentiodynamic polarized curve // *Bulletin of the NANRK*. – 2019– № 2(378). – P. 241-248.
27. Nurdillayeva R. N., Bayeshov A.B., Serik G. S. Production of copper bromide at polarization by an alternating current // *News of NANRK*. – 2018– № 2. – P. 36-43.

28. Yan C., Yuan B., Li Z., Li L., Wang C. Digital holographic study of pH effects on anodic dissolution of copper in aqueous chloride electrolytes // *Metals*. – 2020– № 4(10). – P. 487.
29. Ovchinnikova S. N., Aleksandrova T. P., Vais A. A. Copper in acid chloride solutions: electrochemical behavior by quartz microgravimetry and voltammetry // *Russian J. of Electrochemistry*. – 2004– № 7(40). – P. 755-759.
30. Cuence A., Agrisuelas J., Garcia-Jareno J. J., Vicente F. Alternating current electrogravimetry of copper electrodisolution in a sulfuric acid solution // *Electrochemical Acta*. – 2017– № 235. – P. 374-383.
31. Green T. A., Valverde P., Roy S. Anodic reactions and the corrosion of copper in deep eutectic solvents // *J. of The Electrochemical Society*. – 2018 – № 9(165). – P. 313.
32. Bayeshov A. B., Yegeubayeva S.S., Bayaeshova A. K., Zhurinov M. Z. Dissolution of bipolar nickel electrode in sulfuric acid solution at polarization with industrial alternating current // *News of NANRK*. – 2017– № 1. – P. 41-47.
33. Bastos J. A., Barbosa M., Agrisuelas J., Frau A., Garcia J., Vicente F. Phenformin effect on the anodic dissolution of nickel in acid media // *ECS Transactions*. – 2017 – № 11(77). – P. 823.
34. Kuznetsova O. G., Levin A. M., Tsybin O. I., Sevostyano M. A., Bryukin V. A., Bolshikh A. O. Effect of cathodic polarization on the depassivation of oxidized nickel // *Russian Metallurgy*. – 2018– № 7. – P. 651-654.
35. Abd El Wanees S., Abdallah M., Al-Gorair A. S., Tirkistani F. A. A., Nooh S., Assi R. Investigation of anodic behavior of nickel in H₂SO₄ solutions using galvanostatic polarization technique. I. Kinetics and Thermodynamic approach // *Int. J. Electrochem. Sci*. – 2021– № 16. – P. 150969.
36. He B., Wang D., Li J., Zhu D. Investigation of pulsating electrochemical dissolution of nickel in rotating processes // *J. of the Electrochemical Society*. – 2019 – № 12(166). – P. 375.
37. Abdallah M., Jahdaly B. A. A. L., Salem M M., Fawzy A., Mabrouk A. M. Electrochemical behavior of nickel alloys and stainless steel in HNO₃ using cyclic voltammerty technique // *JMES*. – 2017– № 8. – P. 1320.
38. Ling S., Jia Y., Ning F., Li H., Xiao Q., Lu Z. Effect of magnetic feald on anodic dissolution of nickel in a alkaline solution with chloride ions // *ECS Transations*. – 2018– № 13(85). – P. 615.
39. Liu S., Shao Y., Yan C., Yuan B., Li L., Wang C. Effects of the magnetic field on the anodic dissolution of Ni | H₃PO₄+KSCN system // *Corrosion Science*. – 2020– № 169. – P. 108614.
40. Nurdillayeva R. N., Bayeshov A.B., Sunatuallayeva L. A., Zhylyabayeva G. N. Dissolution behavior of brass polarized by alternating current in sodium phosphate aqueous solution // *News of NANRK*. – 2019– № 3. – P. 77-83.
41. Karfidov E. A., Nikitina E. V., Kazakovtseva N. A., Babushkina L. M. Character of selective anodic dissolution. Influence of the alloy composition // *Russian Metallurgy*. –2020– № 2. – P. 127-132.

42. Ghanem W. A., Ahmed A. S., Hussein W. A., Gaber Ch. A. Electrochemical behavior and temperature on dezincification of Cu-Zn alloys in brine solutions // *International J. of Metallurgical & Materials Science and Engineering*. – 2016. – № 4(6). – P. 1-16.
43. Berne C., Andrieu E., Reby J., Sobrino J. M., Blanc C. The electrochemical behavior of a,b – brass in basic NaNO₃ solutions // *J. of the Electrochemical Society*. – 2015. – № 162 (12). – P. 648.
44. Fattah-Alhossini A., Alizad S. Electrochemical behavior and passivation of Cu-30Zn alloy in aqueous NaOH solutions // *Arabia J. for Science and Engineering*. – 2015. – № 40 (10). – P. 2993-2999.
45. Hoshi Y., Itagaki M., Tabei K., Shitanda I. Anodic dissolution of brass and dezincing-resistant brass investigated using channel flow double electrode // *J. of Solid State Electrochemistry*. – 2015. – № 12 (19). – P. 3551-3557.
46. Nikitina E. V., Kazakovtseva N. A., Maikov M. A., Malkov V. B., Karfidov E. A. Selective dissolution of brass in the molten eutectic mixture of lithium, sodium and potassium carbonates // *Russian Metallurgy*. – 2018. – № 2. – P. 128-132.
47. Cai L., Chen M., Wang Y., Chen C., Zhang L., Zhou H., Yan Y. Electrochemical corrosion behavior of bronze materials in an acid-containing simulated atmospheric environment // *Material and Corrosion*. – 2020. – № 71(3). – P. 464-473.
48. Nikitina E. V., Kazakovtseva N. A., Maikov M. A., Malkov V. B., Karfidov E. A., Chuikin A. Y. Electrochemical corrosion behavior of monel alloy in carbonate melts // *Russian J. of Electrochemistry*. – 2018. – № 9(54). – P. 697-701.
49. Nurdillayeva R. N., Kadirbayeva A. Investigation of the electrochemical dissolution of Constantine electrode by polarization of an alternating current // *Chemical Bulletin of KazNU*. – 2013. – № 1. – P. 51-58.
50. Karfidov E. A., Nikitina E. V., Kazakovtseva N. A., Babushkin L. M. Character of selective anodic dissolution influence of the alloy composition // *Russian Metallurgy* – 2020. – № 2. – P. 127-132.
51. Badawy W. A., El-Sherif R. M., Shehata H. Electrochemical behavior of aluminum bronze in sulfate-chloride media // *J. of Applied Electrochemistry*. – 2007. – № 10(37). – P. 1099-1106.
52. Neado S., Carugo D., Wharton J. A., Stokes K. R. Electrochemical behavior of nickel-aluminium bronze in chloride media: Influence of pH and benzotriazole // *J. of Electroanalytical Chemistry*. – 2013. – № 695. – P.38-46.
53. Усольцев А. А. *Общая электротехника: Учебное пособие*. Санкт-Петербург: 2009- 7 с.
54. Баешов А. Б. *Электрохимия и коррозия // Известия НАН РК*. – 2011.- 2(386). – 3-23 с.
55. Сизова Л. С., Гуськова В. П., Микилева Г. Н. *Аналитическая химия (физико-химические методы анализа)*. Кемерово: 2003 – 50-51с.
56. Дударева Г. Н., Туан Н. А. Фотометрическое определение никеля с диметилглиоксимом в присутствии йода // *Вестник ИрГТУ*. – 2010. – № 4(44). – 84-87с.

57. Анатольевна П. Е., Георгиевна Л. Л., Дмитриевна Ф. Т. Химические методы анализа: практикум по аналитической химии. - Новосибирск.: РИЦ НГУ, 2014 – 67-81 с.,183-189 с.

ҚОСЫМШАЛАР

СПРАВКА

Международный Казахско-Турецкий
университет

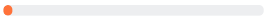
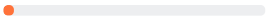


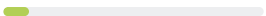
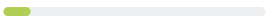
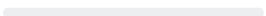
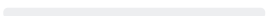
о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Әбділда Назерке Шермаханқызы
Самоцитирование
рассчитано для: Әбділда Назерке Шермаханқызы
Название работы: Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор (Cu-Ni) электродының қышқылды сулы ерітінділердегі электрохимиялық қасиеттерін зерттеу
Тип работы: Магистерская диссертация
Подразделение:

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

ЗАИМСТВОВАНИЯ		3.76%	ЗАИМСТВОВАНИЯ		3.76%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		86.64%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		86.64%
ЦИТИРОВАНИЯ		9.6%	ЦИТИРОВАНИЯ		9.6%
САМОЦИТИРОВАНИЯ		0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ		0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 18.05.2021

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 18.05.2021 12:09

Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (KkRu); Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по Интернету (KkRu); Переводные заимствования (KkEn); Переводные заимствования издательства Wiley (RuEn); eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ; Модуль поиска "АЯУ"; Медицина; Диссертации НББ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по Интернету; Патенты СССР, РФ, СНГ; СМИ России и СНГ; Шаблонные фразы; Кольцо вузов; Издательство Wiley; Переводные заимствования

Работу проверил: Садыкова Айгул Дуненбаевна

ФИО проверяющего

Дата подписи:

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.



«БЕКІТЕМІН»

Академиялық инновация және жоғары
білімнен кейінгі білім беру
ісі жөніндегі вице-президент
Есимова Ш.А.
«25» 05 2021 ж.

АКТ

2020-2021 оқу жылындағы бітіруші магистранттардың
УЕ-ХКТУ-100-2019 Жазбаша жұмыстарды плагиатқа тексеру ережесіне сәйкес
«Антиплагиат» жүйесінің технологиясы негізінде тексеру нәтижесі

ӘБДІЛДА НАЗЕРКЕ ШЕРМАХАНҚЫЗЫ

Магистранттың аты-жөні

**АЙНЫМАЛЫ ТОКПЕН ПОЛЯРИЗАЦИЯЛАНҒАН МЕЛЬХИОР (Cu-Ni)
ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ҚЫШҚЫЛДЫ СУЛЫ ЕРІТІНДІЛЕРДЕГІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ
ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

Магистрлік диссертация тақырыбы

M089-Химия (7M05324-Химия)

Білім беру бағдарламасы
86,64

Тексеру нәтижесі бойынша пайызы

№	Комиссия құрамының аты-жөні	Қолы
1.	Сыздықова Гауһар Жұмағұлқызы, Коммерциализациялау офисінің басшысы, комиссия төрағасы	
2.	Балкибаева Гулзира Амангельдиевна, Жоғары білімнен кейінгі білім беру орталығы басшысының орынбасары, комиссия мүшесі	
3.	Садыкова Айгүл Дөненбайқызы, Ғылыми басылымдар офисінің басшысы, комиссия мүшесі	
4.	Баймағанбетов Сабит Туленбаевич, Мемлекеттік басқару және экономика жоғары мектебі директорының орынбасары, комиссия мүшесі	
5.	Муратбекова Молдир Абдразаковна, Жаратылыстану факультетінің Ғылым жөніндегі декан орынбасары, комиссия мүшесі	
6.	Исаева Айжан Мухановна, Әлеуметтік ғылымдар факультетінің Ғылым және тәрбие ісі жөніндегі декан орынбасары, комиссия мүшесі	
7.	Жандарбаев Ербол Ергазыұлы, Гуманитарлық ғылымдар факультетінің Ғылым және тәрбие ісі жөніндегі декан орынбасары, комиссия мүшесі	
8.	Мұхамеджанов Нурідін Бақтиярұлы, Инженерия факультетінің Ғылым және тәрбие ісі жөніндегі декан орынбасары, комиссия мүшесі	
9.	Сүйінжанова Жанар Киікбайқызы, Филология факультетінің Ғылым және халықаралық қатынастар ісі жөніндегі декан орынбасары, комиссия мүшесі	
10.	Мамбетаев Ермек Бақытжанұлы, Спорт және өнер факультетінің Ғылым және тәрбие ісі-жөніндегі декан орынбасары, комиссия мүшесі	
11.	Омарова Балтұр Әділбекқызы, Медицина факультетінің Ғылым-ісі жөніндегі декан орынбасары, комиссия мүшесі	

М089-Химия білім беру бағдарламасы тобының, 7М05324-Химия білім беру бағдарламасы бойынша Әбділда Назерке Шермаханқызының орындаған «Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор (Cu-Ni) электродының қышқылды сулы ортадағы электрохимиялық қасиетін зерттеу» тақырыбындағы магистрлік диссертациялық жұмысына

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІСІНІҢ ШІКІРІ

Мельхиор – жоғары коррозиялық төзімді және беріктігі жоғары мыс – никель негізіндегі құйма. Мельхиор негізіндегі құймалар өзіне тән сулы ерітінділерде және атмосфералық газда коррозиялық тұрақтылық қасиетімен ерекшеленеді. Мельхиордың ерекше физика-механикалық қасиетіне байланысты кемелерді қаптауда, кеме жабдықтарын жасауда, теңіз электр станцияларында конденсаторға арналған құбырлар, медициналық құралдар, ас үй жабдықтарын жасауда қолданылатындықтан үлкен сұранысқа ие.

Қазіргі таңда мельхиор электродының физика-химиялық, электрохимиялық қасиеттерін зерттеу, құйма қалдықтарын өңдеу тәсілдерін жасау қызығушылық тудырып отыр. Мельхиор электродының сулы ерітінділердегі электрохимиялық қасиетін, еру кинетикасын зерттеудің теориялық және қолданбалы маңыздылығы бар.

Сонымен қатар, электролиз үрдістерінде айнымалы ток пен анодты токты қолдану қолданбалы электрохимия саласында жаңа ғылыми бағыттың дамуына ықпал жасады. Бұл әдіс ерітіндіде бағытталған электрохимиялық реакциялардың жүруіне, берік құймалардың анодтық еру процесін активтендіруге мүмкіндік береді.

Мельхиор құймасының электрохимиялық еру ерекшелігі тұз қышқылы және натрий хлориді сулы ерітінділерінде толық зерттелмеген. Осыған орай мельхиор электродының тұз қышқылы мен натрий хлориді сулы ерітінділеріндегі электрохимиялық еру механизмі мен ерекшеліктерін зерттеудің маңызы бар.

Н.Ш. Әбділданың диссертациялық жұмысында айнымалы және анодты токпен поляризацияланған мельхиор электродының қышқылды (HCl) және бейтарап (NaCl) орталардағы электрохимиялық қасиеттері алғаш рет зерттелген. Мельхиордың электрохимиялық еруі титан электродымен жұптастырылып жиілігі 50 Гц айнымалы токпен поляризациялау режимінде жүргізілген. Электролиз режимінде мельхиор электродының еруінің ток бойынша шығымына титан және мельхиор электродындағы ток тығыздығының, тұз қышқылы ерітіндісі концентрациясының, электролиздің жүру уақытының және айнымалы ток жиілігінің әсерлері зерттеліп, мельхиордың еруінің оңтайлы жағдайлары анықталған. Электролиз кезінде ерітінділерде түзілетін иондар сапалық анализ арқылы анықталған. Мельхиор электродының қышқылды және бейтарап хлоридті ерітінділеріндегі электрохимиялық қасиеті зерттеліп, реакцияның бірінші ретті екендігін және диффузиялық-кинетикалық жүргізілетіндігін көрсеткен.

Магистрант “Springer”, “Web of Science”, “Scopus” және басқа да әлемдік деректер базаларында мельхиор электродының физика-химиялық, электрохимиялық және коррозиялық қасиеттері жайлы мақалалармен танысып, жан-жақты ізденіс жасаған.

Магистрлік диссертацияның тұжырымдары мен қорытындылары қазіргі заманғы әдістермен өңделіп, қазіргі уақыт талабына сай құрал-жабдықтарды, дәлдігі жоғары фотометриялық, электрохимиялық, вольтамперометриялық анализ әдістерін қолдануға негізделген. Диссертациялық жұмысты рәсімдеуде этикалық нормаларға сәйкес әлеуметтік-этикалық құндылықтар сақталған. Зерттеу әдісін қолдану кезінде кездескен кәсіби және ғылыми мәселелерді шешуде тиімді коммуникацияларды қолданған, көпмәдениетті, көпэтикалы, көпконфессионалды қоғамдағы қарым-қатынас, педагогикалық ынтымақтастықта өзіне жауапкершілікті жүктей алған. Магистрант білім беру бағдарламасында көрсетілген оқыту нәтижелері мен басты құзыреттерді толық меңгерген.

Тәжірибе барысында қазіргі заманғы химияның мәселелік сұрақтарын іргелі химиялық пәндерден алған теориялық және практикалық білімдері бойынша пайдалана отырып шешімін тауып, жолын көрсетіп, өзінің ғылыми қорытындыларын логикалық негіздеген. Магистрант Н.Ш. Әбділда жұмыстарды орынау кезінде ғылыми жұмысқа деген қызығушылық, икемділік танытып, электрохимиялық тәжірибелерді өздігімен жасап, нәтижелерді өңдеуде сауаттылық көрсетті.

Магистрант алдына қойған мақсаттары мен міндеттеріне жеткен және алған ғылыми нәтижелерінің химия саласына теориялық және практикалық жағынан маңызы зор.

Қорыта келгенде, магистранттың «Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор (Cu-Ni) электродының қышқылды сулы ортадағы электрохимиялық қасиетін зерттеу» тақырыбында орындалған диссертациялық жұмысы магистрлік диссертацияға қойылатын талаптарға толық сай орындалған. Осыған орай, Н.Ш. Әбділданың 7M05324-Химия білім беру бағдарламасы бойынша жаратылыстану ғылымдарының магистрі академиялық дәрежесін алуға лайық деп есептеймін.

**Қожа Ахмет Ясауи атындағы
Халықаралық қазақ-түрік университеті
Жаратылыстану факультеті
Экология және химия кафедрасының
меңгерушісі, х.ғ.к., профессор**



Р.Н. Нүрділлаева қолын
РАСТАЙМЫН:
Қ.А.Ясауи атындағы
Халықаралық қазақ-түрік
университеті
Кадр бөлімінің
бастығы

М089-Химия білім беру бағдарламасы тобының, 7М05324-Химия білім беру бағдарламасының магистранты бойынша Әбділда Назерке Шермаханқызы орындаған «Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор (Cu-Ni) электродының қышқылды сулы ортадағы электрохимиялық қасиетін зерттеу» тақырыбындағы магистрлік диссертация жұмысына

Пікір

Зерттелетін материалдың құрылымы мен баяндалу нысаны туралы жалпы мәліметтер

Мельхиор – құрамында 30% дейін никель, 1% жуық темір және марганец болатын мыс негізіндегі құйма. Мельхиор құрамындағы никель құйманың беріктілігі мен коррозиялық тұрақтылығының жоғары болуына себеп болады. Никельдің мөлшері артқан сайын, құйманың сулы ерітінділерде, теңіз суларында және атмосфералық газда коррозиялық тұрақтылығы жоғары болады. Сонымен қатар, құйманың механикалық, технологиялық қасиеттері жақсара түседі.

Мельхиордың ерекше физика-механикалық қасиетіне байланысты қолданыс аясы кең. Көбінде мельхиор кемелерді қаптауда, кеме жабдықтарын жасауда, теңіз электр станцияларында конденсаторға арналған құбырлар, медициналық құралдар, ас үй жабдықтарын жасауда қолданылады.

Әбділда Назерке Шермаханқызының ғылыми-зерттеу жұмысының мақсаты – мельхиор электродының қышқылды (HCl) және бейтарап (NaCl) орталардағы электрохимиялық қасиеттерін айнымалы және анодты токпен поляризациялау арқылы зерттеу болып табылады.

Магистрлік диссертацияның көлемі 77 беттен, 3 тараудан, 25 кесте, 28 сурет, 57 пайдаланылған әдебиет тізімінен тұрады.

Зерттеу қорытындысының бітіру жұмысында көрініс табуы

Магистрлік диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалықтары төмендегідей болып табылады:

- Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының тұз қышқылының және натрий хлоридінің сулы ерітінділерінде еру ерекшелігі көрсетілген

- Айнымалы және тұрақты токпен поляризацияланған мельхиор электродының еруіне негізгі электрохимиялық параметрлердің (ток тығыздығы, электролит концентрациясы, электролиз ұзақтығы, ерітінді температурасы, ток жиілігі) әсерлері қарастырылған.

- Тұз қышқылында және натрий хлориді ерітінділерінде мельхиор электродының еруінің оңтайлы жағдайлары анықталған.

Магистрлік диссертацияның тұжырымдары мен қорытындылары заманауи әдістермен өңделіп, қазіргі уақыт талабына сай құрал-жабдықтарды, дәлдігі жоғары фотометриялық, электрохимиялық, вольтамперометриялық анализ әдістерін қолдануға негізделген. Жұмыста алынған нәтижелердің шынайылығы және негізделуі – хлоридті қышқылды

сулы ерітінділердегі мельхиордың еруінің ерекшелігі мен электрохимиялық еруінің оңтайлы жағдайлары қалыптастырылған.

Диссертациялық жұмыс өзекті, ғылыми жаңалықтары бар және практикалық маңызы жоғары. Жұмыста қорғалатын ғылыми ұстанымдарға сәйкес келетін теориялық және зерттеулік бөлімдері ұсынылған. Магистрлік диссертация 7M05324-Химия білім беру бағдарламасына толық сәйкес келеді.

Ескертулер мен ұсыныстар. Зерттеу нәтижесінде алынған мәндерді математикалық статистикалық өңдеу жүргізілгенімен, есептеу жолдары кесте түрінде келтірілмеген. Бірақ бұл елеусіз кемшілік ғылыми жұмыстың маңыздылығын түсірмейді.

Зерттеу жұмысына мельхиор электродының тұз қышқылының сулы ерітіндісінде еруіне негізгі электрохимиялық параметрлердің әсері қарастырылып, мельхиордың еруінің тиімді жағдайлары анықталған. Электролиз кезінде ерітінділерде түзілетін иондар сапалық анализ арқылы анықталған. Мельхиор электродының қышқылды және бейтарап хлоридті ерітінділеріндегі электрохимиялық қасиеті зерттеліп, реакцияның бірінші ретті екендігін және диффузиялық-кинетикалық режимде жүретіндігі көрсетілген.

Қорыта айтқанда, Әбділда Назерке Шермаханқызының «Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор (Cu-Ni) электродының қышқылды сулы ортадағы электрохимиялық қасиетін зерттеу» тақырыбында жасалған диссертациялық жұмысы магистрлік диссертацияға қойылатын талаптарға толық сай келетін, теориялық және практикалық маңызы құнды ғылыми жұмыс болып табылады. Осыған орай, Н.Ш. Әбділданың 7M05324- Химия білім беру бағдарламасы бойынша жаратылыстану ғылымдарының магистрі академиялық дәрежесін алуға лайық деп есептеп, ғылыми еңбекті (А)-«өте жоғары» бағаға бағалаймын.

Жұмыс бағасы – (А) – өте жақсы

Пікір беруші

М.Әуезов атындағы Оңтүстік
Қазақстан университеті,
«Химия және химиялық технология
негіздері» кафедрасының доценті, х.ғ.к.



А.С. Түкібаева

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті
 Жаратылыстану факультеті
 7M05324-Химия білім беру бағдарламасының магистранты
 Әбділда Назерке Шермаханқызының ғылыми еңбектер мен
 ашылымдар
 ТІЗІМІ

№	Ғылыми еңбек аталуы	Баспадан немес қолжазба құқығын да	Басылым: журнал (аталуы, №, шыққан жылы) автор, куәліктің №	Баспа табақ саны, бет саны	Автормен бірге, тегі, аты
1	2	3	4	5	6
1	Electrochemical behavior of cupronickel electrode in acidic media	Баспа	«ҚР ҰҒА Хабарлары», Алматы, 38-46 б., ISSN 2224-5286 №1(445) 2021 ж.	9 (0,5925)	Nurdillayeva R.N. Abdilda N.Sh. Bayeshov A.B.
2	Айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының хлоридті ортадағы еру ерекшелігі	Баспа	«Ғылым және білім – 2021» студенттер мен жас ғалымдардың XIV Халықаралық ғылыми конференциясы, 2021 ж.	6 (0,375)	Нүрділлаева Р.Н. Әбділда Н.Ш.

Ғылыми хатшы

Ізденуші



Асанова
Әбділда

М.Асанова

Н. Әбділда



ISSN 2518-1491 (Online),
ISSN 2224-5286 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай,
катализ және электрохимия институты» АҚ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
АО «Институт топлива, катализа и
электрохимии им. Д.В. Сокольского»

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis
and electrochemistry»

SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

1 (445)

JANUARY – FEBRUARY 2021

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 1, Number 445 (2021), 38 – 46

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1491.5>

UDC 541.135.7:691.737

IRSTI: 31.15.33

R. N. Nurdillayeva¹, N. Sh. Abdilda¹, A. B. Bayeshov²

¹Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan;

²D. V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: raushan.nurdillayeva@ayu.edu.kz

ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF CUPRONICKEL ELECTRODE IN ACIDIC MEDIA

Abstract. The electrochemical properties of the cupronickel electrode polarized by an alternating current in an aqueous solution of hydrochloric acid were studied for the first time. The electrochemical dissolution of cupronickel was carried out in a polarization mode with a frequency of 50 Hz in pairs with a titanium electrode. The current efficiency of dissolution of Cu-Ni alloys dependence on the current density at the titanium (20-120 kA/m²) and cupronickel (200-1200 A/m²) electrodes, the concentration of a hydrochloric acid solution (0.5-5.0 M), the electrolysis duration (0.5-1.75 h) and the alternating current effect (50-300 Hz) were considered. It was observed that the current efficiency of the alloy dissolution decreases linearly with increasing current density at the cupronickel electrode, while the current density at the titanium electrode passes through a maximum value at 60 kA/m². The dependence of the alloy dissolution on the acid concentration was studied, and the reaction order was calculated. The reaction orders for the formation of copper (I) and nickel (II) ions accounted for 0.95 and 0.85, respectively. As the frequency of the alternating current increased, the current efficiency of the cupronickel electrode dissolution changed significantly. It has been shown that high current frequencies do not provide the required anodic half-cycle duration for the oxidation reaction of the metals, as the periods change very rapidly. It was found that electrolysis is effective at a frequency of 50 Hz AC. It was observed that the dissolution rate of the copper-nickel alloy increases with increasing solution temperature. It was found that the dissolution of cupronickel in an aqueous solution of hydrochloric acid by the temperature-kinetic method takes place in the diffusion-kinetic mode. Ideally, the current efficiency values were 59% for Cu (I) ions and 15% for Ni (II) ions.

Key words: cupronickel, Cu-Ni alloy, alternating current, titanium electrode, hydrochloric acid, electrolysis, current density, current efficiency.

Cupronickel is a copper-nickel alloy, usually containing 5-30% nickel, 70-95% copper, and a small amount of 0.8% iron, 1% manganese. A special property of cupronickel is its corrosion resistance to seawater and dry gas atmosphere. Cupronickel contains nickel, it exhibits mechanical strength. The higher the amount of nickel, the higher its strength. Cupronickel alloy containing 30% Ni, 0.8% Fe, 1% Mn, and 68.2% Cu is used as condenser pipes [1], as heat exchanger pipes in the cooling system of nuclear power plants [2]. Cupronickel B10 is an important material used in aviation due to its good electrochemical and mechanical properties (corrosion resistance) [3].

Currently, due to the special mechanical properties of alloys based on Cu-Ni, the study of physicochemical and electrochemical properties of the cupronickel electrode is of interest. The corrosive properties of cupronickel have been studied in a number of scientific papers [1-6]. Corrosive properties of cupronickel alloy studied in permanganic acid [2] and in the aqueous solution of sodium chloride [3-5], in artificial seawater [6,7], and in concentrated LiBr solutions [8]. The corrosion behaviour of cupronickel alloys (Cu 70, Ni 30) is considered in permanganate under acidic conditions. As a result of cyclic polarization, it has been shown that in permanganic acid there is uniform corrosion without pitting (point corrosion) [2].

The corrosive properties of cupronickel alloys containing Cu-Ni (90-10) and Cu-Ni (70-30) have been studied comparatively in brine solutions (NaCl). Cu-Ni (90-10) alloy in 3.5% aqueous solution of NaCl is more corrosion resistant than alloy Cu-Ni (70-30) [1]. The effects of various parameters (temperature, chlorides, carbon dioxide, oxygen) affecting the corrosive properties of Cu-Ni (90-10) alloys in 3.5% NaCl aqueous solution were observed by the electrochemical method [5]. The effect of aluminium on the corrosion action and mechanical properties of Cu-Ni-Fe-Mn alloys in seawater is considered and significant changes in the corrosive and mechanical properties of alloy Cu-7Ni-xAl-1Fe-1Mn are shown [6]. The corrosion resistance of cupronickel (Cu 90-Ni 10) in seawater is provided. During the corrosion process, it was found that CuO, Cu₂O, and Cu(OH)₂ in the corrosion layer of the alloy are converted into CuCl, CuCl₂, and Cu₂(OH)₃Cl [7]. The electrochemical corrosion properties of various copper-based alloys (Cu-10Ni, Cu-Al) in concentrated solutions of LiBr and the corrosion mechanism of cupronickel alloys were studied and discussed [8].

The electrochemical properties of cupronickel alloy are considered in H₂SO₄ acid solution [9] and aqueous LiBr solution [10]. Anodic dissolution of cupronickel alloys in an acidic medium in the presence of electrically active forms of oxygen was studied. Under optimal conditions, at a potential of 0.3 V and a current density of 2.54 mA/cm², a large amount of active oxygen is formed in the process of oxidation, i.e. dissolution [9]. The electrochemical behaviour of the alloy Cu-Ni (70-30) was studied in different concentration of LiBr solution from 0.1 up to 9.0 M. It was found that at low values of the anodic potential (-200V) there is passivation current due to the formation of a doped Cu₂O film involving surface enriched in nickel [10]. The electrochemical properties of Cu metal and Cu-10Ni-10Zn alloys in acidic, neutral, and alkaline solutions were compared. The corrosion rate of the alloy is relatively high in neutral and alkaline solutions in acidic solutions. It was found that the corrosion rate of Cu metal is high in chloride solutions [11]. There was considered thermodynamics of chemical and electrochemical stability of copper-nickel alloys. The chemical stability of cupronickel alloys in the air was determined by nickel, and a phase diagram of the Cu-Ni-O system was constructed [12].

It is known that the use of alternating current accelerates the dissolution of metals prone to passivation, including copper and nickel. The electrochemical properties of copper and nickel in the individual metal states have been studied in several works [13-17]. The mechanism of formation of copper powders in the anodic and cathodic half-periods of industrial AC at a frequency of 50 Hz is considered in sulfuric acid. During electrolysis, round metal powders with a current density of 4000 A/m² of 1-1.5 microns were formed. It was found that ultra disperse copper powders are formed at high current densities [13]. The electrochemical properties of the copper electrode were studied by anodic polarization in an aqueous solution of potassium bromide. The effective value of the formation of copper (I) bromide at the current density of 200 A/m² of the copper electrode reached 72.1% [14]. The electrochemical dissolution of copper in hydrochloric acid was studied. It shows the formation of a film of intermediate compounds of Cu (I) ions during the process, depending on the stability of the chloride complexes Cu (I) [15]. Electrochemical deposition of copper in a solution of sulfuric acid at different potential values at alternating current is considered [16].

Electrochemical dissolution of nickel electrodes in an acid medium, in an aqueous solution of H₂SO₄ acid, was carried out at polarized alternating current. The effect of basic electrochemical parameters on the formation of nickel (II) ions is studied. Rapid dissolution of nickel was observed between potentials -160 V and +200 V [17]. The dissolution of nickel in 100 g/L sulfuric acid is studied by cyclic voltammetry. The research data revealed that anode nickel oxide films are destroyed during cathodic polarization as a result of simultaneous redox processes and chemical dissolution of oxides in the electrolyte [18]. Pulse dissolution properties of nickel in rotational processes have been studied, and it has been shown that the dissolution of nickel depends on the rotational speed and that nickel can be efficiently processed at low rotational speeds [19].

The dissolution behaviour of brass in sodium phosphate solutions [20] and the electrochemical properties of the constantine in hydrochloric acid solution [21] polarized by the alternating current are considered. In both research effect of alternating current of 50 Hz parameters on the dissolution of the Cu-based alloys were studied. During electrolysis, optimal parameters of electrochemical dissolution Cu-Zn and Cu-Ni alloys in an aqueous solution were determined [20-21]. Anodic selective dissolution of copper alloys (Cu 65-Ni 35, Cu 35-Ni 65, Cu 63-Zn 37, Cu40-Zn37, Cu50-Al50) in a mixture of

carbonates and chlorides of alkali metals were studied. It was shown the possibility of change of the binary alloy dissolution by changing the kinetic parameters of electrolysis. Due to copper is an electrostatic component in copper chloride alloys, it was found that during dissolution of alloy a nickel-enriched layer is formed on the surface of the alloys galvanostatic mode [22]. The corrosion electrochemical behaviour of Cu based alloys in high-temperature salt electrolytes is studied in the galvanostatic mode. It was found that L63 brass samples have the smallest pore diameter in salt melts thus is the most promising copper-based alloy for the production of nanomaterials [23].

The literature review showed that the electrochemical properties of Cu-Ni based alloys have not been fully studied, although the electrochemical properties of copper and nickel electrodes polarized by alternating current in the individual metal state in aqueous media [12-19] have been studied in detail.

In the presented work the electrochemical dissolution behaviour of an electrolytic polarized cupronickel electrode in an aqueous solution of hydrochloric acid was studied for the first time.

Methods and materials. The electrochemical dissolution behaviour of the cupronickel electrode was studied in the mode of electrolysis of alternating current at industrial frequencies. The main experiments were performed in a 100 ml glass electrolyser without separating the electrode spaces. A plate of cupronickel (containing 67.5% Cu, 27.5% Ni) was used as a working electrode and a titanium wire with a small surface as an auxiliary electrode. The B-24 unit was used as an AC source in the electrochemical circuit. The deviation of the AC sinusoid was determined by using a universal oscillograph C-1-77. In the study, a sound generator GEM was used to obtain different frequencies of alternating current. The amount of copper (II) and nickel (II) ions formed as a result of electrolysis was determined by iodometric, and photocolometric methods [24, 25].

During the experiment, the electrochemical dissolution of cupronickel was carried out in combination with a titanium electrode. Preliminary studies have shown that when two cupronickel electrodes are polarized by alternating current, the main processes involved do not take place. When the cupronickel electrode was paired with a titanium electrode, it was observed that the alloy dissolves by forming copper (I), copper (II) and nickel (II) ions. This can be explained by the valve property of the titanium electrode, i.e. the current-correcting property. The valve property is considered to be characteristic of asymmetric resistance, which is mainly due to the formation of an oxide layer that prevents the passage of electricity at the titanium electrode during the anode layer that prevents the passage of electricity at the titanium electrode during the anode half-period [26]. During the cathode half-period, hydrogen is released at the titanium electrode. In this case, the dissolution of the anchored electrode occurs in the anode half-cycle. The dissolution current efficiency (CE) of the cupronickel electrode was calculated for the anode half-cycle of alternating current.

The effects of current densities, electrolyte concentration, solution temperature, electrolysis duration, and AC frequency on the dissolution of Cu-Ni alloys in the alternating current mode were studied. For comparison, the electrochemical dissolution of the alloy was carried out in the mode of direct current electrolysis. Insignificant dissolution of direct current polarized cupronickel electrode was found.

Results and discussion. Dissolution of a cupronickel electrode in a hydrochloric acid aqueous solution polarized with the alternating current can proceed according to the reactions:



The formation of copper ions proceeds mainly according to reaction (1) since the rate of reaction (2) is much lower than the first. This is mainly due to the stability of monovalent copper ions in hydrochloric acid solutions, due to the formation of chloride complexes (reactions 4-6), as well as the disproportionate reaction [20]:



Nickel ions in solution react with chlorine ions to form nickel (II) chloride:



There was studied the effect of titanium electrode current density on the current efficiency of electrochemical dissolution of a cupronickel electrode polarized by 50 Hz frequency alternating current (figure 1). It is found that when the current density at the titanium electrode is increased from 20 kA/m² to 120 kA/m², the current efficiency of the cupronickel electrode passes through the maximum. However, an increase in the current density at the titanium electrode did not significantly affect the current efficiency of Ni (II) ions. When the current density value is increased up to 60 kA/m², the CE values of Cu (I) and Cu(II) ions increased from 41% to 59% and from 20.5% to 29.5%, respectively, and the current density decreased at 120 kA/m². The increase in current efficiency can be explained by the formation of an oxide layer on the surface of the titanium electrode with valve, i.e. semiconductor properties. If the current density at the titanium electrode is increased further, a decrease in the current efficiency of the cupronickel electrode dissolution is observed. This is due to the formation of titanium oxide layers of different compositions at different current densities, and changes in their valve properties.

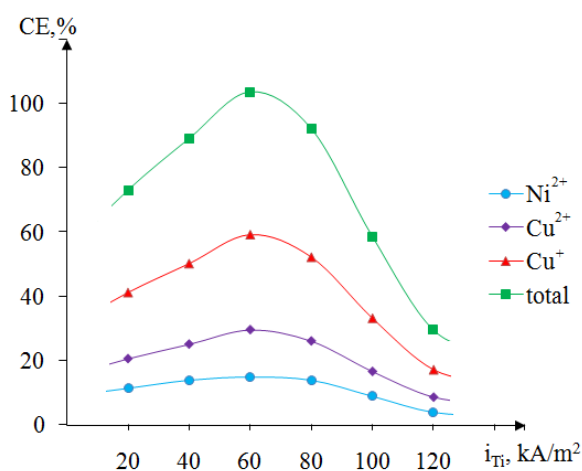


Figure 1 – Effect of titanium electrode current density on the efficiency of the cupronickel electrode dissolution polarized with alternating current: $i_{CuNi} = 400 \text{ A/m}^2$, $[\text{HCl}] = 0,5 \text{ M}$, $\tau = 0,5 \text{ h}$.

The reason for the fact that the dissolution of copper-nickel alloys exceeds 100% of the total CE can be explained by the fact that the copper in the alloy is electrochemically dissolved in hydrochloric acid solutions, along with electrochemical dissolution:



As a result, copper powders, and cupronickel electrodes formed on the surface of the electrode form a galvanic couple [20], which facilitates the transfer of nickel from the alloy to the solution. These processes lead to a high total CE (CE 100%).

0.5 hours without polarization of the nickel electrode. When placed in an aqueous solution of hydrochloric acid, 0.47 mg of nickel, 1.04mg of copper, and 1.66 mg of cupronickel electrode were dissolved.

The effect of current density on the cupronickel electrode on the dissolution of Cu-Ni alloys polarized by alternating current was studied in the range of 200 A/m² – 1200 A/m² (figure 2). During this experiment, the current density at the titanium electrode was kept constant at 60 kA/m². With an increase in the current density of the cupronickel electrode, there was a significant decrease in the CE of the formation Cu (I) ions from 70% to 10%, the CE for the Cu (II) ions from 35% to 5%, and the CE for the Ni (II) ions from 17.5% to 2.5%. This is due to the increase in current density, the increase in the rate of additional reactions.

Electrolysis by using direct current polarization was also performed for the comparison. It was found that an increase in the current density at the anode reduces the current efficiency of the cupronickel electrode dissolution. This phenomenon was observed by the passivation of the electrode.

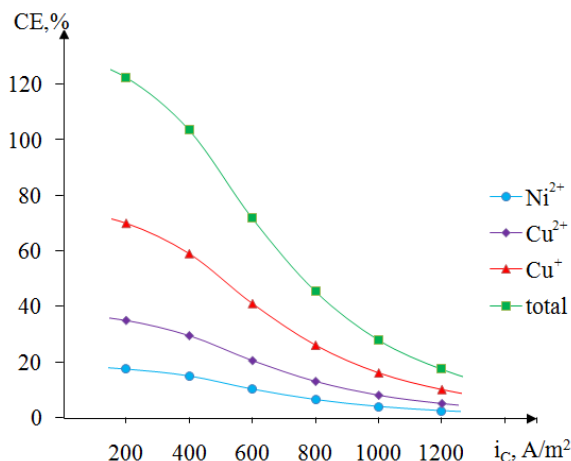


Figure 2 – The effect of the cupronickel electrode current density on the current efficiency of the alternating current polarized Cu-Ni alloy dissolution: $i_{Ti} = 60 \text{ kA/m}^2$, $[HCl] = 0,5 \text{ M}$, $\tau = 0,5 \text{ h}$.

The effect of the concentration of the hydrochloric acid solution on the electrode process during polarization with the alternating current was studied. According to figure 3, with an increase in the concentration of hydrochloric acid by 0.5 M to 5.0 M, the current efficiency value for copper (I), (II), and nickel (II) ions slightly increased. There is observed stable growth in the current efficiency of the dissolution cupronickel electrode from 103% to 128%. This is a natural phenomenon, because as the concentration of the anion increases, so does its oxidizing property.

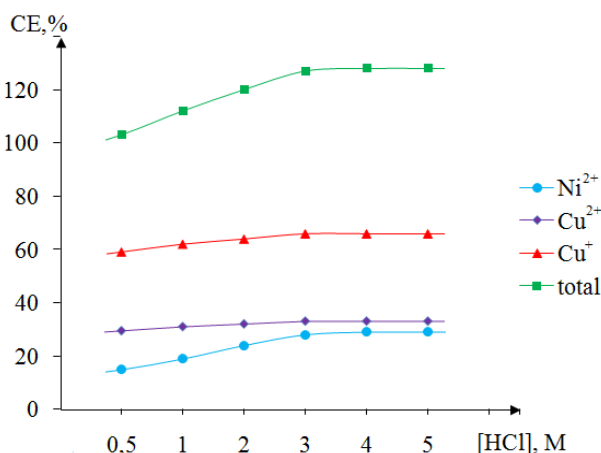


Figure 3 – Effect of hydrochloric acid concentration on the current efficiency of cupronickel electrode dissolution polarized alternating current: $i_{CuNi} = 400 \text{ A/m}^2$, $i_{Ti} = 60 \text{ kA/m}^2$, $\tau = 0,5 \text{ h}$.

The reaction order was calculated from the dependence of the acid concentration on the cupronickel electrode. The reaction order for the total copper ions accounted for 0.95 and nickel (II) ions - 0.85.

Increasing the duration of electrolysis led to a decrease in the current efficiency of copper-nickel alloys. That is, over time, the electrodes become passivated by the products of electrolysis. When the electrolysis time exceeded 1 hour, the formation of copper powders was observed at the titanium electrode of the electrolyte. As a result of the accumulation of copper powders in the titanium electrode, the current-correcting properties of the titanium electrode decrease.

Figure 5 shows the effect of electrolyte temperature on the current dissolution rate of the cupronickel electrode polarized by an alternating current. According to the results of the study, a substantial dissolution of copper-nickel alloys was observed with increasing electrolyte temperature. The value of CE for total copper and nickel (II) ions increased linearly as well as for total dissolution of Cu-Ni alloy. When the temperature of the solution was increased from 20 up to 60°C, the CE for nickel (II) ions increased from 5% to 18.6%, the CE for total copper ions elevated vastly from 22.5% to 132%.

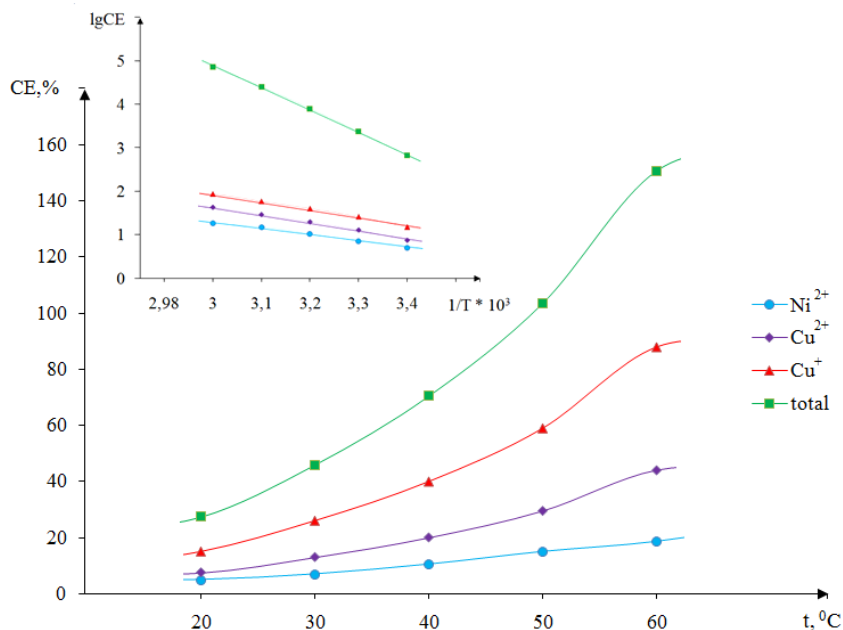


Figure 4 – The electrolyte temperature effect on the current efficiency of cupronickel electrode dissolution polarized alternating current, and inverse dependence of the logarithm of the current efficiency of the cupronickel electrode dissolution on temperature $i_{CuNi} = 400 \text{ A/m}^2$, $i_{Ti} = 60 \text{ kA/m}^2$, $[\text{HCl}] = 0,5 \text{ M}$, $\tau = 0,5 \text{ h}$.

It is known that the rate of chemical reactions is determined by the energy of activation. The activation energy of electrochemical reactions was found depending on the angular coefficient of the linear image (figure 4). The average value of the activation energy of total copper ions, and nickel (II) ions determined by the temperature-kinetic method ($\lg\text{CE}-1/T \cdot 10^3$) was $E_{act} = 9.31 \text{ kJ/mol}$, and $E_{act} = 21.73 \text{ kJ/mol}$, respectively. This indicates that the ongoing electrochemical reaction takes place in a diffusion-kinetic mode.

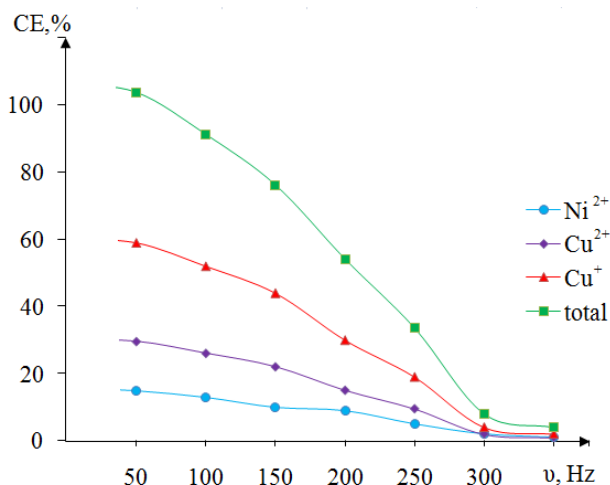


Figure 5 – AC frequencies effect on the current efficiency of cupronickel electrode dissolution polarized with alternating current: $i_{CuNi} = 400 \text{ A/m}^2$, $i_{Ti} = 60 \text{ kA/m}^2$, $[\text{HCl}] = 0,5 \text{ M}$, $\tau = 0,5 \text{ h}$.

As can be seen in figure 5, the effect of AC frequency on the dissolution of Cu-Ni alloys polarized by the alternating current is significant. The effect of AC frequency on the polarization of the cupronickel electrode in a hydrochloric acid solution was studied at a current frequency in the range of 50-350 Hz. Increasing the value of the AC frequency, the total current efficiency dissolution of the Cu-Ni alloys is reduced from 103.5% up to 8%, respectively, and the dissolution of the cupronickel electrode at 350 Hz

almost completely stopped. It can be concluded that the decrease in current efficiency with increasing frequency is caused by the inhibition of the ionization process, i.e. the lack of time required for the oxidation reaction in the anode half-cycle. Due to the fact that the periods change very rapidly at high current frequencies, the alloy components do not have time to oxidize copper, and nickel in the anode half-period. In this case, only hydrogen ions are involved in the electrode process. It can be assumed that in the cathode half-period hydrogen ions are reduced to the active atomic state, and in the anodic half-period, they have oxidized again to the H^+ state. It can also be explained by the regularity of the decrease in the effect of current density with increasing current frequency, a decrease in the actual polarization at the electrodes.

Conclusion. The electrochemical dissolution behaviour of a cupronickel electrode in an aqueous solution of hydrochloric acid under polarization with a 50 Hz frequency alternating current was systematically studied. On the basis of electrochemical experiments, the influence of the current density at the titanium and cupronickel electrodes, the hydrochloric acid solution concentration, the electrolyte temperature, the electrolysis duration and the alternating current frequency on the alloy dissolution behavior with formation of Cu(I), Cu(II), Ni(II) ions were established. Optimal conditions for electrochemical dissolution of cupronickel alloy in hydrochloric acid medium in the mode of industrial AC electrolysis were determined: $i_{Ti} = 60 \text{ kA/m}^2$, $i_{CuNi} = 200 \text{ A/m}^2$, $[HCl] = 2.0 \text{ M}$, $\tau = 0.5 \text{ h}$, $t = 50^0 \text{ C}$, $\nu = 50 \text{ Hz}$). Under optimal conditions, the formation of Cu (I), Cu (II), and Ni (II) ions accounted for 59%, 29.6%, and 15%, respectively, and the total dissolution of the alloy reached 103.6%.

Р. Н. Нүрділлаева¹, Н. Ш. Әбділда¹, А. Б. Басшов²

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан;

²Д. В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан

МЕЛЬХИОР ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ҚЫШҚЫЛ ОРТАДАҒЫ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІ

Аннотация. Мельхиор құймасының беріктік және коррозиялық тұрақтылық қасиеті жоғары болғандықтан, өндіріс орындарында конденсаторлық және жылуалмастырғыш құбырлар, медициналық құралдар мен тұрмыстық жабдықтар жасауда кеңінен қолданылады. Cu-Ni негізіндегі құймалардың қолданылу аясы кең, әрі ерекше механикалық қасиеттеріне байланысты мельхиордың электрохимиялық қасиеттерін зерттеудің маңызы үлкен. Ұсынылып отырған жұмыста өндірістік жиіліктегі айнымалы токпен поляризацияланған мельхиор электродының электрохимиялық қасиеті тұз қышқылының сулы ерітіндісінде алғаш рет зерттелді. Алдын ала жүргізілген зерттеу нәтижелері екі мельхиор электродын айнымалы токпен поляризациялағанда бағытталған негізгі үдерістердің іс жүзінде жүрмейтінін көрсетті. Алайды, мельхиор электродын титан электродымен жұптастырғанда құйманың мыс (I), мыс (II), және никель (II) иондарын түзе, қарқынды еритіндігі байқалды. Осыған орай, мельхиордың электрохимиялық еруі титан электродымен жұптастырылып жиілігі 50 Гц айнымалы токты электролиз режимінде жүргізілді. Cu-Ni құймасының еруінің ток бойынша шығымына титан (20-120 кА/м²) және мельхиор (200-1200 А/м²) электродындағы ток тығыздығының, тұз қышқылы ерітіндісі концентрациясының (0,5-5,0 М), электролиздің жүру уақытының (0,5-1,75 сағ.) және айнымалы ток жиілігінің (50-300 Гц) әсерлері қарастырылды. Салыстыру мақсатында құйманың электрохимиялық еруі тұрақты ток электролиз режимінде де жүргізілді. Тұрақты токпен поляризацияланған мельхиор электродының мардымсыз еритіндігі анықталды.

Құйманың электрохимиялық еру жылдамдығына титан электродындағы ток тығыздығының әсер ететіндігі анықталды. Мельхиор электроды еруінің ток бойынша шығымы титан электродындағы ток тығыздығы 60 кА/м²-та максимум арқылы өтіп, жоғары ток тығыздығында едәуір төмендейді. Бұл титан бетінде 20-120 кА/м² ток тығыздығында түрлі құрамдағы титан оксиді қабаттары түзіліп, олардың вентильдік қасиетінің өзгеруі негізінде түсіндіріледі. Cu-Ni құймасының электрохимиялық еруінің ток бойынша шығымы мельхиор электродындағы ток тығыздығын жоғарылатқанда қосымша реакциялар жылдамдығының өсуі әсерінен сызықты түрде төмендегені байқалды.

Құйма еруінің қышқыл концентрациясына тәуелділігі зерттеліп, реакция реті есептелді. Жалпы мыс иондары түзілуінің реакция реті 0.95, никель (II) иондарының түзілуінің реакция реті 0.85 мәнді көрсетті.

Түйін сөздер: мельхиор, Cu-Ni құймасы, айнымалы ток, титан электроды, тұз қышқылы, электролиз, ток тығыздығы, ток бойынша шығым.

Р. Н. Нурдиллаева¹, Н. Ш. Абдилда¹, А. Б. Баяшов²

¹Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан;

²АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского», Алматы, Казахстан

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЕЛЬХИОРОВОГО ЭЛЕКТРОДА В КИСЛОЙ СРЕДЕ

Аннотация. Мельхиоровый сплав имеет высокую прочность и коррозионную стойкость, широко используется в производстве конденсаторных и теплообменных труб, медицинских инструментов и бытового оборудования. Сплав Cu-Ni имеет широкий спектр применения, и в связи с уникальными механическими свойствами большое значение имеют исследования, посвященные электрохимическому поведению мельхиора. В данной работе впервые исследовано электрохимическое поведение мельхиорового электрода при поляризации переменным током промышленной частоты в водном растворе соляной кислоты. Результаты предварительного исследования показали, что при поляризации двух мельхиоровых электродов переменным током практически не происходят основные направленные процессы. Однако при применении мельхиорового электрода в паре с титановым электродом наблюдалось интенсивное растворение сплава с образованием ионов меди (I), меди (II) и никеля (II). В связи с этим электрохимическое растворение мельхиора проводили в режиме электролиза под действием переменного тока с частотой 50 Гц в паре с титановым электродом. Рассмотрено влияние плотности тока на титановом (20-120 кА/м²) и мельхиоровом (200-1200 А/м²) электроде, концентрации раствора соляной кислоты (0,5-5,0 М), продолжительности электролиза (0,5-1,75 ч.) и частоты переменного тока (50-300 Гц) на выход по току растворения сплава Cu-Ni. С целью сравнения электрохимическое растворение сплава проводилось также в режиме электролиза под действием постоянного тока. Установлено, что при поляризации под действием постоянного тока мельхиоровый электрод растворяется незначительно.

Установлено, что плотность тока на титановом электроде значительно влияет на скорость электрохимического растворения сплава. Выход по току растворения мельхиорового электрода проходит через максимум при плотности тока 60 кА/м² и существенно уменьшается при высокой плотности тока на титановом электроде. Это объясняется тем, что при плотностях тока на титане 20-120 кА/м² образуются слои оксида титана различного состава и изменяются их вентильные свойства.

Изучен процесс растворения сплава в зависимости от концентрации кислоты и определен порядок реакции. Общий порядок реакции образования ионов меди составил 0,95 и порядок реакции образования ионов никеля (II) 0,85.

Ключевые слова: мельхиор, сплав Cu-Ni, переменный ток, титановый электрод, соляная кислота, электролиз, выход по току, плотность тока.

Information about authors:

Nurdillayeva Raushan N., Candidate of Chemistry Science, Associate Professor, Head of Ecology and Chemistry Department of Natural Sciences Faculty, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan; raushan.nurdillayeva@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9444-737X>

Abdilda Nazerke Sh., Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, master student of educational program 7M05324-Chemistry, II course, Turkestan, Kazakhstan; abdilda_nazerke@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5978-4477>

Bayeshov Abdualy, Doctor of Chemistry Science, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan; bayeshov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0745-039X>

REFERENCES

[1] Gaber G.A., Hussein W.A., Ahmed A.S. (2020). Comparative study of electrochemical corrosion of novel designs of 90/10 and 70/30 copper-nickel alloys in brine solutions // *Egyptian Journal of Chemistry*. Vol. 63, N 4. P. 19-20. DOI: 10.21608/ejchem.2019.16389.2001 (in Eng.).

[2] Subramanian V., Chandramohan P., Srinivasan M.P., Velmurugan S., Narasimhan S.V. (2007). Corrosion of cupronickel alloy in permanganate under acidic condition // *Corrosion science*. Vol. 49, N 2. P. 620-636. DOI: 10.1016/j.corsci.2006.06.001 (in Eng.).

[3] Lei N., Xu D. (2017). Deformation temperature and material constitutive model of cupronickel B10 // *Journal of Mechanical Science and Technology*. Vol. 31, N 8. P. 3761-3767. DOI: 10.1007/s12206-017-0719-7 (in Eng.).

- [4] Ekerenam O.O., Ma A., Zhang Y., Emori W. (2017) Electrochemical behavior of three 90Cu-10Ni tubes from different manufactures after immersion in 3.5% NaCl solution // *Journal of Materials Engineering and Performance*. Vol. 26, N 4. P. 1701-1716. DOI: 10.1007/s11665-017-2566-1 (in Eng.).
- [5] Ezuber H.M., Al Shater A. (2016) Influence of environmental parameters on the corrosion behavior of 90/10 cupronickel tubes in 3.5% NaCl // *Desalination and Water Treatment*. Vol. 57, N 15. P. 6670-6679. DOI: 10.1080/19443994.2015.1024743 (in Eng.).
- [6] Yang R., Wen J., Zhou Y., Song K., Song Z. (2018) Effect of Al element on the microstructure and properties of Cu-Ni-Fe-Mn alloys // *Materials*. Vol. 11, N 9. P. 1777. DOI: 10.3390/ma11091777 (in Eng.).
- [7] Jin T., Zhang W., Li N., Liu X., Han L., Dai W. (2019) Surface characterization and corrosion behavior of 90/10 copper-nickel alloy in marine environment // *Materials*. Vol. 12, N 11. P. 1869. DOI: 10.3390/ma12111869 (in Eng.).
- [8] El Warreky A.A., Abd El Hamid S.E., Sherif E.S.M. (2020) Electrochemical Corrosion Behaviour of different Cu-Base Alloys in Concentrated LiBr solutions: Part I-Cu/10Ni and A-bronze alloys // *International Journal of Electrochemical science*. Vol. 15, N 3. P. 2243-2260. DOI: 10.20964/2020/03/72 (in Eng.).
- [9] Wang Y., Xue Y., Zhang C. (2019) Enhanced anodic dissolution of cupronickel alloy scraps by electro-generated reactive oxygen species in acid media // *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 806. P. 106-112. DOI: 10.1016/j.jallcom.2019.07.276 (in Eng.).
- [10] El Warraky A.A., El Meleigy A.E., Abd El S.E. (2016) The electrochemical behavior of 70-30 Cu-Ni alloy in LiBr solutions // *Egyptian Journal of Chemistry*. Vol. 59, N 5. P. 833-850. https://journals.ekb.eg/article_1471_9b52c28c76df22e65462a856357d2f63.pdf (in Eng.).
- [11] Badawy W.A., El-Rabiei M.M., Nady H.M., Samy M.A. (2015) Comparison of electrochemical behavior of Cu-10Ni-10Zn alloy and Cu in aqueous solutions // *Zeitschrift für physikalische Chemie*. Vol. 229, N 3. P. 351-363. DOI: 10.1515/zpch-2014-0627 (in Eng.).
- [12] Nikolaychuk P.A., Tyurin A.G. (2012) Thermodynamics of chemical and electrochemical stability of copper-nickel alloys // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. Vol. 48, N 4. P. 462-476. DOI: 10.1134/S2070205112040132 (in Eng.).
- [13] Nurdillayeva R.N., Bayeshov A.B., Serik G.S. (2018) Production of copper bromide at polarization by an alternating current // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology*. Vol. 2. P. 36-43. ISSN 2518-1491 (online), ISSN 2224-5286 (Print) (in Eng.).
- [14] Nurdillayeva R.N., Bayeshov A.B., Serik G.S. (2018) The elaboration of copper bromide synthesis by electrochemical method // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology*. Vol. 1, N 371. P. 73-80. ISSN 2518-1467(Online), ISSN 1991-3494(Print) (in Eng.).
- [15] Ovchinnikova S.N., Aleksandrova T.P., Vais A.A. (2004) Copper in acid chloride solutions: electrochemical behavior by quartz microgravimetry and voltammetry // *Russian Journal of Electrochemistry*. Vol. 40, N 7. P. 755-759. DOI: 10.1023/B:RUEL.0000035261.95595.e9 (in Eng.).
- [16] Cuenca A., Agrisuelas J., Garcia-Jareno J.J., Vicente F. (2017) Alternating current electrogravimetry of copper electro-dissolution in a sulfuric acid solution // *Electrochemical Acta*, N 235. P. 374-383. DOI: 10.1016/j.electacta.2017.03.079 (in Eng.).
- [17] Bayeshov A.B., Yegeubayeva S.S., Bayeshova A.K., Zhurinov M.Z. (2017) Dissolution of bipolar nickel electrode in sulfuric acid solution at polarization with industrial alternating current // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology*. N 1. P. 41-47. ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print) (in Eng.).
- [18] Kuznetsova O.G., Levin A.M., Tsybin O.I., Sevostyano M.A., Bryukin V.A., Bolshikh A.O. (2018) Effect of cathodic polarization on the Depassivation of Oxidized Nickel // *Russian Metallurgy (Metally)*. N 7. P. 651-654. DOI: 10.1134/S0036029518070078b (in Eng.).
- [19] He B., Wang D., Li J., Zhu D. (2019) Investigation of Pulsating Electrochemical Dissolution of Nickel in rotating processes // *Journal of The Electrochemical Society*. Vol. 166, N 12. 375 p. (in Eng.).
- [20] Nurdillayeva R.N., Bayeshov A.B., Sunatullayeva L.A., Zhylyabayeva G.N. (2019) Dissolution behavior of brass polarized by alternating current in sodium phosphate aqueous solution // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Chemistry and Technology*. N 3. P. 77-83. ISSN 2518-1491(Online), ISSN 2224-5286 (Print), DOI: 10.32014/2019.2518-1491.33 (in Eng.).
- [21] Nurdillayeva R.N., Kadirbayeva A. (2013) Investigation of the features of electrochemical dissolution of a Cobstantin electrode under alternating current polarization // *Chemical Bulletin of Kazakh National University*. N 1. P. 51-58 (in Eng.).
- [22] Nikitina E.V., Karfidov E.A., Kazakovceeva N.A. (2020) Anodic selective dissolution of copper alloys in chloride and carbonate melts // *Journal of Alloys and Compounds*, 845, 156238. DOI: 10.1016/j.jallcom.2020.156238 (in Eng.).
- [23] Karfidov E.A., Nikitina E.V., Kazakovtseva N.A., Babushkina L.M. (2020) Character of selective anodic dissolution. Influence of the Alloy Composition. *Russian Metallurgy (Metally)*. N 2. P. 127-132. DOI: 10.1134/s003602952002007x (in Eng.).
- [24] Anatolyevna P.E., Georgievna L.L., Dmitrievna F.T. (2014) Chemical methods of analysis (workshop on analytical chemistry). [Himicheskie metody analiza (proktikym po analiticheskoi himii)] <https://lib.nsu.ru/xmlui/handle/nsu/9271> (in Russ.).
- [25] Dudareva, G. N., Tuan, N. A. (2010) Photometric determination of Nickel with dimethylxime in the presence of iodine. [Fotometricheskoe opredelenie nikelia s dimetilglioksimom v prisystvii ioda] // *Bulletin of Irkutsk state technical University*. Vol. 4, N 44 (in Russ.).
- [26] Bayeshov A.B., Nurdillayeva R.N., Khabibullayeva Sh.H. (2019) Effect of the bromide ions on the titanium electrode dissolution polarized by alternating current in aqueous solutions // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology*. N 2. 434 p. ISSN 2518-491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print), DOI: 10.32014/2019.2518-1491.21 (in Eng.).

МАЗМҮНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

<i>Koleskin V.N., Yunusov A.A., Yunusova A.A., Shtern P.G., Lukyanova A.V., Zhumadullayev D.K., Ainakulova T.S., Bugibaev E.T.</i> The solving of the problem in the working zone. The numerical calculation of the model of the Nizhnekamsk reactor for the styrene production (part-3).....	6
<i>Yessenamanova M.S., Davaeva Ts.D., Sangadzhieva L.Kh., Tsombueva B.V., Sangadzhieva O.S., Yessenamanova Zh.S., Tlepbergenova A.E.</i> The content and distribution of trace elements in soils during the development of oil fields in the Republic of Kalmykia.....	14
<i>Yessenamanova M.S., Zhakyayeva D., Ryszhan A., Yessenamanova Zh.S., Tlepbergenova A.E., Pendashteh A.</i> Content of heavy metals in the sea water of the northern Caspian sea.....	22
<i>Kozhabekov S.S., Zhubanov A.A., Makhmetova A.R., Abaev T.B.</i> Modification of copolymers based on olefin and maleic anhydride as pour point depressant for waxy oils.....	30
<i>Nurdillayeva R.N., Abdilda N.Sh., Bayeshov A.B.</i> Electrochemical behavior of cupronickel electrode in acidic media.....	38
<i>Baeshov A.B., Sarbayeva G.T., Tuleshova E.Zh., Ozler M.A., Sarbayeva M.T.</i> Synthesis of thallium sulphate in a sulfuric acid solution at polarization by current.....	47
<i>Орынбасар Р.О., Аубакиров Е.А., Жумабекова А.К., Тастанова Л.К., Закумбаева Г.Д., Туктин Б.Т.</i> Сұйытылған мұнай газдарын моно- және биметалдық катализаторларда өңдеу.....	55
<i>(Orynassar R.O., Aubakirov Y.A., Zhumabekova A.K., Tastanova L.K., Zakumbayeva G.D., Tuktin B.T.)</i> Processing of liquefied petroleum gases over mono-and bimetallic catalysts)	
<i>Appazov N.O., Bazarbayev B.M., Assylbekkyzy T., Diyarova B.M., Kanzhar S.A., Magaiya S., Zhapparbergenov R.U., Akylbekov N.I., Duisembekov B.A.</i> Obtaining biochar from rice husk and straw.....	66
<i>Murzakassymova N.C., Bektenov N.A., Gavrilenko M.A.</i> Modified sorbents and their application for extraction of metal ions.....	75
<i>Khalmurzayeva B.A., Ismailkhodjaev B.Sh., Kuatbekova K.P., Alibekov R.S., Makhatova A.I., Meimanbaeva S.S.</i> Biochemical indicators and application of <i>Cyanobacteria Spirulina</i> microalgae in the cattle feedstuff.....	80
<i>Altayeva A.A., Surimbayev B.N., Bolotova L.S., Bagasharova Zh.T., Akilbekova Sh.K.</i> Study of gold extraction from stale tailings by agitation leaching.....	89
<i>Karmanovskaya N.V., Nosova O.V., Kaverzin A.V.</i> Public environmental monitoring of the state of snowpack in Norilsk.....	95
<i>Karmanovskaya N.V.</i> Public environmental monitoring of drinking water quality in the city of Norilsk.....	104
<i>Yessentay D.E., Kiyalbayev A.K., Kiyalbay S.N., Borisyuk N.V.</i> Substantiation of application of ANTI-ICE chemical reagents on automobile roads with cement concrete covering.....	112
<i>Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh., Galstyan A.G., Pryanichnikova N.S., Bigaeva A.V., Lazareva E.G., Kazakova V.S.</i> Technology of <i>Bovine leukemia virus</i> genodiagnosics in cattle, in produced raw materials and products.....	119
<i>Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh.</i> Real-Time PCR technology for cattle genotyping by <i>A</i> and <i>B</i> kappa-casein gene alleles.....	126
<i>Kruchinin A.G., Illarionova E.E., Bigaeva A.V., Turovskaya S.N.</i> Baromembrane technologies as a prospective alternative to vacuum evaporation in the dry milk production.....	133
<i>Shunekeyeva A.A., Alimardanova M.K., Majorov A.A.</i> Fruit-berry fillers in the production of kazakh national fermented milk drinks.....	139
<i>Takibayeva A.T., Amirchan A.A., Kalkenova A.T., Kulakov I.V.</i> Flavonoids of <i>Populus balsamifera</i> plants and their biological activity.....	147

III ДӘРЕЖЕЛІ
ДИПЛОМ

2021 жылы 12 сәуір күні «Ғылым қызметкерлері күні» аясында өткізілген
студенттер мен жас ғалымдардың «ҒҮЛҮМ ЖӘНЕ БІЛІМ -2021»
XVI Халықаралық ғылыми конференциясында маңызды
баяндама жасағаны үшін

Тоғиғас Н.Ш

МАРАПАТТАЛАДЫ



№ 01-2851
« 12 » 04 2021

Нұр-Сұлтан қаласы

