

**«6D072000-Бейорганикалық заттардың химиялық технологиясы»
мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған
Авчукир Хайсаның «Индийді электрхимиялық рафинирлеуді есептеу әдістерін қолдана
отырып жаңғырту» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына**

ШҚІР

1. Зерттеу тақырыбының өзектілігі және оның жалпы ғылыми, мемлекеттік бағдарламалармен байланысы

ТМД-да индий өндірісімен айналысатын «УГМК-Холдинг» жылына 6-10 тонна индий өндіретіні, және «УГМК-Холдинг» өндіріске қажетті мырыш шикізатының 40%-дан астамын Қазақстан Республикасының территориясынан импорттайтынын ескерсек, бұл елімізде сирек металдар өндірісін дамытуға түрткі бола алатындай өзекті мәселе. Соңғы уақытта тазалығы төмен индий бағасы килограммына 700 АҚШ доллары деңгейінде екенін ескерсек, оны ары қарай тазарту арқылы бағасы одан төрт-бес есе қымбат өнім алу экономикалық қызығушылық тудыратыны сөзсіз.

Қазіргі таңда, тазалығы жоғары металдарды алудың сан түрлі әдістері белгілі. Кешенді, физикалық-химиялық әдістердің негізгі кемшіліктері өнімнің жоғары өзіндік құны және төмен өнімділік. Өткен ғасырда жасалған амальгамалық әдістер тазалығы 99,999% индий алуға мүмкіндік берген, бірақ бұл қазіргі жартылай өткізгіштер (ТГО) өндірісі үшін жеткіліксіз тазалық. Сонымен қатар, аса таза индий алуда экологиялық таза әдістерді дамыту маңызды мәселе және бұл сала әліде даму үстінде. Қатты катодтарды қолдана отырып зиянсыз электролиттерден индийді бөліп алу мен рафинирлеудің электрхимиялық әдістері өзінің қарапайымдылығымен, арзан болуымен және автоматтандыру мүмкіндігінің жоғары болуымен ерекшеленеді. Сол себепті, индийдің электрхимиялық тотықсыздану және анодтық еруін терең зерттей отыра, электролиз шарттарын оптимизациялау нәтижесінде таза өнім алу жоғары ғылыми қызығушылық тудыратын мәселе.

Диссертациялық жұмыс әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, аналитикалық, коллоидтық химия және сирек элементтер технологиясы кафедрасының ғылыми-зерттеу жоспары бойынша және ЕМК «Зерттеу мен талдаудың физикалық-химиялық әдістері орталығының» келесі жобалары аясында орындалған:

- 1) «Қаралаш индийді электрохимиялық рафинирлеуді зерттеу мен модернизациялау», №1580/ГФ4, 2015-2017 жж;
- 2) «Қазақстанның полиметалды және техногенді шикізатынан таза индийді электрохимиялық жолмен алудың технологиясы мен тәжірибелік-өнеркәсіптік қондырғысын өңдеу», №0139/ПЦФ, 2015-2017 жж.

2. Ғылыми нәтижелер және олардың негізделуі

Диссертациялық жұмыста келесідей маңызды нәтижелер алынған:

- 1) Импеданстық өлшеулер нәтижесі индийдің тотықсыздануы химиялық-электрохимиялық механизм арқылы жүзеге асатыны көрсетілген, оны Геришер импедансының

– гомогенді химиялық реакция импедансының бар болуы білдіреді. Индийдің электрхимиялық тотықсыздануы катионоактивті хлоридтік комплекстердің тотықсыздану арқылы жүреді.

2) Индийдің электрхимиялық тотықсыздануының масса тасымалдану сатысының жылдамдық константасы $1,3 \times 10^{-4}$ см/с құрайды. Импеданстық өлшеулер нәтижесінде есептелінген заряд тасымалдану сатысының жылдамдық константасы $3,06 \times 10^{-3}$ см/с-ке тең.

3) Платина, шыны көміртек, титан электродтарында индийдің тотықсыздануы зерттелінген. Титан электродында индийдің электрхимиялық тотықсыздануының заряд тасымалдану сатысының жылдамдық константасы мен масса тасымалдану сатысының жылдамдық константасы мәндері, сәйкесінше: $1,2 \times 10^{-3}$ см/с және $4,5 \times 10^{-4}$ см/с-ті құраған.

4) Тығыз катодтық индий алу мақсатында индий құрамында тетрабутиламмоний бар хлорид электролиттен шыны көміртегі электродында электрхимиялық тұндырылған. Тетрабутиламмоний хлориді 10^{-4} М концентрацияда тегістеуші әсер беретіні және реакцияның активтену энергиясын 17 кДж/моль-ге арттыратыны анықталған. Поляризация мәні 310 мВ-та, 10^{-4} М тетрабутиламмоний хлориді қатысында катодтық индийдің кристалдық орталықтарының орташа радиусы 12,5 мкм-ден 5,7 мкм-ге төмендеп, катодтық индий тығыздығы артатыны тәжірибелік анықталған.

5) Электролизер құрылысын оңтайландыруға, электролиз шарттарын таңдауға мүмкіндік беретін индийді рафинирлеу электролизерінің симуляциялық моделі COMSOL Multiphysics бағдарламасында құрастырылған.

6) Түрлендірілген индий анодын қолдану нәтижесінде электрхимиялық рафинирлеу арқылы алынған катодтық индий тазалығы артып, тазалығы жоғары - 99,99989% индий алынған.

3. Ізденушінің диссертацияда тұжырымдалған әрбір ғылыми нәтижелерінің тұжырымдары мен қорытындыларының негізделу және шынайылық дәрежесі

Авчукир Хайсаның диссертациялық жұмыс аясында алған нәтижелері «Ғылыми дәрежелерді тағайындау ережелерінің» 2, 5, 6 тармақтарына толығымен сәйкес келеді. Алынған нәтижелер диссертациялық жұмыстың мақсаты, міндеттерге толықтай жауап береді. Диссертациялық жұмыс жетілдірілген теориялар мен модельдерді сауатты қолданылуымен, нәтижелерді математикалық өңдеу деңгейінің жоғарылығымен және бүгінгі таңда өзекті болып табылатын практикалық мәселені шеше алуымен ерекшеленеді.

Жұмыстың шынайылық дәрежесі күмән келтірмейді, диссертант жаңа, маңызды нәтижелер ала білген, әрі диссертация нәтижелері халықаралық журналда рецензиядан өтіп, мақала түрінде жарық көрген. Сонымен қатар, халықаралық конференцияларында баяндама жасауда сыннан өткен, бұл диссертанттың электрхимия саласы бойынша жоғары біліктілігін көрсетеді. Алынған нәтижелер мен жасалынған қорытындылар сенімділігі күмән туғызбайды, барлық бөлімдердің мазмұны толық ашылған.

4. Ізденушінің диссертацияда тұжырымдалған әрбір ғылыми нәтижесі (қағидасы) мен қорытындысының жаңалық дәрежесі

Ізденуші ғылыми-зерттеу нәтижесінде диссертациясында келесідей жаңа нәтижелер ұсынған:

1) Импеданстық спектроскопия әдісімен индийдің сулы электролиттерден электрхимиялық тотықсыздануының жылдамдық константалары есептелініп, реакцияның лимиттеуші сатысы және индийдің электрхимиялық тотықсыздану механизмі анықталған.

2) Электрхимиялық нуклеация сатысы зерттелініп, тетрабутиламмоний хлоридінің индийдің дендрит түзуін тежеу қабілетіне ие екендігі, оның аз концентрациясында тығыз, сапалы индий алуға мүмкіндік беретіні табылған.

3) Алғаш рет протондалған бетаин бис-(трифторметилсульфонил) имидазид иондық сұйықтығынан индийдің электрхимиялық тұндырлуы зерттелінген.

4) Депрессорлық қоспа - висмуттың In анодтық еруін жылдамдатып, анодтық асқын кернеуді төмендететіндігі анықталған.

5) COMSOL Multiphysics бағдарламасында индийді рафинирлеудің симуляциялық моделі жасалынған.

6) Электролиз арқылы тазалығы Ин000 маркасына сәйкес келетін металдық индийді алудың әдісі жасалынған.

5. Ғылыми нәтижелердің практикалық және теориялық маңызы

Жұмыстың теориялық маңыздылығы - индийдің электрхимиялық тотықсыздану кинетикасына әр түрлі факторлар: электролит құрамы, беттік активті зат – тетрабутиламмоний хлориді әсері мен электрод материалы табиғатының әсері терең зерттелініп, кинетикалық сипаттамалар алынуында деуге болады. Кинетикалық мәліметтер индийді электрхимиялық рафинирлеудің симуляциялық моделін жасауда сауатты пайдаланылған. Диссертация нәтижелерінің шашыраңқы және сирек металдар электрхимиясының дамуына үлес қосары сөзсіз.

Жұмыстың тәжірибелік маңыздылығы – Қазақстанда өндірілетін Ин-2 маркалы тазалығы төмен индийді электрхимиялық рафинирлеу арқылы Ин000 маркалы индий өндірудің диссертациялық жұмыста ұсынылған әдісі жаңа және ары қарайғы коммерцияландыру потенциалы жоғары деп есептеймін.

Диссертация бойынша ұсыныстар мен кемшіліктер

Диссертациялық жұмыстың мазмұнын, теориялық және ғылыми-практикалық құндылығын еш төмендетпейтін келесідей ескертулер келтіруге болады:

1) 57 бетте, индийдің әртүрлі электродтарда тотықсыздану асқын кернеуі мен электрод материалының электроннан айрылу, электрон шығу (работа выхода электронов) энергиясы арасында корреляцияның барлығы айтылады. Үш түрлі қатты электрод: платина (5,9 эВ), шыны көміртегі (5 эВ), титан (4,3 эВ) мысалға келтіріліп, осы қатар бойынша аталған электродтарда индийдің электрхимиялық тотықсыздануының асқын кернеуінің кемітіндігі көрсетілген. Бұл жерде, индий электродын да қоса қарастыру керек деп есептеймін, себебі осылардың арасынан электрон шығу жұмысы ең кіші ол индий (3,6 эВ) және индий электродындағы индийдің тотықсыздану асқын кернеуінің ең кіші болатыны айтпаса да түсінікті.

2) 38 бет, 10-суреттегі Найквист қисығынан $[In^{3+}]/[Cl^-]$ қатынасы мәні төмендеген сайын гомогенді химиялық реакция – комплекс түзі реакциясына жауап беретін Геришер импедансының, Геришер импедансына сәйкес келетін «екінші доғаның» (49,4 Гц - 2,9 Гц аралығы) анық байқалатынын көруге болады. Бұл фондық электролит концентрациясы ($[Cl^-]$) тұрақты болған жағдайда, In^{3+} концентрациясы төмендеген сайын комплекс түзу реакциясының толық жүретіндігін көрсетеді. Сонымен қатар, Геришер импедансының сан мәнін пайдаланып, гомогенді химиялық реакцияның тепе-теңдік константасы мәнін есептеуге болады.

3) Жұмыста индийді электрхимиялық тұндыру электролитіне 10^{-4} М концентрацияда тетрабутиламмоний қосу тығыз, сапалы катодтық индийді алуға мүмкіндік береді деп қорытындыланған. 96 бет, 48-суретте индийдің негізгі электролиттен және ТБАХ ерітіндіден бірдей уақытта тұндырылған катодтық қаптамасының салыстырмалы SEM суреттерінен сонғысында тұндырылған индийдің мөлшері аз екенін байқауға болады. ТБАХ қосу нәтижесінде процестің шығымын есептеген дұрыс болар еді.

4) Тазартылған катодтық индий құрамы ICP-OES және ICP-MS әдістерімен анықталған. Тазалықты анықтау қаншама сынаманы зерттеу арқылы жүргізілген және статистикалық өңдеу жасалған ба?

5) Диссертациялық жұмыста формулалар кей жерде суреттер ретінде келтірілген, кейде номерленген, кейде номерленбеген. Бірыңғай номерленгені дұрыс.

6) Диссертациялық жұмыс мәтінінде грамматикалық қателіктер көптеп кездеседі.

6. Ғылыми дәрежелерді беру ережелерінде көрсетілген талаптарға диссертация мазмұнының сәйкестігі

Авчукир Хайсаның «6D072000 – Бейорганикалық заттардың химиялық технологиясы» мамандығы бойынша философия ғылымдарының докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған «Индийді электрхимиялық рафинирлеуді есептеу әдістерін қолдана отырып жаңғырту» тақырыбындағы диссертациялық жұмысы тәжірибелік зерттеулер көлемі, әдістемелік деңгейі, алынған мәліметтердің жаңалығы, маңыздылығы, қазіргі кездегі өзекті мәселені шешуге мүмкіндік береді және «6D072000 – Бейорганикалық заттардың химиялық технологиясы» мамандығына сәйкес келеді. Диссертациялық бөлімдердің ішкі бірлігі мен байланысы сақталынған, жұмыс түсінікті жазылған, Қазақстан Республикасының БҒМ білім беру және ғылым саласындағы бақылау және аттестация комитетінің «Ғылыми дәрежелерді тағайындау ережелерінің» талаптарына толықтай сай келеді, ал оның авторы Авчукир Хайса «6D072000 – Бейорганикалық заттардың химиялық технологиясы» мамандығы бойынша философия ғылымдарының докторы (PhD) дәрежесін алуға толыққанды лайықты деп есептеймін.

Назарбаев Университетінің
Инженерия және цифрлық ғылымдар
мектебі, химия және материалтану
кафедрасының ассистент профессоры, PhD



А. Ментбаева