ՀՀ ԳԱԱ Ա.Բ. ՆԱԼԲԱՆԴՅԱՆԻ ԱՆՎԱՆ ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ԳԵՎՈՐԳ ՎԱՐԴԱՆ ԱՆՈՒՇԱՎԱՆԻ

ԲՈՔՍԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻՑ ԱԼՅՈՒՄԻՆԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԱՌԱՋԱՑՈՂ ԱՐՏԱԴՐԱԿԱՆ ԹԱՓՈՆՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ ՕԳՏԱՀԱՆՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Բ.00.04 - «Ֆիզիկական քիմիա» մասնագիտությամբ
քիմիական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ - 2023

ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ им. А.Б. НАЛБАНДЯНА НАН РА

ГЕВОРГ АНУШАВАНОВИЧ ВАРДАН

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗ БОКСИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук по специальности
02.00.04 - «Физическая химия»

ЕРЕВАН - 2023

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ա.Բ. Նալբանդյանի անվան Քիմիական Ֆիզիկայի Ինստիտուտում

Գիտական ղեկավար՝ քիմ. գիտ. թեկնածու Գ.Ա. Մարտոյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ քիմ. գիտ. դոկտոր Պ .Ս. Ղուկասյան

Տեխ. գիտ. դոկտոր Ս.Գ. Աղբալյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Մ.Գ. Մանվելյանի անվան ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2023թ. Սեպտեմբերի 20-ին ժ.14:30 ՀՀ ԳԱԱ Ա.Բ.Նալբանդյանի անվան Քիմիական Ֆիզիկայի ինստիտուտում գործող ՀՀ ԲՈԿ-ի 017 «Քիմիա» մասնագիտական խորհրդի նիստում (0014 Երևան, Պ. Սևակի փ. 5/2)
Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ Ա.Բ.Նալբանդյանի անվան Քիմիական Ֆիզիկայի ինստիտուտում
Սեղմագիրն առաքված է 2023թ. օգոստոսի 8-ին
017 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,
ֆիզ.-մաթ. գիտությունների թեկնածու Հ.Պ. Սարգսյան

Тема диссертации утверждена в Институте химической физики имени А.Б. Налбандяна НАН РА

Научний руководитель канд. хим.наук Г.А. Мартоян

Официальные оппоненты док. хим. наук П.С. Гукасян

: док. тех. наук С.Г. Агбалян

Ведущая организация Институт общей и неорганической химии имени М.Г. Манвеляна НАН РА

Защита диссертации состоится 20 сентября 2023г. в 14:30 часов на заседании Специализированного совета 017 ВАК РА «Химия» при Институте Химической физики им. А.Б. Налбандяна НАН РА (0014, Ереван, ул. П.Севака 5/2).
С диссертацией можно ознакомиться в Институте Химической физики им. А.Б. Налбандяна НАН РА
Автореферат разослан 08 августа 2023 г.
Ученый секретарь специализированного совета 017,
кандидат физ.-мат. наук Г.П. Саркисян

Թեմայի արդիականությունը

Կարմիր տիղմը (ԿՏ) Բայերի մեթոդով բոքսիտների վերամշակման խոշոր տոննաժային թափոն է: Բոքսիտից ստացված 1 տոննա ալյումինի օքսիդ ստանալու դիմաց առաջանում է 1,1–1,2 տոննա կարմիր տիղմ, որը պարունակում է ալյումինի թերարդյունահանված քանակություն՝ ներառված ալկալային հիդրոալյումինա-սիլիկատներում, չվերականգնվող օքսիդներ և երկաթի հիդրօքսիդներ, հազվագյուտ մետաղների միացություններ՝ տիտան, ցիրկոնիում, սկանդիում, հազվագյուտ հողային տարրեր, սիլիցիումի, կալցիումի, մագնեզիումի, մնացորդային ազատ ալկալիների և մի շարք այլ բաղադրիչներ: Համալիր վերամշակման բացակայության դեպքում տիղմը դեռևս թափվում է պոչամբարներ՝ զբաղեցնելով մեծ տարածքներ և ստեղծելով էական խնդիրներ շրջակա միջավայրի համար: Միաժամանակ կուտակված կարմիր տիղմի ծավալով դրանցում որոշ արժեքավոր բաղադրիչների պարունակությամբ, օրինակ՝ սկանդիումը՝ 90÷120 գ/տ, դրանք կարելի է համարել այս հազվագյուտ տարրի տեխնածին հանքավայրեր: Այս առումով կարևոր է կարմիր տիղմի համալիր վերամշակումը դրանցից բոլոր արժեքավոր բաղադրիչների արդյունահանմամբ և դրանց վերածելով պահանջված արտադրանքի, որոնք սպառվում են տարբեր արդյունաբերություններում և տեխնոլոգիաներում՝ թույլ տալով միաժամանակ լուծել շրջակա միջավայրի պահպանության խնդիրներ: ԿՏ-ի համալիր մշակմանն ուղղված արդիական մոտեցումները նախ պետք է ապահովեն շրջակա միջավայրի անվտանգությունը արտադրական թափոններից և երկրորդ՝ բարձրացնեն ԿՏ-ից արժեքավոր միկրոբաղադրիչների՝ հիմնականում հազվագյուտ մետաղների միացությունների, ինչպես նաև մակրոբաղադրիչների (Al, Fe, Si, Ca, Mg, Na և այլն) արդյունահանման տնտեսական արդյունավետությունները:

Այս աշխատանքի ուսումնասիրության թեման հանդիսանում է ֆիզիկաքիմիական մեթոդների կիրառմամբ ԿՏ-ի համալիր մշակման արդիական մոտեցում առաջարկելը՝ դրանից բոլոր օգտակար բաղադրիչների կորզման

հնարավորություններով և վերջնարդյունքում ստացվող թափոնը շրջակա միջավայրի համար անվտանգ դարձնելը:

Խնդրի մշակվածության աստիճանը

ԿՏ-ից հազվագյուտ մետաղների կորզման և այն անվտանգ դարձնելու ուղղությամբ մեթոդի արդյունավետությունը բարելավելու համար կատարվել են բազմաթիվ աշխատանքներ: Սակայն ներկայումս առկա եղանակներով դեռևս չի ապահովվում արդյունահանման անհրաժեշտ մաքրություն և խորություն, չկա նաև գործընթացի լավարկման համար մոդելավորման հիմնարար մոտեցումներ՝ պայմանավորված գործընթացը կառավարող պարամետրերի միջև փոխադարձ կախվածությունների բացակայությամբ: Առանձին դեպքերում լաբորատոր հետազոտությունները ցույց են տալիս հեռանկարային արդյունքներ, սակայն դեռևս արդյունաբերական մակարդակի դրանք չեն հասցվել:

Հետազոտության նպատակը

Աշխատանքի նպատակն է ֆիզիկա-քիմիական հենքով կառավարմամբ էլեկտրամեմբրանային եղանակով ԿՏ-ի համալիր վերամշակման տեխնոլոգիական սխեմայի տեսական և փորձնական մշակումը՝ օգտակար մետաղների արդյունահանման և վերջնանյութ հանդիսացող թափոնը շրջակա միջավայրի համար անվտանգ դարձնելու համար:

Հետազոտության առարկան

Աշխատանքը նվիրված է էլեկտրամեմբրանային գործընթացներում իոնների ընտրողականության բարձրացմանը՝ կիրառվող էլեկտրական դաշտի ծրագրային ղեկավարման միջոցով: Այն ներառում է մետաղների բաժանման և հարստացման խնդիրներում հեռանկարային համարվող էլեկտրամեմբրանային համակարգերը, մասնավորապես՝ մեմբրանային էլեկտրադիալիզարարները, էլեկտրալիզարարները:

Աշխատանքն իրականացվել է “Էկոատոմ” գիտահետազոտական ընկերությունում:

<u>Հետազոտության հիմնական խնդիրները</u>

Էլեկտրամեմբրանային համակարգերում քիմիական տարրի արդյունավետ բաժանման համար, որտեղ հիմնական տարբերակիչ հատկանիշը տարբեր իոնների էլեկտրոնային բնութագրիչներն (էլեկտրոդային և մեմբրանային պոտենցիալներ, օքսիդացման աստիճանը և այլն) և զանգվածներն են՝ մասնիկների տեղափոխման արագություններն ուժեղացնելը գործընթացում կարելի է անել էլեկտրական դաշտի պարամետրերի նպատակային ղեկավարման միջոցով:

Հետազոտության նպատակին հասնելու համար անհրաժեշտ է եղել լուծել հետևյալ խնդիրները.

1. Ուսումնասիրել առանձին քիմիական տարրերի մեմբրանային բաժանումների ուղղությամբ կատարված համաշխարհային փորձը և այն օգտագործել նոր էլեկտրաքիմիական բջջի նախագծման ժամանակ: Տեսական հետազոտությունների միջոցով բացահայտել էլեկտրա-մեմբրանային բջիջների կառուցվածքային առանձնահատկությունները և իոնների տեղափոխման համար անհրաժեշտ արդյունավետ կառավարման պարամետրերը էլեկտրամեմբրանային գործընթացում:

2. Կատարված հետազոտությունների արդյունքում կատարել նոր կառուցվածքային փոփոխություններ էլեկտրադիալիզարարներում՝ այն դարձնելով ավելի արդյունավետ և ղեկավարելի իոնների ընտրողական տեղափոխությունների համար:

3. Պատրաստել էլեկտրադիալիզարարի փորձարարական նմուշ և դրա միջոցով ապահովել սկանդիումի կորզման գործընթացը, տեսական և գործնական մեթոդներով որոնել բաժանմանը նպաստող արդյունավետ ուղիները:

4. Հետազոտել արդյունավետ ուղիների իրականացմանն ուղղված գործնական քայլերը, ինչի համար նախ ֆիզիկա-քիմիական հետազոտությունների հիման վրա որոշել գործընթացի իրականացման համար ղեկավարող պարամետրերը, ապա դրանց ծրագրային փոփոխման ռեժիմները:

<u>Հետազոտության գիտական և գործնական նշանակությունը</u>

Գիտական հետազոտությունների հիման վրա մշակվել են ԿՏ-ից սկանդիումի խտանյութի ստացման և դրանից բարձր մաքրության սկանդիումի օքսիդի ստացման տեխնոլոգիական սխեմա և աշխատանքային ռեժիմները:

Նմանապես մշակվել է տեխնոլոգիական սխեմա էլեկտրամեմբրանային եղանակով ԿՏ-ից տիտանի, երկաթի և կաուստիկ սոդայի կորզման, նաև կաուստիկ սոդայի մինչև 30% հարստացման համար, ինչը նաև հնարավորություն է տալիս էականորեն անվտանգ դարձնել վերջնական թափոնը:

Կատարված հետազոտությունների արդյունքները կարևոր ներդրում են էլեկտրոմեմբրանային գործընթացներում ԿՏ-ում առկա մետաղների բաժանման մարտավարությունների ընտրությունների համար և կարող են օգտակար լինել նաև այլ քիմիական տարրերի բաժանման դեպքերում:

Հետազոտությունների ընթացքում՝

- Մշակվել է էլեկտրադիալիզատորի նոր նմուշ, որը հնարավոր է դարձնում կատարելով էլեկտրական դաշտի նպատակային փոփոխություններ՝ բարձրացնել մետաղների իոնների բաժանման արդյունավետությունը,

- Բարդ էլեկտրամեմբրանային համակարգի համար տեսական հետազոտությունների հիման վրա որոշվել է էլեկտրամիգրացիան արագացնող պարամետրերի միջև փոխադարձ կապերը:

<u>Հետազոտության անցած փորձաքննությունը</u>

Ատենախոսության հիմքում ընկած գիտական աշխատանքները 13-ն են, որոնցից 8-ը տպագրված են գրախոսվող ամսագրերում:

Հետազոտության հիմնական արդյունքները պարբերաբար զեկուցվել են «Էկոատոմ» ընկերության և ՀՀ ԳԱԱ ՔՖԻ-ի սեմինարներում, ինչպես նաև միջազգային գիտական կոնֆերանսներում (Երևան, Տոմսկ, Մոսկվա, Մինսկ):

<u>Հետազոտության հավաստիությունը</u>

Հետազոտության հավաստիությունն ապահովված է՝

- Հիմնահարցի վերաբերյալ տեսական և փորձարարական աշխատանքների արդյունքների վերլուծություններով:

- Սկանդիումի մաքրության աստիճանը և առաջարկված մեխանիզմի արդյունավետությունը գնահատվել է ինդուկցիոն կապված պլազմայով մաս-սպեկտրաչափի (ԻԿՊ-ՄՍ) միջոցով:

- Առաջարկվող եղանակի փորձարարական ստուգմամբ, արդյունքների քանակական և որակական ցուցանիշների համեմատությամբ ու վերլուծությամբ այլ եղանակների հետ (ըստ էներգոտարության, անջատման խորության, ստացվող քիմիական տարրերի մաքրության և մասշտաբների մեծացման հնարավորության):

<u>Պաշտպանության ներկայացվող դրույթները</u>

1. Սկանդիումի իոնների արդյունավետ բաժանումը ԿՏ-ից և հարստացումը էլեկտրամեմբրանային համակարգում:
2. Ծրագրային կառավարման իրագործումն էլեկտրական դաշտի այնպիսի նպատակային փոփոխությունների միջոցով, որի շնորհիվ էականորեն մեծանում է անհրաժեշտ իոնների ընտրողական անջատումը խիստ հիմնային ԿՏ-ից:
3. Համակարգում իոնների էլեկտրամիգրացիայի մոդելավորման հնարավորությունների ստեղծում:
4. Էլեկտրամեմբրանային համակարգում զգայուն պարամետրերի հայտնաբերումը և դրանց միջոցով հազվագյուտ մետաղների կորզման գործընթացի ղեկավարումը:

5. Ինվարիանտության սկզբունքի կիրառմամբ էլեկտրամեմբրանային համակարգում իոնների միգրացիան պայմանավորող պարամետրերի միջև փոխադարձ կախվածությունների բացահայտումը:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլխից՝ յուրաքանչյուրը ներկայացված կետերով, ենթակետերով, 24 նկարներից, 8 աղյուսակներից, եզրակացությունից, գրականության ցանկից (204-անուն), ընդհանուր ծավալը՝ 112 էջ:

Աշխատանքի նորարարությունը

Առաջարկվել է ԿՏ-ի համալիր մշակման էլեկտրամեմբրանային եղանակ՝ դարձնելով տիղմը էականորեն ավելի անվտանգ շրջակա միջավայրի համար:

Մշակվել են ԿՏ-ից մինչև 80% սկանդիումի էլեկտրամեմբրանային եղանակով արդյունահանման համար ֆիզիկական և քիմիական հիմքերը:

Պայմաններ են ստեղծվել ԿՏ-ից ալյումինումի, երկաթի և տիտանի կորզման և հարստացման համար:

Առաջարկվել է իոնների ընտրողական բաժանման և մոնոհարստացման նոր էլեկտրամեմբրանային եղանակ և դրա իրականացման ուղիները: Վ.Համբարձումյանի ինվարիանտության սկզբունքի կիրառմամբ ստացվել է էլեկտրամեմբրանային համակարգում իոնների միգրացիան պայմանավորող պարամետրերի միջև փոխադարձ կախվածություններ, ինչը թույլ է տալիս առանց բարդ համակարգում իոնների տեղափոխման հավասարումները լուծելու գաղափար կազմել գործընթացի մասին և անհրաժեշտության դեպքում նաև կատարել աշխատանքային պայմանների և ռեժիմների լավարկում:

Ատենախոսության համառոտ բնութագիր

Ներածությունում հիմնավորվել է թեմայի արդիականությունը, ներկայացված են հետազոտության առարկան, նպատակն ու խնդիրները, տեսական և մեթոդաբանական հիմքերը, գիտական նորույթը և ստացված արդյունքների գործնական ու կիրառական նշանակությունը:

Առաջին գլխում նկարագրված է կարմիր տիղմի (ԿՏ) առաջացրած խնդիրները, այդ խնդիրները տնտեսապես արդյունավետ կերպով լուծելու անհրաժեշտությունը, քննարկվել են ԿՏ-ի մշակման գործող մեթոդները:

ԿՏ-ի պոչամբարների հիմնական նյութերի և հազվագյուտ ներառյալ հողհազվագյուտ տարրերի տիպիկ կազմերը և պարունակությունները բերված են աղյուսակ. 1, 2-ում:

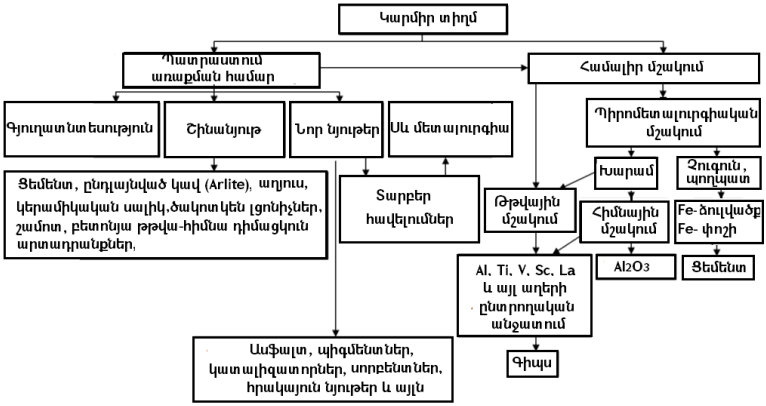
Աղ.1. ԿՏ-ում հիմնական տարրերի կազմը (%)

Fe_2O_3	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	TiO_2	S	P_2O_5	Na_2O
40-55	8-11	5-15	14-16	0.5-1.4	2-5	<2	0.2-0.5	<2

Աղյուսակ 2. ԿՏ-ում հազվագյուտ ներառյալ հողհազվագյուտ տարրերի կազմը:

Տարր	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni
Պարունակ.(գ/կգ)	0,019	24,298	0,278	0,152	2,974	0,078	0,303
Տարր	Zn	Ge	Ga	As	Y	Mo	Cd
Պարունակ.(գ/կգ)	0,236	0,006	0,032	0,031	0,002	0,002	0,001

Աղյուսակներից երևում է, որ ԿՏ-ն տնտեսապես օգտահանելու համար՝ հիմնական մետաղներից զատ պետք է կորզվեն նաև հազվագյուտ տարրերը, ինչը կամ չի արվում, կամ արվում է մասամբ: Ստորև նկար 1-ում ներկայացված են ԿՏ-ի մշակման գործող տարբերակների մեկ միասնականության մեջ ներկայացնելու փորձ՝ ապահովելու համար թափոնի համալիր մշակումը, սակայն այս ծրագիրը դեռևս ունի խնդիրներ տնտեսական արդյունավետություն ապահովելու տեսակետից:



Նկար 1. ԿՏ-ի մշակման գործնականում կիրառվող մեթոդներ

Ներկայումս առաջարկվել են զգալի թվով տեխնոլոգիական սխեմաներ, որոնք հնարավորություն են տալիս իրականացնել ինչպես ԿՏ-ի համալիր վերամշակում, այնպես էլ դրանց մասնակի վերամշակում՝ ԿՏ-ի բաղադրիչներից առանձին պահանջված արտադրանք ստանալու համար: ԿՏ-ի համալիր մշակումը հիմնականում հիմնված է հրամետաղագործական և հիդրոմետաղագործական մեթոդների համադրության վրա, որը դժվարություններ է առաջացնում մեկ տեխնոլոգիական տեղամասի հիման վրա նման սխեմաների իրականացման համար:

Հրամետաղագործական մեթոդը հիմնականում օգտագործվում է ԿՏ-ի հիմքը կազմող որոշ բաղադրիչների արդյունահանման համար՝ Fe, Al, Ti, Si: ԿՏ-ի հիմնական բաղադրիչը երկաթի օքսիդն է, որը սովորաբար հեռացվում է Մարտենյան վառարանում հալման ընթացքում ածուխով վերականգնելու միջոցով: Այս գործընթացից հետո ստացվում է երկաթի խտանյութ, տիտան և ալյումինի օքսիդ պարունակող արտադրանք:

ԿՏ-ի մշակման հիդրոմետաղագործական մեթոդներն առաջարկում են հանքային և օրգանական թթուների, աղերի և հիմքերի ջրային լուծույթների օգտագործումը ԿՏ-ից դրա գրեթե բոլոր բաղադրիչները հանելու համար: Գրականության մեջ ԿՏ-ի մշակման առաջարկվող հիդրոմետաղագործական մեթոդներից նախապատվությունը տրվում է ալկալային-կարբոնատային մեթոդներին, որոնք ի տարբերություն թթվայինների, թույլ են տալիս նվազեցնել նախնական ռեակտիվների սպառումը ԿՏ-ի մշակման համար և ամենա անվտանգն են շրջակա միջավայրի համար:

ԿՏ-ի մշակման հեռանկարային եղանակ է էլեկտրամեմբրանային տեխնալոգիաների, մասնավորապես էլեկտրալիզարարների, կիրառումը հազվագյուտ մետաղների կորզման համար: Այստեղ հարկ է նշել, որ էլեկտրադիալիզի գործընթացը նույնպես համընդհանուր լուծում չէ մետաղների թե մաքրման, և թե կորզման խնդիրների լուծման ժամանակ: Յուրաքանչյուր մետաղի ընտրողաբար կորզման, կամ խառնուրդ տարրերից ազատվելու համար անհրաժեշտ է ֆիզիկա-քիմիական եղանակների ընդգրկմամբ առանձին մոտեցում՝ գործընթացների նպատակային ղեկավարման համար: Գործընթացի ղեկավարում ասելով պետք է նկատի ունենալ ինչպես էլեկտրադիալիզարարում կառուցվածքային փոփոխություններ իրականացնելու անհրաժեշտությունը, այնպես էլ գործընթացի վրա ազդող արտաքին պարամետրերի (կիրառվող էլեկտրական լարում, էլեկտրական լարման իմպուլսների տեսքը, հաճախությունը, էլեկտրոլիտի հոսքի արագություն և այլն) միջոցով նպատակային միջամտությունը, ինչը կարող է կատարվել միայն Էլեկտրադիալիզի գործընթացում հիմնական պարամետրերի միջև փոխադարձ կապերի բացահայտմամբ:

Սկանդիումը կարմիր տիղմի կարևոր բաղադրիչներից է, որի արդյունահանումը կարմիր տիղմից բարդ տեխնոլոգիական խնդիր է: Ներկայումս աճում է սկանդիումի սպառումը, ինչը պահանջում է ԿՏ-ից դրա տարբեր միացությունների տեսքով կորզումը:

Կարմիր տիղմից սկանդիումի կորզման հիդրոմետաղագործական տարածված եղանակներից են ծծմբաթթվային և աղաթթվային տարրալվացումները: H_2SO_4 օգտագործումը հնարավորություն է տալիս մշակել գրեթե ցանկացած ԿՏ-ի լուծույթից հազվագյուտ մետաղների արդյունահանման բարձր աստիճան: HCl–ի համեմատ, այն ավելի քիչ քայքայիչ է սարքավորումների նյութերի մշակման համար և չի պահանջում հատուկ միջոցներով մակերեսների պատում: Սակայն պետք է նշել, որ ԿՏ-ի լուծույթից թթվային եղանակների կիրառումը տնտեսապես ձեռնտու է միայն փոքր քանակությունների մշակման ժամանակ: Դա բացատրվում է նրանով, որ ԿՏ-ն խիստ հիմնային միջավայր է, իսկ այս դեպքում թթուների մեծաքանակ ծախսերը արդարացված չեն:

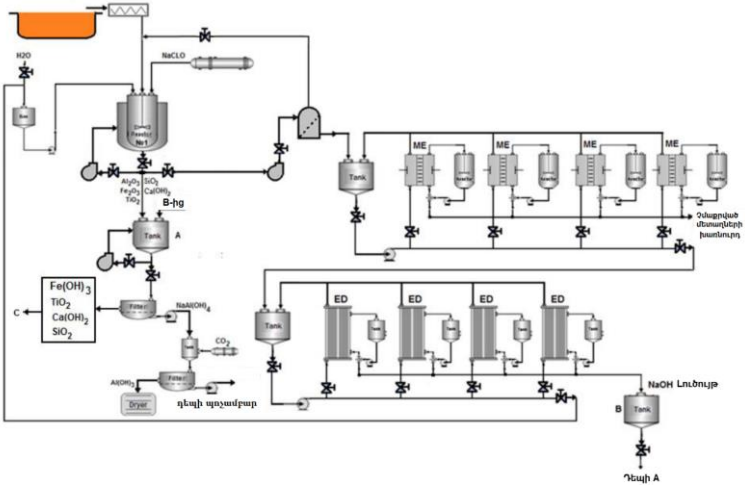
Ամփոփելով ներկայումս ԿՏ-ի վերաբերյալ կատարված աշխատանքների վերլուծությունը արձանագրվել է, որ՝ Բայերի եղանակով ալյումինի օքսիդի արտադրության թափոն ԿՏ-ը իրենից ներկայացնում է բարդ տեխնոգեն նյութերի խառնուրդ, որը պարունակում է մի շարք արժեքավոր բաղադրիչներ, այդ թվում՝ երկաթ, ալյումին, տիտան, հազվագյուտ հողային մետաղներ: Աշխարհում առկա է

մոտ 5 մլրդ տոննա կարմիր տիղմերի կուտակում, նրանք մեծ վտանգ են ներկայացնում շրջակա միջավայրի համար: Դրանց վերամշակումից առավելագույն բնապահպանական և տնտեսական արդյունք կարող է ստացվել միայն նոր թափոնների առաջացմանը չհանգեցնող բարձր արտադրողականություն ունեցող համալիր տեխնոլոգիաների օգտագործման դեպքում: Միևնույն ժամանակ, ԿՏ-ի միայն համալիր մշակումը թույլ կտա օգտահանել այդ թափոնում պարունակվող բոլոր բաղադրիչները, թույլ տալով լուծել կարմիր տիղմի խնդիրը և թունավոր թափոնները վերածել սպառվող առևտրային արտադրանքի: Այս նպատակը համալիր կերպով իրագործելու համար անհրաժեշտ է նոր մոտեցումներ, հետազոտություններ, գիտական հիմնավորումներ: Որպես այդպիսիք մենք օգտագործել և արդյունավետ կերպով կիրառել ենք իոնների տարանջատման և հարստացման ֆիզիկաքիմիական, էլեկտրամեմբրանային, մեր կողմից մշակված՝ իոնների ընտրողականությունը տեղափոխման գործընթացում էականորեն բարելավելուն ուղղված մոտեցումներ: Այն զուգակցվել է փորձնական հետազոտությունների հետ: Զուգահեռ մաթեմատիկական մոդելավորման միջոցներով կատարվել է գործընթացների լավարկում:

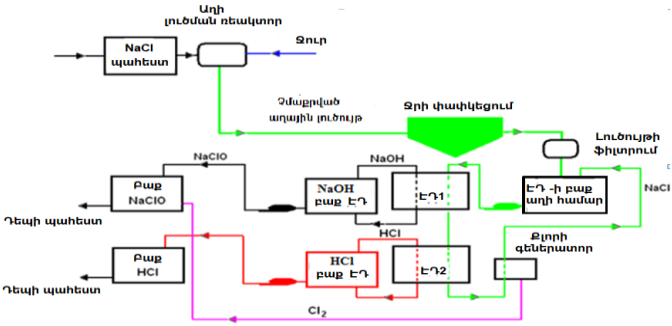
Երկրորդ գլխում ներկայացվել է կարմիր տիղմից հազվագյուտ մետաղների կորզման հիդրամետաղագործական նոր եղանակ հիմնված էլեկտրամեմբրանային եղանակների վրա: Որպես հեռանկարային և այլընտրանքային եղանակ առաջարկվել է մետաղների կորզումը ԿՏ-ից կատարել երեք փուլով: Առաջին փուլում կարմիր տիղմը քիմիական ռեակտորում տարալուծվում է նատրիումի հիպոքլորիտի միջոցով, ինչը թույլ է տալիս խիստ հիմնային միջավայրում տարալուծել հազվագյուտ մետաղները՝ առանց տարալուծելու ալյումինը և երկաթը: Երկրորդ փուլում էլեկտրադիալիզարարի միջոցով անջատվում են հազվագյուտ մետաղները լուծույթում որպես խտանյութ և կազմակերպվում է այդ մետաղների ընտրողական անջատումը մեմբրանային էլեկտրոլիզի եղանակով: Երրորդ փուլում մեմբրանային էլեկտրադիալիզի եղանակով ԿՏ-ից կորզվում է նատրիումի հիդրօքսիդը, որից հետո երկաթի և ալյումինի օքսիդների կորզումը կատարվում է ավանդական եղանակներով: Առաջարկվող տարբերակը նաև բնապահպանության տեսակետից նախընտրելի է, քանի որ մետաղների կորզումը կատարվում է փակ ցիկլով, իսկ որպես թափոն ստացվող տարբեր էլեմենտների (ծծումբ, ֆոսֆոր, սիլիցիում և այլն) խառնուրդը հետագայում կարող է դառնալ այս տարրերի համար որպես հումք:

Խիստ հիմնային միջավայրում մետաղները լուծելու թթվային մեթոդները ցանկալի չեն կորզման ընթացքի արդյունավետության տեսակետից: Այս դեպքում հեռանկարային է նատրիումի հիպոքլորիտի օգտագործումը, որը արդյունավետ

աշխատում է հենց հիմնային միջավայրերում: Այստեղ կարևոր է նշել, որ նատրիումի հիպոքլորիտի լուծույթը կայունացնելու համար այն դարձնում են հիմնային, իսկ քանի որ ԿՏ-ն արդեն խիստ հիմնային է, ապա կարիք չկա այն հիմնային դարձնելու, սակայն այս դեպքում նատրիումի հիպոքլորիտի կորուստ չունենալու համար անհրաժեշտություն է առաջանում այն արտադրել հենց օգտագործման վայրում: Ստորև նկ.2 և նկ.3 -ում բերված են էլեկտրաքիմիական եղանակով ԿՏ-ի մշակման կայանի և նատրիումի հիպոքլորիտ ստանալու արտադրական սխեմաները:



Նկար 2. Կարմիր փիղմի մշակման ընդհանուր սխեմա



Նկար 3. Առաջարկվող էլեկտրամեմբրանային տեխնոլոգիայի սխեման նատրիումի հիպոքլորիտ ստանալու համար

Երրորդ գլխում քննարկվել են էլեկտրադիալիզատորում զանգվածների տեղափոխության գործընթացները, իոնափոխանակիչ մեմբրանների հատկությունները, ինչպես նաև մեմբրանային եղանակով իոնների բաժանման մաթեմատիկական մոդելավորման հիմունքները՝ իոնների էլեկտրատեղափոխման գործընթացները լավարկելու համար:

Էլեկտրամիգրացիայի երեւույթները մեմբրանային համակարգերում նկարագրելու համար հիմնականում կիրառվում է Ներնստ-Պլանկի հավասարումը ինչպես մեմբրանների ներսում, այնպես էլ դրանց սահմանամերձ տիրույթներում: Սակայն իոնների տեղափոխումը մեմբրանների ներսում և սահմանամերձ շերտում նկարագրվում են ըստ բնույթի տարբեր պարամետրերի միջոցով, ինչը թույլ չի տալիս համակարգը դիտել որպես մեկ ամբողջություն:

Այս տեսակետից հրատապ է դառնում մշակել և հետազոտել այնպիսի մաթեմատիկական մոդել, որը կնկարագրի իոնների տեղափոխման էլեկտրադիֆուզիոն պրոցեսները, կորոշի համակարգի վրա ազդեցության հիմնական արդյունավետ պարամետրերը, ինչպես նաև ստեղծել մաթեմատիկական հենք՝ որոշելու համար համակարգի հիմնական ելքային պարամետրերի փոփոխությունները ղեկավարող պարամետրերի փոփոխություններից կախված:

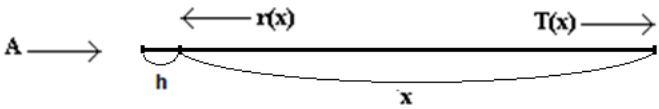
Այս նպատակի համար կառուցվել է ստացիոնար ռեժիմում ֆիզիկա-քիմիական տեսակետից հիմնավորված մաթեմատիկական մոդել՝ նկարագրելու համար էլեկտրական դաշտի կիրառմամբ իոնների տեղափոխումը իոնափոխանակիչ մեմբրաններով և մեմբրանին հարակից տիրույթներով:

Իոնների տեղափոխումը իոնափոխանակիչ մեմբրաններով և մեմբրանին հարակից տիրույթներով նկարագրելու Ներնստ-Պլանկի հավասարման լուծումը անհեռանկարային է որոնել այն պարզ պատճառով, որ այս հավասարումը շատ զգայուն է եզրային պայմաններից, իսկ նշված դեպքերի համար եզրերի անորոշ կառուցվածքի հետևանքով անիմաստ է հավասարման կիրառումը: Տեղափոխման հավասարումների համակարգի լուծման ճանապարհը շրջանցելու եղանակներից է Վ.Համբարձումյանի ինվարիանտության սկզբունքի կիրառումը այս գործընթացներում: ԻՍ-ի էությունը հետևյալն է՝ համակարգի վրա ընկնող մասնիկների որոշակի ինտենսիվության դեպքում որոշելով անդրադարձման և

համակարգից դուրս գալու հավանականությունները, գաղափար կազմել համակարգում ընթացող երևույթների մասին: Մեր դեպքի համար ինվարիանտության սկզբունքը կիրառելու նպատակով խնդիրը տրոհել ենք երկու մասի՝

1. Լիցքավորված մասնիկը էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ շարժվում է միջմեմբրանային տարածության հեղուկ համասեռ էլեկտրոլիտում դեպի իոնափոխանակիչ մեմբրանը: Որոշել մինչև մեմբրան շերտի հաղթահարման հավանականությունը:
2. Լիցքավորված մասնիկը էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ ընկնում է համասեռ իոնափոխանակիչ մեմբրանի վրա: Որոշել մեմբրանը հաղթահարելու հավանականությունը:

Համաձայն ԻՍ-ի դիտարկվել է A մասնիկի տեղափոխումը կրկնակի էլեկտրական շերտի x և x + Δx տիրույթում (նկար 4): Ենթադրվում է կլանումը մեմբրանում, ինչպես նաև անդրադարձման հավանականությունը էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ շատ ավելի փոքր է քան անցման հավանականությունը:



***Նկ.4**. A լիցքավորված մասնիկի տեղափոխումը (x + h) միաչափ շերտով*

Որոշվել է շերտից անդրադարձման հավանականությունը՝ ***r(x)*** և շերտը անցնելու հավանականությունը՝ ***T(x)***, ***A*** լիցքավորված մասնիկը համակարգ մտցնելուց հետո դիտարկման ***Δt*** ժամանակահատվածում, ***E***– էլեկտրական դաշտի ազդեցության դեպքում:

Գրենք ***A*** մասնիկի անդրադարձման հավանականությունը **x+h** շերտից օգտվելով ԻՍ-ից. այն է ***r(x)***-ը մնում է առանց փոփոխության x շերտում դրան Δx փոքր շերտ ավելացնելիս՝

$$r(x+h) = k_o h + (1- k_o h) r(x)$$

որտեղ k_o – միավոր ճանապարհին մասնիկի ցրման հավանականությունն է: Համապատասխան մաթեմաթիկական գործողություններից հետո կստացվի՝

$$T(x) = exp(-x/\alpha \cdot U^{0.5}) \qquad (1)$$

որտեղ $\alpha=2\varepsilon_0/q^2\rho_A d$, x-ը կրկնակի էլեկտրական շերտի (ԿԷՇ) լայնությունն է, q-ն շարժվող լիցքի մեծությունն է, *d*-ն էլեկտրոդների միջև հեռավորությունն է , *U* – ն կիրառված պոտենցիալների տարբերությունը, ρ_A – *A տիպի մասնիկների խտությունն է*, ε_0 *-ն դիէլեկտրիկ թափանցելիությունն է:*

Նմանապես մեմբրանը հաղթահարելու հավանականության համար կստանանք՝

$$T(x)=exp(-\rho_B \cdot \sigma_{AB} \cdot x) \qquad (2)$$

որտեղ՝ ρ_B, σ_{AB} մեմբրանի բնութագրիչներ են՝ մեմբրանում ֆիքսված լիցքերի խտությունը և *A* մասնիկի և մեմբրանում ֆիքսված *B* տիպի մանիկների բախման կտրվածքը, որտեղ $\sigma_{AB} = 4\pi r_B^2$, իսկ r_B – Դեբայի շառավիղն է:

Ստացված (1) առնչությունից ստացվում են ԿԷՇ-ը հաղթահարելու գործընթացի պարամետրերի միջև հետևյալ անհրաժեշտ տեղեկությունները՝

U ↑	T ↑
n_A ↑	T ↓
q ↑	T ↓
x ↓	T ↑

U-ն մեծացնելիս շերտը անցնելու հավանականությունը՝
T-ն մեծանում է, ձգտելով ասիմտոտիկ արժեքի
n_A, *q* –ն մեծացնելիս T-ն փոքրանում է
x փոքրացնելիս T-ն մեծանում է

Իսկ (2) առնչությունից մեմբրանը հաղթահարելու գործընթացի պարամետրերի միջև գործում են հետևյալ կապերը՝

x ↓	T ↑
σ_B ↓	T ↑
ρ_B ↓	T ↑

x-ը փոքրացնելիս T-ն մեծանում է
σ_B-ն փոքրացնելիս T-ն մեծանում է
ρ_B –ն փոքրացնելիսT-ն մեծանում է

A մասնիկների շարժման միջին արագությունը որոշվում է $m_A v^2_{միջին}/2 = q_A U$ արտահայտությունից: Այստեղից բխում է, որ ինչքան մեծ լինի կիրառված պոտենցիալների տարբերությունը՝ U - ն, այնքան մեծ կլինի մեմբրանը անցնելու հավանականությունը: Մյուս կողմից, *U* - ի մեծությունը սահմանափակված է, իոնափոխանակիչ մեմբրանի թողունակությամբ պայմանավորված ԿԷՇ-ի լայնության մեծացմամբ, *U* - ի այդ առավելագույն մեծությունն էլ հանդիսանում է լարման օպտիմալ արժեքը, որի դեպքում A կատիոնը մեծ հավանականությամբ կհաղթահարի ԿԷՇ-ը և մեմբրանը այսպիսով բարձրացնելով էլեկտրամեմբրանային գործընթացի արդյունավետությունը:

Այսպիսով պետք է մեմբրանները բավարարեն պայմաններին, որի դեպքում ԿԷՇ-ը և մեմբրանը հաղթահարելու հավանականությունները կլինեն մաքսիմալ, իսկ այդպիսի մեմբրանների բացակայության դեպքում պատրաստի թողարկվող մեմբրաններից ընտրել մեր կողմից կանխատեսված ֆիզիկա-քիմիական պայմաններին հնարավորինս մոտ բնութագրիչներով մեմբրաններ:

Եզրակացություններ

- Հետազոտվել և վերլուծման է ենթարկվել ԿՏ-ի ներկայումս գործնականում կիրառվող օգտահանման գործընթացների առանձնահատկությունները :
- Նախանշվել է մեմբրանում ֆիքսված իոնի լիցք և դաշտի լարվածություն օպտիմալ պայմանները, որը ապահովում է տարբեր իոնների տարանջատման համապատասխան մաքրության և մաքսիմալ ելքեր:
- Վ.Համբարձումյանի ինվարիանտության սկզբունքի կիրառմամբ ստացվել են էլեկտրամեմբրանային համակարգում իոնների տեղափոխումը պայմանավորող պարամետրերի միջև փոխադարձ կախվածություններ, որը թույլ է տվել նոր մոտեցումների կիրառմամբ կատարել էլեկտրամեմբրանային սարքի նախագծում և աշխատանքային ռեժիմների լավարկում:
- Աշխատանքում կատարվել է տեխնիկական մաքրության սկանդիումի օքսիդի լրացուցիչ մաքրում, արդյունքում ստացվել է հատուկ մաքրություն:

Ցույց է տրվել, որ սկանդիումի օքսիդի էլեկտրամեմբրանային եղանակը՝

- օժտված է մաքրման գործընթացի ղեկավարման ավելի լայն հնարավորություններով,
- առանձնանում է սկանդիումի օքսիդի մաքրման բարձր արդյունավետությամբ,
- բնապահպանության տեսակետից ավելի գրավիչ է, քան գոյություն ունեցող եղանակները:

Ատենախոսության հիմնական դրույթներն ու արդյունքներն արտացոլված են հեղինակի կողմից հրատարակված հետևյալ աշխատանքներում.

Հոդվածներ.

1. **Գ. Վարդան**, Կարմիր տիղմի օգտահանման հետ կապված խնդիրների լուծման ժամանակակից և այլընտրանքային մոտեցումներ: ՀՀ Ճարտարագիտական Ակադեմիայի ԼՐԱԲԵՐ, հատոր 13, համար 1, 2016թ., էջ 169-171:
2. А. Габриелян, Р. Костанян, **Г. Вартан**, Г. Мартоян. Математическое моделирование процесса переноса ионов че рез ионообменную мембрану. Доклады, Национальная Академия Наук Армении, 2020, том 120, №1, стр. 52-59.
3. G. Martoyan, G. Karamyan and **G. Vartan**. New technology of extracting the amount of rare earth metalsfrom the red mud. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 112 (2016) 012033 doi:10.1088/1757-899X/112/1/012033.
4. **Г. Вардан**, М. Казарян, Г. Карамян, Г. Мартоян. Современные технологии редкометальной и редкоземельной промышленности. Глава 1, Промышленные технологии добычи и разделения редких и редкоземельных элементов. Методы и подходы к разделению и выделению особо чистых редких и редкоземельных элементов. ТОМСК, «Издательство НТЛ» 2016. стр 46-57.
5. **G. Vartan,** M. Kazaryan, G. Karamyan, G. Martoyan. Electro-Membrane Technology for Extraction of Valuable Compoundsand Rare Earth Elements from the Red Mud. American Journal of Applied Chemistry. 2018. - 6 (3). P. 126 - 131.
6. **Գ. Վարդան**, ՀՀ Արտոնագիր “NaClO-ի ստացման էլեկտրոմեմբրանային եղանակ ”ՀՀ արտոնագրի համար՝ 3277A, հայտի համար՝ AM20180123, գրանցված պետական գրանցամատյանում՝ 18,03,2019:
7. **Գ. Վարդան,** Ա. Գաբրիելյան, Գ. Մարտոյան: էլեկտրոնային մաքրությամբ սկանդիումի օքսիդի ստացում էլեկտրամեմբրանային եղանակով: Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի Բանբեր 2022. h. 19, N 1. էջ 144-147.
8. **Г. Вардан**, М. Казарян, Г. Карамян, Г. Мартоян. Электромембранное извлечение элементов из красного шлама. В сб. Современные технологии редкометалльной и редкоземельной промышленности. Под редакцией члена президиума РАН акад. Л.И. Леонтьева и докт. хим. наук В.И. Сачкова ТОМСК «Издательство НТЛ» 2016, стр. 46-57.

Գիտաժողովների թեզիսներ

1. **Г. Вардан**, А. Аверюшкин, М. Калугин, Г. Карамян, Г. Мартоян. Современные подходы к решению проблем, связанных с утилизацией красного шлама. Российская академия наук, 2017. Отделение физ. наук, 978–5–906906-43–4. Препринт 14 страниц.

2. **Г. Вардан,** Г. Карамян, Г. Мартоян, А. Гусев, В. Сачков, М. Казарян. Перспективы использования мембранных методов к решению проблем, связанных с утилизацией красного шлама. Российская академия наук, 2017. Препринт 17 страниц.
3. **Г. Вардан**, Г. Карамян, М. Казарян, Г. Мартоян. Извлечение редкоземельных элементов из красного шлама. Тезисы 6-й Международной конференции "Химия и химические технологии" НАН РА, Ереван, 23.09.2019, стр. 151-153.
4. **Г. Вардан,** Р. Барсегян , Г. Мартоян. Извлечение скандия из красного шлама. Сборник докладов II Международной научной конференииии «Устойчивое развитие энергетики Реппублики Белорусь: сотояние и перппективы», Сборник докладов II Международной конференции (Минск, 3-6 октября 2022г.), Минск «Беларуская навука», 2023, стр. 369-374.
5. **Г. Вардан.** Электромембранный способ получения гипохлорита натрия. . Сборник докладов II Международной научной конференииии «Устойчивое развитие энергетики Реппублики Белорусь: сотояние и перппективы», Сборник докладов II Международной конференции (Минск, 3-6 октября 2022г.), Минск «Беларуская навука», 2023, стр. 364-369.

ГЕВОРГ АНУШАВАНОВИЧ ВАРДАН

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗ БОКСИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

РЕЗЮМЕ

Процесс Байера является основным промышленным процессом переработки бокситов в глинозем. Вместе с тем данный процесс является источником огромного количества отходов, так называемых: красных шламов (КШ), которые, представляя угрозу для окружающей среде, в то же время являются важным техногенным сырьем для некоторых редкоземельных металлов, как например скандий. Традиционные методы утилизации отходов КШ имеют невысокую эффективность: требуют больших энергозатрат, свойствена низкая извлекаемость металлов, образование новых вредных отходов, в связи с чем актуальным является поиск альтернативных путей комплексной переработки. В диссертационной работе исследование посвящено утилизацию и обезвреживанию этих отходов.

Цель работы – предложить научно обоснованную модель новых эффективных электромембранных методов утилизации красного шлама, а также повысить селективность извлечения компонентов за счет программного управления переносом соответствующих ионов приложенным электрическим напряжением. Цель в частности включает мембранные технологии, которые считаются перспективными в области селективной миграции ионов через ионообменные мембраны.

Задача была решена путем построения обоснованной физико-химической модели миграции ионов в межмембранном пространстве и в самой ионообменной мембране с использованием принципа инвариантности (ПИ) В. Амбарцумяна. В то же время это было возможно без обращения к системам уравнений, описывающих процесс электродиффузии, состоящиеся из уравнения баланса масс, уравнения Нернста-Планка и уравнения Пуассона в многокомпонентной системе. Такой подход позволяет получить взаимосвязанные параметры, определяющие миграцию ионов в электромембранной системе минуя проблем связаных с определением граничных условий в системе дифференциальных уравнений в сложной конфигурации процесса. В результате управления процессом миграции ионов и характеристиками электромембранных установок (таких как тип ионообменных мембран, размеры электромембранных ячеек, величина, частота, длина импульсов электрического напряжения и т.д.).

В результате проведенных исследований получены следующие основные результаты:

1. С применением ПИ выявлены взаимосвязанные параметры, определяющие миграцию ионов в электромембранной системе, что позволяет представить процесс минуя решения сложных уравнений в ионно-транспортной системе.
2. Теоретические исследования позволили выявить особенности строения электромембранных ячеек и параметры эффективного управления электромиграцией ионов в электромембранных процессах.
3. В систему электродиализатора были внесены новые конструктивные изменения, что сделало его более эффективным для селективного извлечения целевых металлов. Разработана модель трехкамерного электродиализатора и путем определения эффективных параметров управления предложен способ результативного извлечения скандия из красного шлама.

GEVORK ANUSHAVAN VARTAN

RESEARCH ON THE RECYCLING OF ALUMINUM PRODUCTION WASTE FROM BAUXITE CONCENTRATES

SUMMARY

The Bayer process is the main industrial process for converting bauxite into alumina. At the same time, this process is a source of a huge amount of waste, the so-called red mud (RM), which, while posing a threat to the environment, is at the same time an important technogenic raw material for some rare earth metals, such as scandium. Traditional methods of RM waste disposal are not very efficient: they require high energy costs, low recoverability of metals, the formation of new hazardous waste, and therefore it is important to search for alternative ways of complex processing. In the dissertation work, the study is devoted to the disposal and neutralization of these wastes.

The aim of the work is to propose a scientifically substantiated model of new effective electromembrane methods for the utilization of red mud, as well as to increase the selectivity of the extraction of components by program control of the transfer of the corresponding ions by the applied electrical voltage. The objective specifically includes membrane technologies that are considered promising in the field of selective migration of ions through ion exchange membranes.

The problem was solved by constructing a substantiated physicochemical model of ion migration in the intermembrane space and in the ion-exchange membrane itself using the invariance principle (IP) of V. Ambartsumyan. At the same time, this was possible without resorting to systems of equations describing the process of electrodiffusion, consisting of the mass balance equation, the Nernst-Planck equation, and the Poisson equation in a multicomponent system. This approach makes it possible to obtain interrelated parameters that determine the migration of ions in an electromembrane system, bypassing the problems associated with determining the boundary conditions in a system of differential equations in a complex process configuration. As a result of controlling the process of ion migration and the characteristics of electromembrane installations (such as the type of ion exchange membranes, the size of electromembrane cells, the magnitude, frequency, length of electrical voltage pulses, etc.).

As a result of the research, the following main results were obtained:

1. With the use of IP, the interrelated parameters that determine the migration of ions in the electromembrane system were revealed, which makes it possible to represent the process bypassing the solution of complex equations in the ion transport system.
2. Theoretical studies have made it possible to reveal the features of the structure of electromembrane cells and the parameters of effective control of ion electromigration in electromembrane processes.
3. New design changes have been made to the electrodialyzer system, making it more efficient for the selective extraction of target metals. A model of a three-chamber electrodialyzer was developed, and by determining the effective control parameters, a method was proposed for the efficient extraction of scandium from red mud.