

## Կ Ա Ր Ծ Ի Ք

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանին առընթեր գործող ՀՀ ԲԿԳԿ-ի «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» մասնագիտական խորհրդի (թվանիշ 031) «Մետալուրգիա» մասնագիտությամբ (թվանիշ Ե.16.02) տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճան հայցելու համար Հասմիկ Վարդանի Ավագյանի կողմից ներկայացված «Մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի սուլֆիդացման և խտանյութի ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը» թեմայով ատենախոսական աշխատանքի վերաբերյալ

### ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԹԵՄԱՅԻ ԱՐԴԻԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ժամանակակից միկրոէլեկտրոնիկայում, էլեկտրատեխնիկայում և բարձր տեխնոլոգիական բազմաթիվ ոլորտներում պղինձը ռազմավարական նշանակություն ունեցող և լայնորեն պահանջարկված մետաղ է: Այդ պատճառով պղնձային հումքի արդյունավետ և համալիր վերամշակումը Հայաստանի Հանրապետության մետալուրգիական արդյունաբերության զարգացման կարևոր ուղղություններից է: Ներկայումս Հայաստանի Հանրապետության հարստացուցիչ ֆաբրիկաներում ֆլոտացիոն եղանակով արտադրվում են 20...24% պղնձի պարունակությամբ սուլֆիդային խտանյութեր, որոնք հիմնականում արտահանվում են արտերկիր: Միաժամանակ պղնձի օքսիդացած հանքանյութերը գործնականում չեն ենթարկվում արդյունավետ ֆլոտացիոն հարստացման, ինչի հետևանքով դրանցում պարունակվող պղինձը չի կորզվում և անցնում է թափոնային պոչեր: Հետևաբար, դրանց վերամշակման խնդիրը շարունակում է մնալ արդիական և առաջնահերթ: Այս տեսանկյունից առանձնակի հետաքրքրություն է ներկայացնում Հայաստանի Հանրապետության Թեղուտի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրը, որտեղ օքսիդացած ապարների և խառը հանքային միներալների գոտին զբաղեցնում է շուրջ 250 հա մակերես և տարածվում մինչև 70 մ խորությամբ՝ բնութագրվելով համեմատաբար բարձր հանքայնացմամբ: Նման հանքանյութերի արդյունավետ վերամշակումը կարող է էապես բարձրացնել օգտակար բաղադրիչների կորզման աստիճանը և նվազեցնել տեխնածին կորուստները:

Հայրենական և արտասահմանյան գիտական գրականության տվյալների համաձայն՝ նշված խնդրի լուծման հեռանկարային ուղղություններից մեկը մեխանաքիմիական ակտիվացման և մետաղաջերմային վերականգնման մեթոդների համակցված կիրառումն է: Այս գործընթացների ընթացքում ինտենսիվանում են օքսիդավերականգնման ռեակցիաները, փոփոխվում է հանքանյութերի կառուցվածքը և

ձևավորվում են նոր ֆունկցիոնալ հատկություններով նյութեր: Մեխանիկական ակտիվացումը մեծացնում է դիսպերս մասնիկների մակերևութային էներգիան, առաջացնում բյուրեղային ցանցի կառուցվածքային աղավաղումներ, ինչի արդյունքում բարձրանում է պինդ նյութերի ռեակցիոն ունակությունը և արագանում են քիմիական փոխազդեցությունները: Միաժամանակ հնարավոր է դառնում պղնձի օքսիդային միացությունների մասնակի փոխակերպումը հեշտ ֆլուտացվող սուլֆիդների:

Սակայն ներկայում կիրառվող սուլֆիդացման եղանակները միշտ չէ, որ ապահովում են հանքանյութերի մակերևութային կայուն և ամուր սուլֆիդային թաղանթների ձևավորումը: Թույլ թթվային միջավայրում առաջացած սուլֆիդային շերտերը հաճախ անկայուն են և կարող են մասնակիորեն քայքայվել ֆլուտացիայի ընթացքում, որը սովորաբար իրականացվում է թույլ հիմնային միջավայրում: Հետևաբար, խնդրի արդյունավետ լուծումը սերտորեն կապված է հանքաքարի մանրացման և մեխանաքիմիական ակտիվացման գործընթացների հետ, որոնց արդյունքում փոփոխվում են հանքանյութերի միներալաբանական և կառուցվածքային բնութագրերը, բարելավվում են սուլֆիդացման պայմանները և բարձրանում պղնձի կորզման աստիճանը:

Այս տեսանկյունից ատենախոսական աշխատանքը նվիրված է կարևոր գիտական և կիրառական խնդրի լուծմանը՝ մեխանաքիմիական ակտիվացման միջոցով պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի սուլֆիդացման և խտանյութի ստացման արդյունավետ տեխնոլոգիայի մշակմանը, ինչպես նաև ստացված սուլֆիդների ֆլուտացման գործընթացի մեխանիզմի, կինետիկական օրինաչափությունների և հիմնական տեխնոլոգիական գործոնների բացահայտմանը:

#### ԱՏԵՆԱԽՈՍԱԿԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Հասմիկ Վարդանի Ավագյանի կողմից պաշտպանության ներկայացված ատենախոսական աշխատանքը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, ընդհանուր եզրակացություններից և 168 անուն ընդգրկող օգտագործված գրականության ցանկից: Աշխատանքը շարադրված է 140 համակարգչային տպագիր էջի վրա, ներառում է 64 նկար և 21 աղյուսակ:

Ատենախոսության սեղմագիրը ներկայացված է 23 համակարգչային տպագիր էջի վրա և ամբողջությամբ արտացոլում է աշխատանքի համառոտ բովանդակությունը:

Սեղմագրում ներկայացված են հիմնական արդյունքներն ու եզրակացությունները, ինչպես նաև նշված են տպագրված 13 գիտական աշխատանքներ, որոնցում արտացոլված են ատենախոսական աշխատանքի հիմնական դրույթներն ու ստացված արդյունքները: Բոլոր հոդվածները հրատարակվել են ՀՀ ԲԿԳԿ-ի կողմից ընդունված ցանկում ընդգրկված գիտական պարբերականներում: Ատենախոսության արդյունքները զեկուցվել և քննարկվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի 2017...2025 թթ. գիտաժողովներում:

Ատենախոսության ներածությունում հիմնավորված են թեմայի արդիականությունը, հետազոտության նպատակը, պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները և աշխատանքի գիտական նորույթը:

Առաջին գլխում ներկայացված է մեխանաքիմիական ակտիվացման միջոցով պինդ նյութերի ռեակցիոն ունակության բարձրացման գործընթացի վերլուծությունը: Քննարկվել են պինդ նյութերում ընթացող մեխանաքիմիական ռեակցիաների առանձնահատկությունները, դրանց մեխանիզմներն ու կինետիկական օրինաչափությունները: Կատարվել է մեխանաքիմիական գործընթացների տեսական հիմնավորում, ինչպես նաև վերլուծվել են մանրացման ընթացքում պինդ նյութերում տեղի ունեցող ֆիզիկաքիմիական փոխակերպումները և դրանց կապը ակտիվացման գործընթացների հետ: Ուսումնասիրվել են մեխանաքիմիական եղանակով պինդ նյութերի դիսպերս մանրացման համար կիրառվող սարքավորումները, դրանց տեխնոլոգիական առանձնահատկություններն ու գործառնական բնութագրերը:

Հեղինակը հիմնավորել է Հայաստանի Հանրապետությունում պղնձային հումքի համալիր վերամշակման անհրաժեշտությունն ու զարգացման հեռանկարային ուղղությունները: Ցույց է տրվել, որ պղնձի արտադրության կազմակերպումը կապված է մի շարք տնտեսական և բնապահպանական խնդիրների լուծման հետ, ինչը պահանջում է առավել արդյունավետ և ժամանակակից տեխնոլոգիաների մշակում և ներդրում:

Հետազոտությունների արդյունքների հիման վրա հեղինակը ցույց է տվել, որ առավել հեռանկարային են այն տեխնոլոգիական գործընթացները, որոնք ուղղված են պղնձի օքսիդային միացությունների փոխակերպմանը հեշտ ֆլուտացվող սուլֆիդների: Նման մոտեցումը հնարավորություն է տալիս ֆլուտացիայի միջոցով ստանալ պղնձի սուլֆիդային խտանյութեր՝ հետագայում ավանդական մետալուրգիական եղանակներով

պղնձի կորզման նպատակով: Այս առումով հիմնախնդրի արդյունավետ լուծումը պայմանավորված է հանքաքարի մանրացման ընթացքում մեխանաքիմիական և մետաղաջերմային ակտիվացման միջոցով արժեքավոր բաղադրիչների միներալաբանական բաղադրության փոփոխությամբ՝ որպես սուլֆիդարար համակարգեր կիրառելով  $S$ ,  $SiS_2$  կամ  $Na_2[SiS_3]$  միացությունները:

Աշխատանքում առաջադրված և լուծված խնդիրները լիովին բացահայտում են պաշտպանության ներկայացված հիմնական դրույթները:

Երկրորդ գլխում կատարվել է կատարվել է ելանյութերի և չափիչ-հսկիչ սարքավորումների ընտրությունը, ուսումնասիրվել և հիմնավորվել են դրանց հիմնական բնութագրերը:

Պղնձի օքսիդային հանքանյութերի հարստացման և ստացված խտանյութերից պղնձի առավելագույն կորզման գոյություն ունեցող մեթոդների վերլուծությունը ցույց է տվել, որ խնդրի լուծման առավել հեռանկարային ուղղություններից մեկը օքսիդացած հանքանյութերի սուլֆիդացումն է գնդաղացում: Սակայն պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի խորը սուլֆիդացման հայտնի մեթոդները դեռևս չեն ապահովում բավարար տեխնոլոգիական ցուցանիշներ, տնտեսապես արդյունավետություն և հաճախ ուղեկցվում են բնապահպանական խնդիրներով:

Պղնձի օքսիդացած միներալների վերամշակման հիմնախնդրի լուծման կարևոր ուղղություններից է հանքաքարի մանրացման փուլում արժեքավոր բաղադրիչների բյուրեղային վիճակի փոփոխությունը՝ սուլֆիդացման և մեխանաքիմիական ակտիվացման գործընթացների համատեղման միջոցով: Այդ նպատակով հայցորդի կողմից ուսումնասիրվել է Թեղուտի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի միներալային կազմը, ինչպես նաև պղնձի օքսիդացած գոտու հիմնական միներալները՝ մալախիտը, ազուրիտը, տենորիտը, կուպրիտը, խրիզոկոլան և փիրուզը: Որպես սուլֆիդարար նյութեր ընտրվել են սիլիցիումի սուլֆիդը, նատրիումի թիոկոմպլեքսը և ծծումբը: Կատարվել է չափիչ-հսկիչ սարքավորումների ընտրությունն ու հիմնավորումը, ինչպես նաև ուսումնասիրվել են գնդաղացներում հանքաքարերի մեխանիկական մանրացման գործընթացի առանձնահատկությունները: Ցույց է տրվել, որ գնդաղացներում հանքաքարերի մանրացման արդյունավետության վրա էական ազդեցություն ունեն գնդաղացի պտտման արագությունը, գնդերի օպտիմալ զանգվածն ու տրամագիծը,

հանքանյութի նախնական հատիկաչափական կազմն ու ծավալը, ինչպես նաև գնդերի կառուցվածքն ու ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները:

Արդյունքում մշակվել են հետազոտությունների հիմնական ուղղություններն ու մեթոդիկան, որոնց հիմքում դրվել են մետալուրգիական, մետաղագիտական, ռենտգենաֆազային, սպեկտրային, ատոմաաբսորբցիոն, ջերմաժանրաչափական և այլ վերլուծական մեթոդներ:

Երրորդ գլխում ուսումնասիրվել և մշակվել են պղնձի օքսիդացած միներալների՝ ազուրիտի, մալախիտի, կուպրիտի և տենորիտի, մանրացման գործընթացում սիլիցիումի սուլֆիդով ( $\text{SiS}_2$ ), նատրիումի թիոկոմպլեքսով ( $\text{Na}_2[\text{SiS}_3]$ ) և ծծմբով (S) իրականացվող մակերևութային խորը սուլֆիդացման և հետագա ֆլոտացման գործընթացների տեսական և տեխնոլոգիական հիմունքները:

Թերմոդինամիկական հաշվարկներով հիմնավորվել է Թեղուտի հանքավայրի պղնձի օքսիդացած միներալների՝ ազուրիտի, մալախիտի, կուպրիտի և տենորիտի, մանրացման ընթացքում մակերևութային խորը սուլֆիդացման տեխնոլոգիական գործընթացները՝ ծծմբի, սիլիցիումի սուլֆիդի և նատրիումի թիոկոմպլեքսի կիրառման պայմաններում: Ցույց է տրվել, որ փոխազդեցություններն ընթանում են Գիբսի ազատ էներգիայի բացասական արժեքներով, ինչը նպաստում է պղնձի կայուն սուլֆիդների առաջացմանը: Որոշվել են մակերևութային սուլֆիդացման օպտիմալ պայմանները, որոնց դեպքում ապահովվում է մինչև 70% սուլֆիդացման աստիճան՝ 70 րոպե տևողությամբ գործընթացի և 343 Կ ջերմաստիճանի պայմաններում: Սուլֆիդարարի ծախսը, հաշվարկված օքսիդացած պղնձի զանգվածի նկատմամբ, կազմել է մինչև 100 %:

Բացահայտվել են պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման ռեակցիաների կինետիկական օրինաչափություններն ու մեխանիզմը: Որոշվել են նաև սուլֆիդացման և ֆլոտացման գործընթացների օպտիմալ պայմանները, որոնց դեպքում ապահովվում է մոտ 63% սուլֆիդացման աստիճան:

Հետազոտությունների արդյունքում հայցորդը պարզել է, որ տարբեր միներալների համար պահանջվող սուլֆիդային իոնների կոնցենտրացիաները տարբեր են, ինչպես նաև տարբերվում են դրանց սուլֆիդացման արագությունները: Ցույց է տրվել, որ պղնձի կայուն սուլֆիդների առաջացումը տեղի է ունենում  $\text{pH} \leq 7$  միջակայքում, այսինքն՝ թույլ թթվային միջավայրում:

Չորրորդ գլխում ուսումնասիրվել են սիլիցիումի սուլֆիդով, նատրիումի թիոկոմպլեքսով և ծծմբով սուլֆիդացված պղնձի օքսիդային միներալների՝ ազուրիտի, մալախիտի, կուպրիտի և տենորիտի ֆլուտացման գործընթացները: Արդյունքում որոշվել են ֆլուտացման համար անհրաժեշտ ռեագենտների ծախսերը, ընդ որում որպես առավել արդյունավետ սուլֆիդարար ընտրելով ծծումբը:

Կատարված համալիր հետազոտությունների հիման վրա մշակվել են պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ սուլֆիդացման և դրանց հետագա ֆլուտացման միջոցով խտանյութի ստացման տեխնոլոգիաներ: Մշակված մոտեցումը հնարավորություն է տալիս արդյունավետորեն վերամշակել պղնձի օքսիդացած հանքանյութերը և կարող է դիտարկվել որպես հեռանկարային տեխնոլոգիական ուղղություն: Ընտրվել և հիմնավորվել են գործընթացի իրականացման համար անհրաժեշտ տեխնոլոգիական սարքավորումները:

Կատարվել է մշակված տեխնոլոգիաների տեխնիկատնտեսագիտական հիմնավորում: Հաշվարկների համաձայն՝ ակնկալվող շահույթը կազմել է 502 019,0 հազար դրամ, իսկ կապիտալ ներդրումների հետգնման ժամկետը՝ 1,525 տարի:

#### ԳԻՏԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐԻ ԵՎ ԵԶՐԱՀԱՆԳՈՒՄՆԵՐԻ ՃՇՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Հայցորդի կողմից մշակվել է ՀՀ Թեղուտի օքսիդացած պղնձային հանքանյութերի սուլֆիդացման տեխնոլոգիա, բացահայտվել են կառուցվածքագոյացման հիմնական սկզբունքները և ձևակերպվել հետազոտության խնդիրների դրվածքը: Հեղինակը թերմոդինամիկական հաշվարկներով հիմնավորել է պղնձի օքսիդացած միներալների սուլֆիդացման գործընթացի մեխանիզմն ու կինետիկական օրինաչափությունները: Կատարել է Թեղուտի պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի մանրացման ընթացքում պղնձի սուլֆիդների ստացման գործընթացի տեսական և փորձարարական հիմնավորումը: Ուսումնասիրել է Թեղուտի պղնձի օքսիդային հանքանյութերից ստացված սուլֆիդային խտանյութերի ֆլուտացման գործընթացի մեխանիզմն ու կինետիկական առանձնահատկությունները: Արդյունքում մշակել է Թեղուտի հանքավայրի պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի սուլֆիդացման և խտանյութի ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիա:

Ատենախոսության եզրակացություններն ու հետևությունները հիմնավորված են մետալուրգիական գործընթացների ժամանակակից տեսական դրույթներով, իսկ դրանց

հավաստիությունը հաստատված է ժամանակակից մետաղագիտական վերլուծական մեթոդներով, հետազոտությունների արդյունքների համեմատական վերլուծությամբ և ստացված փորձարարական տվյալներով:

Ատենախոսությունը Հասմիկ Վարդանի Ավագյանի կողմից իրականացված գիտափորձերի, կատարած հետազոտությունների, ստացված արդյունքների և հրապարակած 13 գիտական հոդվածների ընդհանրացված շարադրանքն է:

#### ՍՏԱՅՎԱԾ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՆՈՐՈԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՀԻՄՆԱՎՈՐՄԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԸ

Մշակվել է գնդադացներում պղնձի օքսիդացած միներալների՝ ազուրիտի, մալախիտի, կուպրիտի և տենորիտի, սուլֆիդացման տեխնոլոգիա՝ սիլիցիումի սուլֆիդի, նատրիումի թիոկոմպլեքսի և ծծմբի կիրառմամբ, ինչպես նաև դրանցից պղնձի խտանյութի ստացման տեխնոլոգիա: Ցույց է տրվել, որ նյութերի մեխանաքիմիական ակտիվացումն իր բնույթով էապես տարբերվում է ջերմային և այլ տիպի ակտիվացման մեթոդներից: Հիմնավորվել է, որ սուլֆիդացման և մանրացման գործընթացների համատեղման միջոցով հնարավոր է պարզեցնել տեխնոլոգիական պայմանները և բարձրացնել գործընթացի արդյունավետությունը: Բացահայտվել են մեխանաքիմիական ակտիվացման պայմաններում պղնձի օքսիդային հանքանյութերի սուլֆիդացման և ստացված սուլֆիդների ֆլոտացման մեխանիզմն ու կինետիկական օրինաչափությունները, ինչպես նաև դրանց տեսական և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները: Որոշվել են մակերևութային սուլֆիդացման օպտիմալ պայմանները, որոնց դեպքում ապահովվում է մինչև 63 % սուլֆիդացման աստիճան՝ 70 րոպե տևողությամբ գործընթացի, 343 Կ ջերմաստիճանում և սուլֆիդարարի 100 % ծախսի պայմաններում՝ օքսիդացած պղնձի զանգվածի նկատմամբ: Աշխատանքի հիմնական արդյունքներն ու եզրակացությունները գիտական նորույթ են ներկայացնում պղնձի մետալուրգիայի ոլորտում:

Աշխատանքի կիրառական նշանակությունը պայմանավորված է մշակված տեխնոլոգիայով, որը հնարավորություն է տալիս մեխանաքիմիական և մետաղաջերմային ակտիվացման համատեղմամբ վերամշակել պղնձի օքսիդացած հանքանյութերը, ստանալ սուլֆիդային խտանյութեր և հետագայում ավանդական տեխնոլոգիաներով կորզել պղինձը: Մշակված տեխնոլոգիան հեռանկարային է,

գիտականորեն հիմնավորված և ներդրման տեսանկյունից՝ համեմատաբար պարզ ու քիչ ծախսատար:

Ատենախոսության վերաբերյալ կան հետևյալ դիտողությունները՝

1. Ցանկալի կլիներ, որ պղնձի օքսիդացած հանքանյութերի մանրացման և մեխանաքիմիական ակտիվացման գործընթացներն ուսումնասիրվեին նաև թրթռադացներում և մոլորակային աղացներում:

2. Աշխատանքում հստակ նշված չէ, թե ինչ եղանակով է իրականացվում պղնձի օքսիդային հանքանյութերի առանձնացումը դատարկ ապարներից:

3. Ցանկալի կլիներ, որ մշակված տեխնոլոգիան համեմատվեր պղնձի կորզման կոյտային հարստացման տեխնոլոգիայի հետ:

Նշված դիտողությունները ցանկություններ են և չեն նսեմացնում ատենախոսության գիտական և գործնական արժեքը:

Ատենախոսական աշխատանքը կատարված է բարձր գիտական մակարդակով, և ստացված արդյունքներն ունեն տեսական, գործնական ու կիրառական կարևոր նշանակություն, հատկապես պղնձի մետալուրգիայի ոլորտում: Մշակված տեխնոլոգիաները և դրանց տեսական հիմնավորումները կարևոր ներդրում են ժամանակակից մետալուրգիայի զարգացման գործում:

Պաշտպանության ներկայացված ատենախոսական աշխատանքն իր արդիականությամբ, գիտական նորոպեով և կիրառական նշանակությամբ ամբողջությամբ համապատասխանում է ՀՀ ԲԿԳԿ-ի գիտական աստիճանաշնորհման կանոնակարգի պահանջներին, այդ թվում «Դրույթների» 6, 7, 10, 11 և 13 կետերին և «Մետալուրգիա» մասնագիտությանը (դասիչ Ե.16.02), իսկ հայցորդ Հասմիկ Վարդանի Ավագյանը լիովին արժանի է տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

Պաշտոնական ընդդիմախոս՝

ՀԱՊՀ «Քիմիական տեխնոլոգիաների, բնապահպանության և կենսագործունեության անվտանգություն» ամբիոնի  
դոցենտ, տեխն. գիտ. թեկնածու

Մարինե Էդուարդի Սասունցյան

Տ.գ.թ., դոցենտ Մ.Է. Սասունցյանի ստորագրության իսկությունը հաստատում եմ՝

ՀԱՊՀ գիտ. քարտուղար տ.գ.թ. դոցենտ

Ծ.Ս. Հովհաննիսյան

« 18 »

06

2026թ.

