

**ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ «ФАН ва ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ  
УНИТАР КОРХОНАСИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ**

**ТОЛИБОВ БЕҲЗОД ИБРОҲИМ ЎҒЛИ**

**ҚИММАТБАҲО КОМПОНЕНТЛАР АЖРАТИБ ОЛИШ МАҚСАДИДА  
МЕТАЛЛУРГИЯ САНОАТИ СУЛЬФИДЛИ МАТЕРИАЛЛАРИ ВА  
КЕКЛАРИНИ КУЙДИРИШ ЖАРАЁНИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01. - Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва  
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металллар металлургияси  
(техника фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2021**

**Фан доктори (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора технических наук (DSc)**

**Content of dissertation abstract of doctor of technical sciences (DSc)**

**Толибов Бехзод Иброҳим ўғли**

Қимматбаҳо компонентлар ажратиб олиш мақсадида металлургия саноати сульфидли материаллари ва кекларини куйдириш жараёнини такомиллаштириш.....3

**Толибов Бехзод Иброхимович**

Усовершенствование процесса обжига сульфидных материалов и кеков металлургического производства для извлечения ценных компонентов.....27

**Tolibov Behzod Ibrohimovich**

Improvement of the process of roasting of sulfide materials and sludges of metallurgical production for the recovery of valuable components.....51

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....55

**ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ «ФАН ва ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ  
УНИТАР ҚОРХОНАСИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ**

**ТОЛИБОВ БЕҲЗОД ИБРОҲИМ ЎҒЛИ**

**ҚИММАТБАҲО КОМПОНЕНТЛАР АЖРАТИБ ОЛИШ МАҚСАДИДА  
МЕТАЛЛУРГИЯ САНОАТИ СУЛЬФИДЛИ МАТЕРИАЛЛАРИ ВА  
КЕКЛАРИНИ КУЙДИРИШ ЖАРАЁНИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01. - Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва  
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металллар металлургияси  
(техника фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2021**

Докторлик диссертацияси Навоий давлат кончилиқ институтида бажарилган.  
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.gupft.uz](http://www.gupft.uz)) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Ҳасанов Абдурашид Салиевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Шадрунова Ирина Владимировна**  
техника фанлари доктори, профессор

**Шарипов Ҳасан Турапович**  
кимё фанлари доктори, профессор

**Абед Нодира Сойибжоновна**  
техника фанлари доктори, профессор

**Тошкент кимё-технология институти**

Диссертация билан «Фан ва тараққиёт» давлат унитар корхонасининг Ахборот ресурс марказида танишиш мумкин (№ 32-21 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100174, Тошкент, Мирзо Ғолиб кўчаси, 7а уй. Тел.: (99871)246-39-28, факс: (99871)227-12-73).

Диссертация автореферати 2021 йил «06» декабрь куни тарқатилди.  
(2021 йил «26» ноябрдаги 32-21 рақамли реестр баённомаси)

*Harold*

Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш раиси, ЎзРФАкадемиги,  
т.ф.д., профессор

Илмий даражалар берувчи илмий  
уенгаш илмий котиби, к.ф.н., к.и.х.

Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар  
раиси, т.ф.д., профессор



## **КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Ҳозирги вақтда жаҳон амалиётида молибден таркибли сульфидли концентратлар турли хил печларда оксидланган ҳолда куйдирилади. Молибден саноат маҳсулотларини оксидловчи куйдириш жараёнида молибден ангидридининг миқдори юқори бўлган сифатли куйинди маҳсулот олиш мақсадга мувофиқ бўлиб, бунда амалдаги мавжуд технологиялар содали ёки аммиакли танлаб эритиш жараёнида эритма таркибига ўтмайдиган молибден диоксидининг миқдори куйинди таркибида юқори бўлишига олиб келади. Бу борада сульфидли молибден таркибли саноат маҳсулотларини оксидлаб куйдиришнинг такомиллаштирилган технологиясини ишлаб чиқиш ва жараёнда молибден (VI) оксидининг ҳосил бўлиш механизмларини тадқиқ қилиш муҳим аҳамиятга эга.

Дунёда кон-металлургия саноатининг сульфидли молибден концентратларини қайта ишлаш соҳасида маҳсулот таннархини пасайтириш, ажратиб олиш даражасини ошириш ва шу орқали ишлаб чиқариш харажатларини камайтиришга қаратилган саноат чиқиндиларини қайта ишлашнинг тежамкор усулларини яратиш мақсадида илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада жараёнларнинг чиқинди маҳсулотларида қимматли компонент миқдорини камайтириш, шунингдек, ишлаб чиқариш жараёнлари қолдиқларида қимматбаҳо компонент миқдорини камайтириш, қимматбаҳо компонентларни олиш даражасини ошириш учун янги технологияларни ишлаб чиқиш ва мавжуд технологияларни такомиллаштириш кон-металлургия саноати фан ва амалиётида алоҳида аҳамиятга эга.

Республикада металлургия саноатида молибден сульфидли маҳсулотларини қайта ишлашнинг такомиллаштирилган оксидловчи куйдириш технологиясини яратиш бўйича илмий изланишлар олиб боришга катта эътибор қаратилиб, давлат стратегик ва иқтисодий аҳамиятга эга бўлган чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясининг тўртинчи бандида «... саноатни сифат жиҳатдан янги босқичга кўтариш, маҳаллий хомашё манбаларини чуқур қайта ишлаш, тайёр маҳсулотлар ишлаб чиқаришни жадаллаштириш, янги турдаги маҳсулотлар ва технологияларни ўзлаштириш...»<sup>1</sup> бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу жиҳатдан молибден ишлаб чиқариш саноатида қимматли компонентлар ажралиш даражасининг ошиши, чиқинди маҳсулотлар таркибида молибден ва бошқа қимматбаҳо компонентларнинг максимал даражада камайтирилиши ва ўз ўрнида молибден саноати сульфидли маҳсулотини ва кекларини оксидлаб куйдиришнинг такомиллаштирилган

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг ПФ-4947-сон «2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналишлари бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги Фармони

технологиясини ишлаб чиқиш ва амалиётга жорий этиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 24 июлдаги ПФ-3145-сон «Фойдали қазилмалар конларини саноат йўли билан ўзлаштириш соҳасидаги лойиҳа-қидирув ва илмий-тадқиқот ишлари бошқарувини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» Фармонида, 2019 йил 17 январдаги ПҚ-4124-сон «Кон-металлургия тармоғи корхоналари фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» Қарорида ҳамда 2019 йил 4 октябрдаги ПҚ 4477 – сон «2019 - 2030 йиллар даврида Ўзбекистон Республикаси «яшил» иктисодиётига ўтиш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида»ги қарорлари ҳамда ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга мазкур диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг VII. «Ер тўғрисидаги фанлар (геология, геофизика, сейсмология ва минерал хом ашёларни қайта ишлаш)» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи<sup>2</sup>.** Таркибида сульфид-молибден бўлган концентратлар ва кекларни қайта ишлашда оксидлаб куйдириш жараёнини такомиллаштиришга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан: KGHM Polska Miedz (Польша), Пекинском кон-металлургия институти (Хитой), Colorado school of mines (АҚШ), Пекин илм-фан ва технологиялар университети (Хитой), El Paso Техас университети (АҚШ), University of Concepcion (Чили), Торонто университети (Канада), Ухан илм-фан ва технологиялар университети (Хитой), Аугсбург университети (Германия), Корея ноёб металлургия институти (Жанубий Корея), “Олмалик кон-металлургия комбинати” АЖ (Ўзбекистон), Миллий технологик тадқиқотлар университети «МИСиС» (Россия) ва Навоий давлат кончилик институтида (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Сульфидли молибденли концентратлар ва кекларни қайта ишлашга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, куйидаги илмий натижалар олинган: кислород иштирокида қиздирилганда молибденит концентратининг натрий хлорид билан ўзаро таъсирининг кимёси ва механизми, молибден концентратларини оксидловчи куйдириш кўрсаткичларининг ортиши, молибденит концентратларини куйдириш кинетикаси, ҳавода  $\text{MoO}_2$  нинг  $\text{MoO}_3$  га оксидланиш механизми ва кинетикасини тадқиқ қилиш усуллари, молибден концентрати босими остида оксидланиш учун кислота ва ишқорий тизимлар вақтида бир кристалли а- $\text{MoO}_3$  боғларининг  $\text{MoS}_2/\text{MoO}_2$  гетероструктураларига нисбатан морфологик

<sup>2</sup> Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи:

<http://www.natlib.uz/ru>; <https://sci-hub.se>;

<https://libgen.is>; <http://>, <https://link.springer.com>;

<http://geologinfo.ru>; <https://researchgate.net> ва бошқа манбалар.

ва структуравий эволюцияси ўрганилган (Миллий технологик тадқиқотлар университети "МИСиС" (Россия), Торонто университети (Канада), Пекин кон-металлургия институти (Хитой).

Дунёда молибден-сульфидли концентратларни оксидлаб куйдириш бўйича куйидаги устувор йўналишларда қатор илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда, жумладан: паст ҳароратли шароитда оксидловчи куйдириш жараёнининг самарадорлигига таъсир этувчи омилларни тадқиқ этиш, молибденнинг оксидли бирикмаларини ҳосил бўлишини тадқиқ этиш, самарали усулларни ишлаб чиқиш, молибден концентратлари ва кекларни қайта ишлаш, таркибида молибден бўлган сульфидли концентратларни қайта ишлаш жараёнида молибден ва бошқа қимматбаҳо металлларнинг йўқотилишини камайтириш, тўлиқ оксидланган куйинди маҳсулотларини олиш учун оксидловчи куйдиришнинг кинетикаси ва механизмларини ўрганиш.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Ноёб, нодир ва рангли металллар таркибли сульфидли маъдан ва материалларни бойитиш ва қайта ишлаш бўйича илмий ишланмалар ривожига куйидаги олимлар узоқ йиллар фаолият юритиб, илмий тадқиқот ишларини олиб борган: А.Н.Зеликман, Кривандин В.А., Sooeun Shin, T. Marin, T. Utigard, C. Hernandez, T.Ressler, П.Александров, G. Ramadorai, L.Aleman-Vazquez, Emmet R.C., van Aswegen P.C., M.Wadsworth, Санакулов К.С., Пирматов Э.А., Адамов Э.В., Меретуков М.А., Кондратьева Т.Ф., Шадрунова И.В., Панин В.В., Тусупбаев Н.К., Wilkomirsky, I., Lu Wang, Chung-Yang Bu, Bin Hu, Liqiang Mai, Hongfei Liu, N.Floquet, J.J. Robinson, J.J.Heizmann, Шарипов Х.Т., Якубов М.М., Хасанов А.С., Кожажметов С.М., Михриддинов М. ва бошқалар.

Мавжуд ишларни таҳлил қилиш асосида шуни таъкидлаш керакки, молибден ўз ичига олган сульфидли саноат маҳсулотларни оксидловчи куйдириш кўрсаткичларини яхшилаш бўйича комплекс тадқиқотлар олиб борилган ва усуллар ишлаб чиқилган. Шу билан бир қаторда оксидлаб куйдириш жараёни сифати билан боғлиқ сульфидли заррачаларнинг тўлиқ оксидланмаслиги, сульфидсизлантириш даражасининг пастлиги, олинган маҳсулотда молибден диоксиди микдорининг кўп бўлиши, жараёнда кўп энергия йўқотилиши каби муаммолар тўлиқ ўрганилмаган. Мазкур диссертация ишида оксидлаб куйдириш печларида энергиядан рационал фойдаланиш ва сульфидсизлантириш даражасини яхшилаш масалалари кенг ёритилган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Навоий давлат кончилик институти илмий тадқиқот режасининг №И-2017-8-1—«ГМЗ-3 шароитида олтин ажратиб олиш самарадорлигини ошириш учун янги турдаги куйдириш печини яратиш ва чиқинди газлардан қўшимча электр энергияси олиш» (2017-2018 йй.) ҳамда 2-2015-сон «Табиий сульфидли хомашёлар ва саноат маҳсулотларини қайта

ишлаш учун тезкор куйдириш усули ва қурилмасини яратиш» (2015-2016 йй.) мавзуларидаги илмий тадқиқот лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** қимматбаҳо компонентлар ажратиб олиш мақсадида металлургия саноати сульфидли материаллари ва кекларини куйдириш жараёнини такомиллаштиришдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

оксидловчи куйдириш ва танлаб эритиш жараёнида молибден диоксиди ва молибден ангидридининг ҳосил бўлишини ўрганиш учун молибден саноати маҳсулоти, куйиндилари, чанглари ва танлаб эритиш кекларининг минералогик тузилишини илмий тадқиқ қилиш;

печларнинг асосий кўрсаткичларини таққослаш мақсадида турли металлургия печларида оксидловчи куйдириш жараёнида минералларнинг кимёвий хоссаларини ва жараёнда молибден дисулфиди ҳамда молибден ангидриди ҳосил бўлишини аниқлаш ва солиштириш;

молибден бирикмаларидан иборат молибден саноати маҳсулоти ва кекларидан молибден триоксидини олиш;

оксидловчи куйдириш жараёнида молибден ва бошқа қимматли компонентларнинг оксидланиш даражаси ва ажратиб олишга таъсир этувчи турли омиллар қонуниятларини ўрганиш ва таҳлил қилиш;

куйдириш жараёнида молибден ангидриднинг масса улушини ошириш учун сульфидли молибден саноати маҳсулотини қайта ишлаш бўйича комплекс назарий ва амалий тадқиқотлар ҳамда самарали технологияни амалга ошириш;

молибден триоксиди ва қимматли компонентларнинг бошқа оксидли бирикмаларини кейинчалик аммоний парамолибдат олиш учун эритмага ўтказишда аммиакли ва содали танлаб эритиш усуллари технологиясини тадқиқ қилиш;

молибден маҳсулоти, чанг ва кекларни қайта ишлашнинг комплекс технологиясини яратиш ва тавсия бериш

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида Олмалиқ кон-металлургия комбинати ноёб металллар ва қаттиқ қотишмалар илмий ишлаб чиқариш бирлашмаси молибден саноати маҳсулоти, куйиндилари, содали танлаб эритиш жараёнидан чиққан молибденли кеклар ва молибден концентратларини қайта ишлашдаги саноат чанглари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** қимматбаҳо компонентларни танлаб эритиш орқали ажратиб олиш учун молибден саноати сульфидли маҳсулотини оксидлаб куйдиришнинг такомиллаштирилган технологиясини ишлаб чиқиш ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишини бажаришда замонавий комплекс усулларни жамлаган, сульфидли материалларни оксидлаб куйдириш бўйича илмий-техник маълумотларни таҳлил қилиш, аналитик, графоаналитик ва статик усуллардан иборат назарий тадқиқотлар, лаборатория синовлари, тажриба-саноат синовлари, гранулометриқ таҳлил, электрон ва рентген структурали микроскопия, пробиркали, кимёвий ва фазали таҳлил усуллари, энергодисперсион спектроскопия, масс-спектрометрия, сканерловчи электрон



микроскоп таҳлили, тажриба натижаларини математик қайта ишлаш услубларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

сульфидли маҳсулотларнинг тўлиқ оксидланмаслик ва молибден диоксиди ҳосил бўлиш сабаблари аниқланди, молибден саноати маҳсулоти, куйиндилар, молибден саноати чанглари ва танлаб эритиш кекларининг минералогик тузилиш таркиблари асосланган;

куйдириш жараёнигача ва куйдириш жараёнидан кейинги молибденли бирикмаларнинг минералогик хусусиятлари аниқланган;

куйдириш жараёнига оксидли бирикмалар ҳосил бўлиш механизмларининг таъсири асосланган ва сульфидларнинг кристалл панжарасини ўзгартирувчи кислороднинг энг мақбул таъсир шароитлари аниқланган;

молибден ишлаб чиқариш саноатининг асосий маҳсулоти ҳисобланган молибден ангидриди юқори миқдорда бўлган тўлиқ оксидланган куйинди маҳсулот олиш учун молибден саноати маҳсулотини айланма қувурли печда, қайнар қатламли печда ва кўп тубли печда оксидлаб куйдиришнинг технологик кўрсаткичлари, афзаллик ва камчиликлари аниқланган;

молибден саноат маҳсулотини оксидлаб куйдиришнинг кўрсаткичлари ўрнатилган ва такомиллаштирилган технологияси ишлаб чиқилган, куйдириш жараёнида молибден диоксидининг ҳосил бўлиш сабаблари аниқланган;

куйдириш ва аммиакли ҳамда содали танлаб эритишнинг асосий омиллари асосланган;

молибден саноат маҳсулоти ва кекларини қайта ишлаш технологик схемаси ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

молибден саноати сульфидли маҳсулотини оксидлаб куйдириш жараёнида эрмайдиган молибден (IV) оксидининг ҳосил бўлиш сабаблари аниқланган;

550°C ли паст ҳароратда 3-4 соат вақт мобайнида молибден саноати маҳсулотини оксидлаб куйдиришнинг тўлиқ технологик регламенти ишлаб чиқилган;

таркибида кўп миқдорда молибден ангидриди мавжуд бўлган сифатли куйинди олиш имконини берувчи молибден саноати сульфидли маҳсулотини кўп тубли печда оксидлаб куйдиришнинг такомиллаштирилган технологияси ишлаб чиқилган;

молибден ангидридининг эрувчанлигини яхшилаш ва эритмага ўтказиш учун молибден саноати маҳсулотининг куйиндиларини аммиакли ва содали танлаб эритишнинг мақбул омиллари ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги етарли даражада ўтказилган лаборатория ва ярим-саноат тажрибалари, ишлаб чиқилган оксидлаб куйдириш жараёни режимларини қўллаш орқали асосий компонентни ажратиб олиш даражасининг ошиши ишнинг асосий ғоясини миқдор жиҳатидан тасдиқлайди ва қониқарли мос

келадиган натижалар, оксидланиш даражасининг ошганлигини тасдиқловчи салмоқли ижобий натижалар, шунингдек ижобий лаборатория ва саноат-тажриба синовлари далолатномалари билан изоҳланади.

#### **Тадқиқотнинг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти куйдириш жараёнида сульфидли молибден бирикмаларининг тўлиқ оксидланмаслик сабаблари аниқланганлиги, шунингдек сульфидли кеклар ва материалларни муаллақ ҳолатда оксидлаб куйдиришни жадаллаштириш учун янги турдаги куйдириш печини қўллашнинг мақсадга мувофиқ эканлигини назарий асосланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти сульфидли молибден таркибли материаллардан қимматбаҳо компонентлар ажратиб олиш даражасини оширишни таъминлайдиган муаллақ ҳолатда ҳамда кўп тубли печда паст ҳароратда интенсив оксидлаб куйдириш орқали оксидланиш даражасини оширилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Қимматбаҳо компонентлар ажратиб олиш мақсадида металлургия саноати сульфидли материаллари ва кекларини куйдириш жараёнини такомиллаштириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

сульфидли молибден маҳсулотини оксидлаб куйдиришнинг такомиллаштирилган технологияси Олмалик кон-металлургия комбинати АЖ ноёб металллар ва қаттиқ қотишмалар илмий ишлаб чиқариш бирлашмаси сульфидли молибден концентратларини куйдириш жараёнида қўлланган («ОКМК» АЖнинг 2021 йил 25 ноябрдаги №АА-009633-сонли маълумотномаси). Натижада сульфидсизлантириш даражаси оширилиши таъминланган, икки босқичли танлаб эритишдан сўнг 94% оксидланган молибден эритмага ўтказиш имконини берган;

тадқиқотлар натижасида сульфидли молибден концентратларини оксидлаб куйдириш учун ўрнатилган омиллар Олмалик кон-металлургия комбинати АЖ молибден саноати маҳсулотини куйдириш жараёнида қўлланилган («ОКМК» АЖнинг 2021 йил 25 ноябрдаги №АА-009633-сонли маълумотномаси). Натижада таркибида 90% гача  $\text{MoO}_3$  бўлган сифатли куйинди олиш орқали куйиндининг эриш даражаси 92% гача оширилиши таъминлаш имконини берган;

молибден саноат маҳсулотини паст ҳароратда (550 °С) 3-4 соат мобайнида оксидлаб куйдиришнинг технологик регламенти Олмалик кон-металлургия комбинати АЖ сульфидли молибден концентратларини куйдириш жараёнида қўлланилган («ОКМК» АЖнинг 2021 йил 25 ноябрдаги №АА-009633-сонли маълумотномаси). Натижада  $\text{MoO}_3$  нинг эритмага ўтиши 94% гача кўтарилган, бошқа керакли қимматбаҳо компонентлар кек таркибида қолиши таъминлаш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқотнинг натижалари 4 та халқаро ҳамда 4 та республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 23 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та мақола, жумладан 2 та республика ва 8 та хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиш ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, бегта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 198 бетни ташкил этган.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида олиб борилган тадқиқотнинг долзарблиги ва унга бўлган талаб, тадқиқот мақсади ва вазифалари асосланган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари, муаммонинг ўрганилганлик даражаси баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга қўлланиш бўйича тавсиялар, нашр қилинган ишлар ва диссертация тузилиши келтирилган.

**“Турли молибден концентратларини оксидловчи куйдириш бўйича жаҳон технологияларининг ҳолати”** деб номланган биринчи бобида сўнгги йилларда ишлаб чиқилган турли хил сульфидли материалларни, шу жумладан молибден ишлаб чиқаришнинг қўшимча маҳсулотлари ва таркибида 9-10% гача сульфидли олтингугурт бўлган молибден кекларини оксидловчи куйдириш муаммоларини ўрганадиган замонавий адабиёт манбалари ҳақида умумий маълумот ва таҳлил қилиш натижасида, оксидловчи куйдириш жараёни маҳсулотига қўйиладиган талаблар таҳлил қилинган. Турли хил металлларни ўз ичига олган сульфидли материалларни оксидловчи куйдиришнинг мавжуд технологияларини таҳлил қилиш жараёнида қуйидаги самарасизликлар аниқланди:

Молибден концентратларини оксидловчи куйдириш жараёни 550-600 °C ҳароратда амалга оширилади, куйиш ҳароратининг ошиши билан сульфид зарралари  $\text{MoO}_2$  ва  $\text{MoO}_3$  гача оксидланади. Сульфидларнинг кам оксидланишига йўл қўймаслик учун ҳарорат кўтарилганда, у ҳолда тез суюқладиган заррачаларнинг бирлашиб, эриган заррачалар шаклланиши бошланади.

Молибден концентратларини куйдириш учун анъанавий равишда қуйидаги қурилмалар қўлланилади: куйиндини қўлда аралаштириш амалга ошириладиган муфел ёки камерали печлар; айланма қувурли печлар; кўп тубли печлар; қайнар қатламли печлар.

Молибден концентратлари ва ўрта қисмларини қайта ишлашнинг мавжуд маҳаллий ва хорижий технологиялари олтингугурт диоксидини газ фазасига, ренийнинг ярмидан кўпи  $\text{Re}_2\text{O}_7$  шаклида ва қисман  $\text{MoO}_3$  шаклида молибденни чиқариш билан оксидловчи куйдиришдан иборат. Бу экологик

муаммоларни келтириб чиқаради ва металлларнинг тикланмайдиган йўқотишларига олиб келади.

Мавжуд технологияларнинг юқоридаги камчиликлари сулфидли материалларни оксидловчи куйдиришнинг бошқа усуллари ўрганиш учун асосдир.

Пирометаллургия кўпчилик металлларни металлургик қайта ишлашнинг асосий усули бўлиб қолмоқда. Ушбу металлга ишлов бериш усули куйдиришни ўз ичига олади, бу жараён газ-қаттиқ реакциясини ўз ичига олади, бу жараёнда қаттиқ модданинг юқори ҳароратли муҳитга киритилиши, куйдириладиган материалнинг керакли таркибий қисмларини янада тозалашдан иборат. Дунёда деярли барча молибден концентратлари бугунги кунда оксидловчи куйдириш жараёнидан ўтади, чунки бу ишлаб чиқарувчилар учун кутилган натижаларни келтириб чиқарадиган аниқ белгиланган жараён ҳисобланади.

Одатда, молибден концентратларини қайта ишлаш куйдиришни ўз ичига олган кўп босқичли жараён бўлиб, босимли оксидланиш эса керакли материални эритмага тўғридан-тўғри ўтказишдир. Камроқ қўлланилса-да, босимли оксидланиш сифатсиз концентратни самарали камайтириш мумкин. Бундан ташқари, кўплаб экологик чекловлар пирометаллургия жараёнларига нисбатан тобора кучайиб бормоқда; бу сифатсиз концентратли куйдиришдан фойдаланиш имкониятини янада камайтиради. Гидрометаллургиядан фойдаланиш, айниқса босимли оксидланиш, молибден концентратларини қайта ишлаш бўйича бир қанча сўнгги тадқиқотларда истиқболли натижаларни кўрсатди.

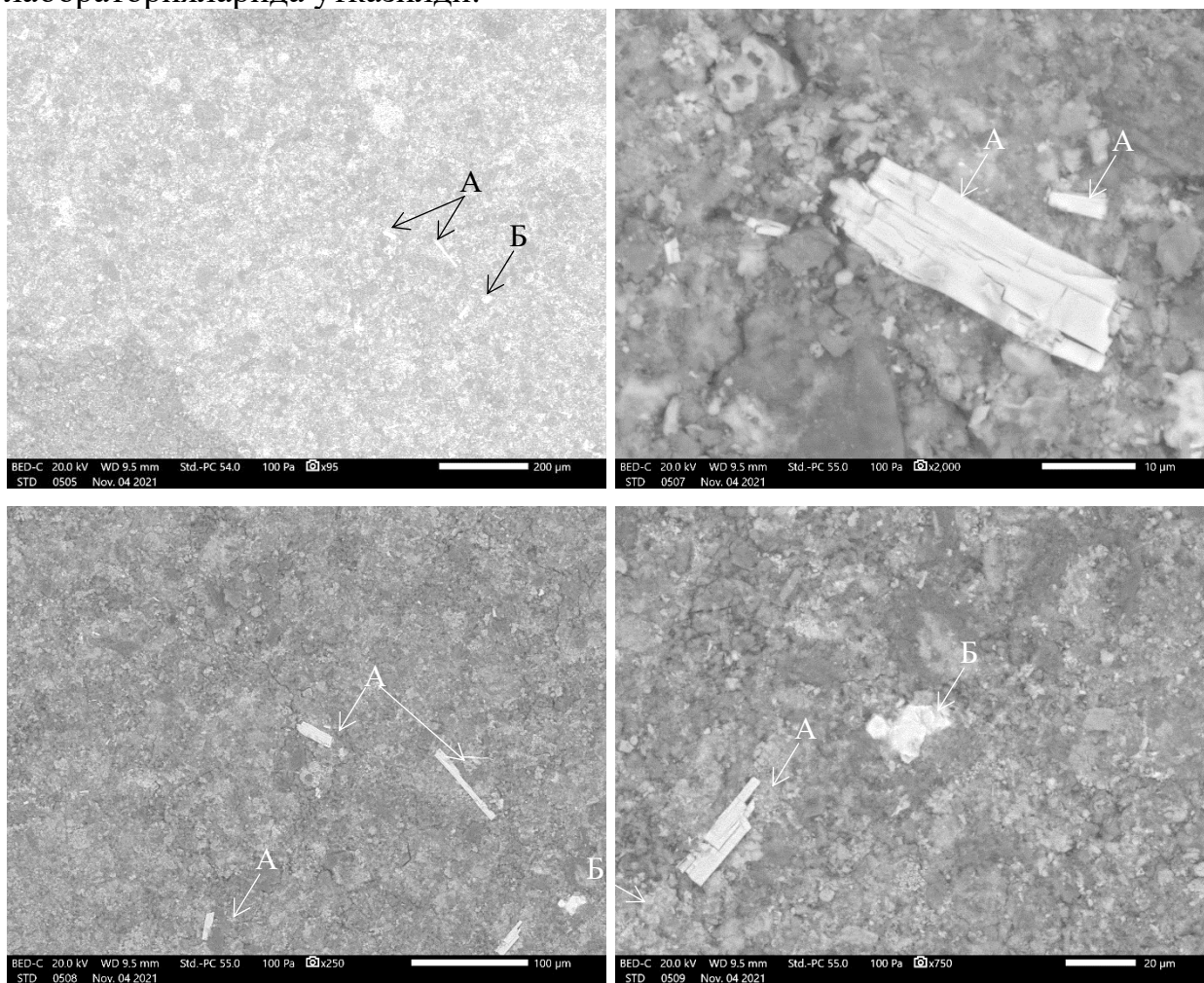
Технологик печлар деярли барча кимё саноатида кенг қўлланилади. Печларда ёқилғининг (газсимон, суюқ ва комбинацияланган) ёниши туфайли қайта ишланган маҳсулотни иситиш жараёни амалга оширилади. Иссиқлик узатиш механизми анча мураккаб, чунки бу қурилмаларда, масалан, иссиқлик алмашинувчиларидан фарқли ўлароқ, радиация (радиация) компонентининг умумий иссиқлик узатишдаги ҳиссаси катта. Баъзи ҳолларда бу иссиқлик узатиш механизми кенг тарқалган. Олинган тутун газларининг ҳаракатини ташкил этиш, ўз навбатида, конвектив компонентнинг умумий иссиқлик ўтказувчанлигига ҳисса қўшишга сезиларли таъсир қилади. Ўтказилган таҳлиллар асосида тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари аниқланган.

Диссертациянинг **“Тадқиқот объектлари ва усуллари”** номли иккинчи бобида объектни танлаш ва асослаш шакллантирилган, паст ҳароратли интенсив оксидловчи куйдириш, таклиф этилаётган технология самарадорлигини ўрганиш бўйича тадқиқот усуллари ишлаб чиқилган, ўрганилаётган материалларнинг кимёвий ва минералогик таркиби ўрганилган. Натижалар таҳлил қилиниб, кимёвий ва минералогик таҳлил маълумотлари асосида молибден ишлаб чиқаришнинг сулфидли молибденли куйиндилар, молибден саноат маҳсулоти, кеклар ва чангларни оксидловчи куйдириш бўйича тадқиқот методологияси ишлаб чиқилган, сулфидли молибден ўз ичига олган материалларни (кек, молибден саноат маҳсулоти, чанг, куйиндилар)

оксидловчи куйдиришни синаш мақсадида ҳар бир ўтказилган тажриба учун иш кетма-кетлиги ишлаб чиқилган.

Тажрибалар давомида тадқиқот объекти сифатида турли хил сулфидли материаллар ишлатилган: ОКМК АЖ "Нодир металллар ва қаттиқ қотишмалар" илмий ишлаб чиқариш бирлашмаси гидрометаллургик ишловдан сўнг таркибида 8-10% гача молибден бўлган молибден кеклари, молибден саноати маҳсулоти, чанглари ва куйинди маҳсулотлари.

Намуналарнинг кимёвий ва фазавий таҳлиллари НКМК ДК Марказий илмий-тадқиқот лабораторияси ва ОКМК АЖ "Нодир металллар ва қаттиқ қотишмалар" илмий-ишлаб чиқариш бирлашмаси кимёвий лабораторияларида ўтказилди.



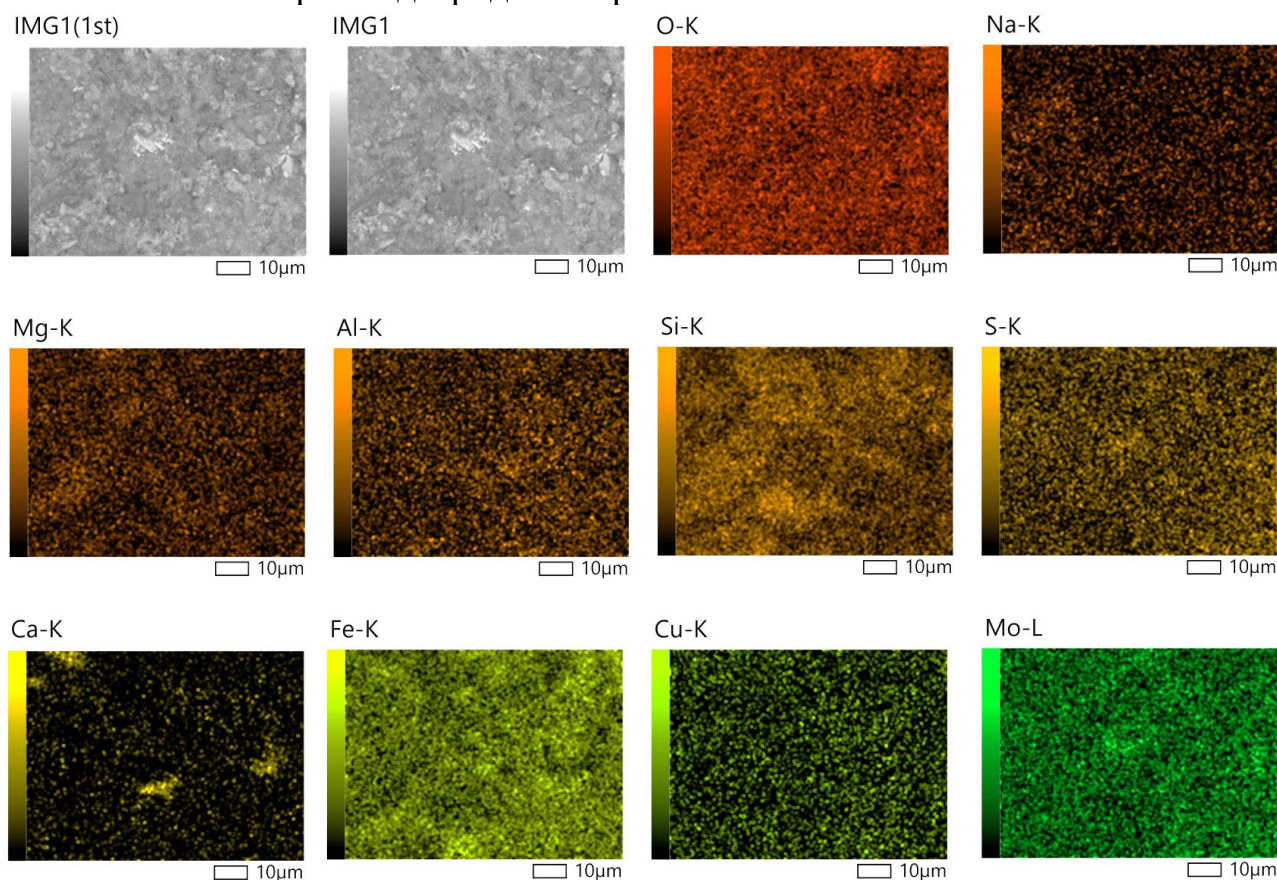
**1-расм. Сканерловчи электрон микроскоп тасвирлари (танлаб эритиш кеклари)**

Ўрганилаётган материалнинг хусусиятларини тўлиқ таҳлил қилиш учун куйидагилар бажарилди:

1. Микрогрануляция бўйича тадқиқотлар
2. Гарнуларнинг иссиқлик ва механик барқарорлиги ўрганилди
3. Оксидлаб куйдириш жараёнини тадқиқ қилиш
4. Танлаб эритиш жараёнини ўрганиш

Барча намуналар трансмиссия электрон микроскопидаги элементар таҳлил энергия дисперсив спектроскопия (ЭДС) ёки характерли электрон энергиясини йўқотиш спектроскопияси EELS ёрдамида амалга оширилди.

1-расмда танлаб эритиш кекларини сканерловчи электрон микроскопидаги тасвирлари кўрсатилган. Расмда кислород ва сульфидлар билан боғланган молибден зарралари кўрсатилган ва намуна юзасининг асосий қисми темир оксидлари билан қопланганини кўриш мумкин. Бунда А - молибден оксидлари, Б - молибденнинг сульфид зарралари ва қолганлари, асосан, темир оксидлари белгиланган. Сканерли электрон микроскопда оғир зарралар ёрқинроқ кўринади, чунки зарралар қанчалик ёрқин бўлса, шунчалик оғирроқ бўлади. Юқоридагилардан хулоса қилиш мумкинки, намунанинг асосий юзаси темир оксидларидан иборат.



**2-расм. Танлаб эритиш кекларининг ЭДС таҳлил натижалари**

Тадқиқотлар давомида, тўлиқ сирт харитасини (хариталаш усули) ўрганиш учун ЭДС таҳлили ўтказилди (2-расм). Бу усул намунанинг қайси қисмида таркибий элементлар жойлашганлигини аниқлайди. 2-расмда айтилишича, намунада асосан кислород мавжуд ва кислород мавжуд бўлган жойда Fe ва Si сигналлари кўринган. Молибден ва олтингугуртнинг сигналлари жуда яқин, шунинг учун молибденнинг L-чизиғи ва олтингугуртнинг K-чизиқларининг пиклари деярли бир хил. Энергия дисперсив спектрометрида рухсат этилган энергия фарқи 130 eV ни ташкил қилади. Аммо молибденнинг La чизиғи ва олтингугуртнинг Ka чизиғи ўртасидаги фарқ 14 eV ни ташкил қилади. Шунинг учун энергия дисперсив



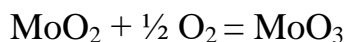
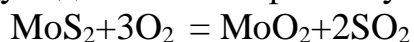
спектрометрни таҳлил қилганда, у бир пикнинг ўзида молибден ва олтингугуртни кўрсатади.

Олмалик кон-металлургия комбинати Ноёб металллар ва қаттиқ қотишмалар илмий-ишлаб чиқариш бирлашмасининг молибден сульфидли материалларини оксидланган ҳолда куйдириш бўйича тадқиқот олиб бориш технологияси ишлаб чиқилди.

Оптимал куйдириш режимини аниқлаш учун жараён турли шароитларда амалга оширилди. Шундай қилиб, печ ичидаги ҳарорат 450°C дан 750°C гача ушлаб турилди. Ушбу оралиқда 7 та синов амалга оширилди (450, 500, 550, 600, 650, 700, 750°C). Жараённинг давомийлиги ҳам 45 дақиқадан 120 дақиқাগача ўрнатилди. Ҳар бир ҳарорат режимида тадқиқот натижаларининг ишончлилигини таъминлаш учун камида 8 та тажриба ўтказилди. Оксидланиш жараёнидан сўнг барча намуналар кимёвий таҳлилга топширилди.

Диссертация ишининг **“Молибденли сульфидли маҳсулотларни оксидловчи куйдиришнинг назарий асослари ва тадқиқотлари”** деб номланган учинчи бобида турли сульфидли материалларни интенсив ва паст ҳароратли режимларда оксидловчи куйдиришнинг такомиллаштирилган технологияси ишлаб чиқилган.

CrO<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, WO<sub>3</sub> ва MoO<sub>3</sub> каби ўтиш металл оксидлари муҳим саноат қиймати туфайли кўплаб тадқиқотларда кўриб чиқилган. Уларнинг орасида MoO<sub>3</sub> атроф-муҳит ҳароратида қаттиқ ҳолатдаги литийли батареялар учун энг муҳим интеркаляция материалларидан биридир. Бундан ташқари, MoO<sub>3</sub> одатда молибден металл, ферромолибден қотишмаси ва бошқа соф молибден кимёвий бирикмалари каби саноат молибден маҳсулотларининг асосий бошланғич материали сифатида ишлатилади. Саноат даражасидаги MoO<sub>3</sub> ишлаб чиқариш ҳозирги вақтда молибденит концентратини анъанавий кўп тубли печларда оксидловчи куйдириш йўли билан амалга оширилади. Молибденит концентратининг оксидланиш кинетикасининг турли хил тадқиқотлари ҳақида хабар берилган ва уларнинг аксарияти оксидланиш жараёни MoO<sub>2</sub> саноат маҳсулоти орқали ўтишини кўрсатади ва тегишли оксидланиш жараёнларини қуйидагича тавсифлаш мумкин:



Молибденит концентратини оксидловчи куйдиришнинг кинетикаси асбоб-ускуналарни лойиҳалаш ва ишлатиш, шунингдек, куйдириш жараёнининг шартларини танлаш учун қизиқиш уйғотади. Ушбу тадқиқотнинг мақсади молибденит концентратининг куйдириш механизмининг яхшироқ тушунишга ёрдам берадиган молибденит концентратини куйдириш жараёнида MoO<sub>2</sub> нинг кейинги оксидланишини ўрганишдир. Бундан ташқари, MoO<sub>3</sub>, MoO<sub>2</sub>, Mo<sub>4</sub>O<sub>11</sub>, Mo<sub>5</sub>O<sub>14</sub>, Mo<sub>8</sub>O<sub>23</sub>, Mo<sub>17</sub>O<sub>47</sub>, Mo<sub>18</sub>O<sub>52</sub> ва бошқалар каби стехиометрик Mo:O нисбати ҳар хил бўлган бир неча фазалар мавжуд. Улар орасида MoO<sub>3</sub> ва MoO<sub>2</sub> термодинамик жиҳатдан энг барқарор фазалардир. Бинобарин, сўнгги ўн йилликларда MoO<sub>3</sub> нинг водород билан MoO<sub>2</sub> га қайтарилиши механизми ва кинетикаси кўплаб тадқиқотчилар томонидан кенг

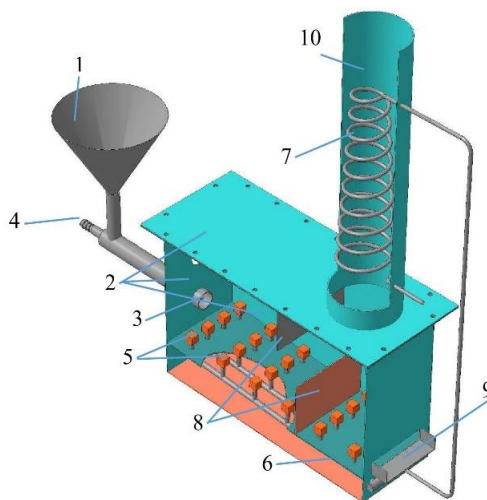
ўрганилди. Бироқ,  $\text{MoO}_2$  нинг  $\text{MoO}_3$  га оксидланиши бўйича фақат бир нечта тадқиқотлар ўтказилган.

Тадқиқотнинг мақсади жараённинг қулайлиги ва оддийлиги, шунингдек, сульфидларни оксидланиш жараёнида ажралиб чиқадиган иссиқликдан мақсадли фойдаланиш туфайли юқори маҳсулдорликка эга сульфид концентратларини интенсив оксидловчи қуйдириш имконини берадиган усулни яратиш эди.

Ишлаб чиқилган усул (3-расм) чизмада изоҳлаб берилган қурилмада амалга оширилади. Бунда, қурилманинг умумий кўриниши келтирилган ва жараён қуйидагича амалга оширилади:

дастлабки сульфидли концентрат печнинг ичига махсус конструкцияли, табиий газ 3 ва кислородни 4 аралаштириб берадиган горелка 1 орқали узатилади ва шунинг ҳисобига печнинг ичида машъала ҳосил бўлади. Оксидлашга узатилаётган сульфидли материаллар муаллақ ҳолатда машъала билан печнинг туб қисмида жойлашган ҳаво фурмалари орқали берилаётган иссиқ ҳаво ёрдамида оксидланади. Бу ҳолатда шунга эътибор бериш лозимки, берилаётган ҳаво иссиқлиги сульфидларни оксидлаш жараёнида печдан чиқаётган газлар иссиқлигидан фойдаланиб олинади. Печнинг мўрисида 10 спирал шаклидаги трубкалар ўрнатилган бўлиб, у орқали ҳаракат қилиш давомида қизийдиган қуритилган ҳаво ҳаракатланади. Таклиф қилинаётган бу технология қуйидаги масалаларни ечиш имконини беради:

1. Ўрнатилган спирал трубка ҳавони қиздиради ва ёниш натижасида чиқаётган газлар ҳароратини пасайтиради (чиқаётган газлар ҳарорати  $400^\circ\text{C}$  дан паст бўлади). Бунда қурилма мўрисининг коррозиясига олиб келадиган кислоталар кам ҳосил бўлади.



1. Шихта юкловчи горелка. 2. Печ корпуси. 3. Табиий газ бериш учун найча.
4. Кислород учун трубка. 5. Ҳаво фурмалари. 6. Печ туби. 7. Берилаётган ҳавони қиздириш учун спирал трубка. 8. Тўсиқлар. 9. Бўшатиш. 10. Печнинг мўриси

**3-расм. Таклиф қилинаётган печ тажриба қурилмасининг умумий кўриниши**

2. Иккиламчи иссиқликдан фойдаланиш. Қуйдирилаётган материаллар остидан ҳаво фурмалари орқали иссиқ ҳавонинг берилиши, аввало,



уларни муаллақ ҳолатда ушлаб туриш ва печнинг ичида оптимал ҳароратни сақлаш имконини беради.

Оксидланган заррачалар тўсиқларга 8 урилади ва кейинчалик печ тубининг қиялиги ҳисобига бўшатиш нуқтасига боради. Тубнинг қиялиги 3-5° бўлади. Тўсиқлар 5 куйдирилаётган материални тўлиқ оксидлангунча печнинг ичида ушлаб туриш вазифасини бажаради. 3-5° қияликдаги печнинг туби куйиндини бўшатиш туйнугигача ҳаракатланиш имконини беради, шунингдек, жараённинг тезлигини яъни материалнинг печ ичида бўлиш вақтини бошқаради. Жараён 600-650°C ҳарорат оралиғида олиб борилади.

Таклиф қилинаётган печнинг афзалликлари юқори унумдорлик, шихта ва ёқилғининг бир вақтда берилиши, юқори десульфуризация даражаси, ёқилғининг тежамкорлигидир. Мўри газлари иссиқлигидан фойдаланганда иссиқ ҳаво берилади (жараёнда спирал трубка ўрнатганда печга берилаётган ҳаво қизийди, чиқаётган чанглар совийди ва чангнинг чиқиши 10% га камаяди), мўрида ҳарорат 400°C дан ошмайди, бу эса, ўз навбатида, кислоталар ҳосил бўлишини камайтиради ва печ қисмлари занглашини камайтиради, мўри юзасидаги иссиқлик энергияси билан электр энергияси олиш. Ушбу агрегат исталган турдаги сульфидли материалларни куйдириш учун лойиҳалаштирилган.

Таҳлиллар натижасида:

Молибден ишлаб чиқариш маҳсулотида сульфид зарраларнинг кам оксидланиши ва молибден диоксиди ҳосил бўлишининг сабаблари аниқланган. Оксидловчи куйдириш жараёнининг механизмлари босқичма-босқич ўрганилган, бу эса кам оксидланиш сабабини бартараф этишга имкон беради.

Якуний маҳсулот  $\text{MoO}_3$  атомлар/молекулаларнинг юқори ҳаракатчанлиги ва  $\text{MoO}_3$  нинг юқори буғ босими туфайли юқори оксидланиш ҳароратида қатламли ва силлиқ заррачаларни ҳосил қилишга интилади; паст оксидланиш ҳароратида эса, ҳосил бўлган  $\text{MoO}_3$  йирик ва йирик агломерат заррачаларига айланди.

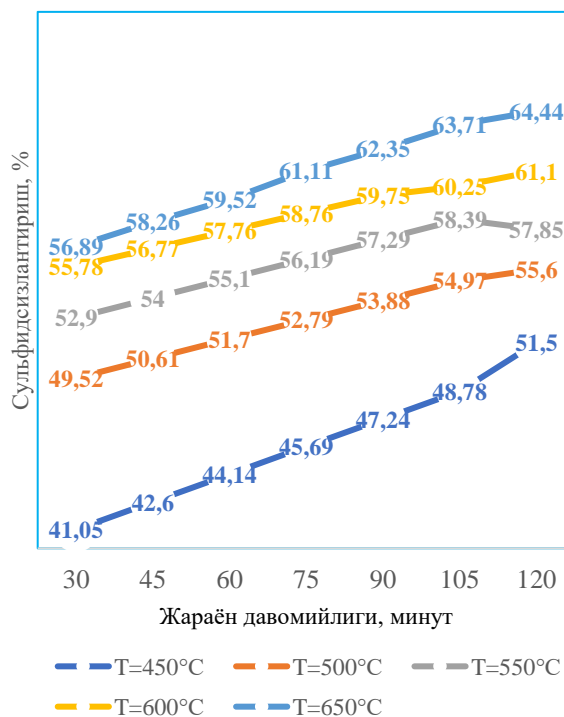
Икки фазали реакциянинг кинетик модели 550 °C дан 620 °C гача бўлган ҳарорат оралиғида  $\text{MoO}_2$  нинг  $\text{MoO}_3$  га оксидланиш кинетикасини тавсифлаш учун ишлатилади.  $\text{MoO}_2$  нинг  $\text{Mo}_4\text{O}_{11}$  га ва  $\text{Mo}_4\text{O}_{11}$  нинг  $\text{MoO}_3$  га оксидланиш жараёнлари биринчи навбатда назорат қилиниши аниқланди: ўз ўрнида тартибли фазалараро кимёвий реакция ва икки ўлчовли диффузия. Тегишли фаоллаштириш энергиялари мос равишда 77,691 кДж/мол ва 158,664 кДж/мол эканлиги аниқланди.

Диссертация ишининг **“Ҳар хил молибден оксидларининг ҳосил бўлишини аниқлаш учун оксидловчи куйдиришнинг технологик кўрсаткичларини тадқиқ этиш ва аниқлаш”** номли тўртинчи бобида жараёнда энг яхши кўрсаткичларни олишнинг оптимал шартлари тажриба синовлари орқали асослаб берилган.

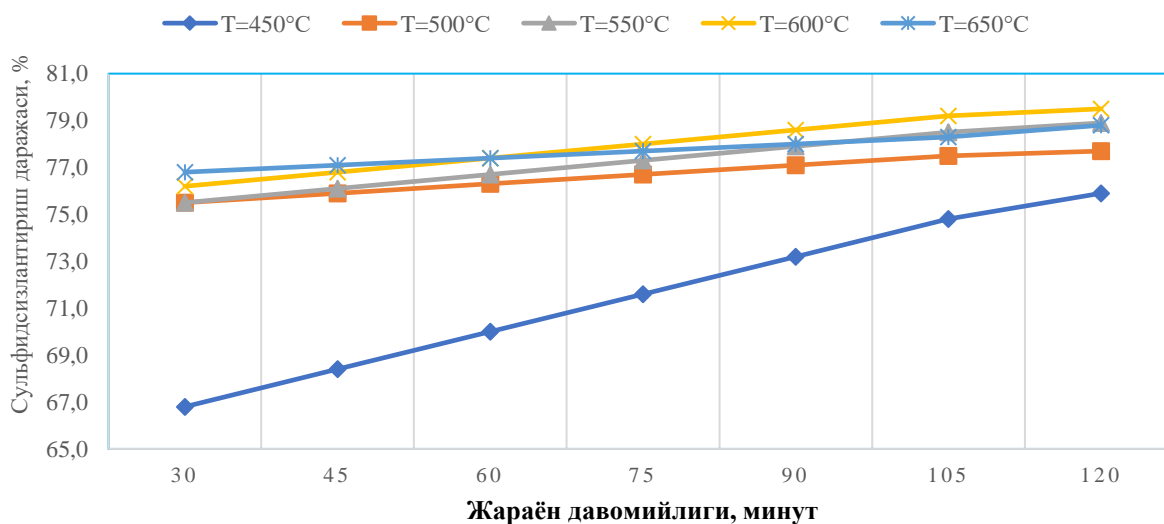
Таклиф этилаётган оксидлаб куйдириш печида сульфидли молибден кекларини паст ҳароратда муаллақ ҳолатда оксидлаб куйдириш тажрибалари

ўтказилди. Тажрибалар учун куйидаги таркибга эга намуналар олинди: 1-намуна – 1,07 %  $S$  и 8,62 %  $MoO_3$ , 2-намуна – 1,62 %  $S$  и 8,37 %  $MoO_3$ . ОКМК АЖ Нодир металллар ва қаттиқ қотишмалар илмий ишлаб чиқариш бирлашмаси молибденли маҳсулотларни гидрометаллургик қайта ишлаш цехида йириклаштирилган тажриба-синовлар амалга оширилди.

4-расмда ўтказилган лаборатория тадқиқотлари график кўринишида келтирилган. Печ ичида ҳарорат 450°C дан 650°C гача ўзгартирилади, жараён давомийлиги эса 30 минутдан 135 минутгача вақт оралиғида ўзгартирилади. Фақатгина берилаётган маҳсулот намлиги барча синовларда бир хил. 5-расмда асосий элемент ажратиб олиш даражасининг оксидаб куйдириш жараёни ҳарорати ва давомийлигига боғлиқлигини аниқлаш бўйича тадқиқотлар натижалари келтирилган.



4-расм. Жараён ҳарорати ва давомийлигининг сульфидли бирикмалар оксиданиш даражасига таъсири (Mo)



5-расм. Металл ажлатиб олиш даражасининг оксидаб куйдириш жараёни ҳарорати ва давомийлигига боғлиқлиги

Бунда кўриш мумкинки, жараён 600°C да 90 минут давомийликда энг яхши самарадорликка эга. Сўнг 16% намликка эга маҳсулот турли ҳарорат ва жараён давомийлигида синовдан ўтказилди. 500-550°C ҳароратда олиб борилган тажрибалар энг самарали натижалар берди. 1 ва 2- жадвалларда 16%

намликдаги маҳсулотни оксидлаб куйдириш бўйича тажриба натижалари берилган.

1-жадвал

**Молибден кекларини самарали режимни аниқлаш учун оксидлаб куйдириш тажриба натижалари T=500°C, W=16%**

Мо микдори, %	S микдори, %	Жараён давом этиш вакти, мин	Куйдириш жараёнидан сўнг S микдори, %	Сульфид- сизлантириш даражаси, %	Мо ажратиб олиш даражаси, %
8,67	1,58	30	0,72	54,56	75,1
8,67	1,58	45	0,69	56,46	75,7
8,67	1,58	60	0,66	58,35	76,3
8,67	1,58	75	0,63	60,25	76,9
8,67	1,58	90	0,60	62,15	77,5
8,67	1,58	105	0,57	64,05	78,1
8,67	1,58	120	0,56	64,70	78,5
8,67	1,58	135	0,56	64,7	78,3

Технологик кўрсаткичларни яхшилаш мақсадида 700°C ҳароратда тажрибалар ўтказилди. Бунда оддий завод шароитидан кўра яхшироқ натижага эришилди. Чунки завод шароитида оксидлаб куйдириш жараёни айланма қувурли печларда 550-600°C ҳароратда олиб борилади.

2-жадвал

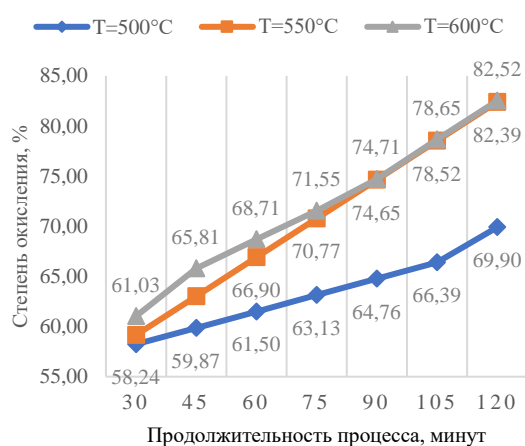
**Молибден кекларини самарали режимни аниқлаш учун оксидлаб куйдириш тажриба натижалари T=550°C, W=16%**

Мо микдори, %	S микдори, %	Жараён давом этиш вакти, мин	Куйдириш жараёнидан сўнг S микдори, %	Сульфид- сизлантириш даражаси, %	Мо ажратиб олиш даражаси, %
8,92	1,68	30	0,71	57,74	76,1
8,92	1,68	45	0,66	60,54	78,5
8,92	1,68	60	0,62	63,33	80,9
8,92	1,68	75	0,57	66,13	83,3
8,92	1,68	90	0,52	68,93	85,7
8,92	1,68	105	0,48	71,73	88,1
8,92	1,68	120	0,40	76,20	91,5
8,92	1,68	135	0,396	76,42	91,45

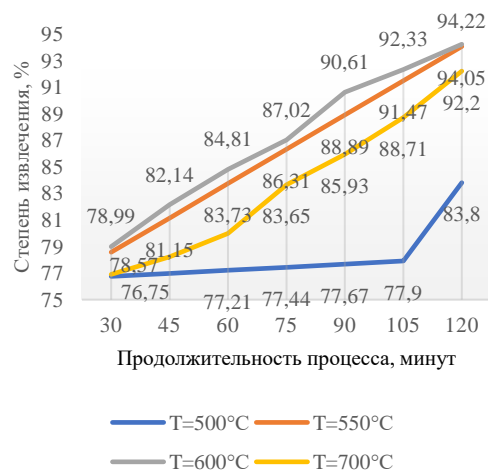
Асосий натижалар ва афзалликлар қуйидаги графикларда ўз аксини топган (6-расм., 7-расм). 7-расмда печь ҳарорати ва жараён вақтининг оксидланиш ва кейинчалик металл ажратиб олиш даражасига таъсири келтирилган. Бунда оптимал ҳарорат сифатида 550°C белгиланди, ҳароратнинг оширилиши тез эрувчи заррачаларнинг бирикиб қолишига, натижада қимматбаҳо компонент ажратиб олиш даражасининг камайишига сабаб бўлади.

Таклиф этилаётган муаллақ ҳолатда интенсив куйдириш печи саноат-тажриба ускунасида 12% намликдаги сульфидли молибден кеклари паст ҳароратли оксидлаб куйдириш жараёни бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида ҳарорат ва жараён давомийлигининг ошиб бориши оксидланиш ва металл ажратиш олиш даражасига таъсир қилиши тасдиқланди.

Шунингдек, молибден сульфидли кекларини оксидлаб куйдириш 550-600°C ҳароратда 90 минут давомида олиб борилиши мақсадга мувофиқ самарали шароит эканлиги аниқланди.



**6-расм. 12% намликдаги материал қайта ишланганида жараён давомийлиги ва ҳароратининг оксидланиш даражасига таъсири**



**7-расм. 12% намликдаги материал қайта ишланганида жараён давомийлиги ва ҳароратининг металл ажратиш олишга таъсири**

MoS<sub>2</sub> ни куйдириш муфел печида юпқа қатламли намуна бўлган кичик дисклар ёрдамида ҳаво муҳитида амалга оширилди. Натижалар шуни кўрсатадики, оксидланиш даражаси 440°C дан паст даражада секин, кейин эса ортади ва тахминан 540 дан 640°C гача ўзгармас бўлиб қолади. Молибденит концентратини оксидлаш учун MoO<sub>2</sub> нинг саноат маҳсулоти ҳосил бўлиши билан икки реакцияли механизм таклиф қилинган. Модел биринчи концентрат учун экспериментал натижалар билан яхши мос келади ва бу икки босқич учун 22 кДж/мол фаоллаштириш энергияси ҳисобланди. Концентратнинг вазн йўқотиши кутилганидан каттароқдир, бу MoO<sub>2</sub> дан MoO<sub>3</sub> га тўлиқ конвертация қилинмаганлигини кўрсатади. Ушбу натижани яхшилаш учун кўпроқ куйдириш талаб этилади.

Куйинди маҳсулотларлар ҳар қандай ҳароратда тўпланиб қолишга, агрегацияланишга мойил бўлиб, реакцияга киришмаган концентрат эса юмшоқ кукун бўлиб қолади. 620°C дан юқори ҳароратларда тез эрувчи зарраларнинг бирлашиб қолиш жараёни бошланади ва концентрат учун тигел остидан намуналарни олиб ташлаш қийин бўлди. MoO<sub>3</sub> нинг сублимацияси фақат 650 °C дан юқори ҳароратларда кўпроқ кузатилди.

Диссертация ишининг **“Молибден концентратлари ва кекларни оксидловчи куйдиришнинг оптимал параметрларини ишлаб чиқиш ва**

**технологиясини тавсия этиш”** деб номланган бешинчи бобида қайнар қатламли печда, айланма қувурли ва кўп тубли печларда оксидловчи куйдиришнинг технологик кўрсаткичларини таққослаш кўриб чиқилган.

Молибден саноати маҳсулотларини оксидловчи куйдириш сульфид зарраларини молибден (VI) оксидигача оксидлаш учун амалга оширилади. Бироқ, молибден саноати маҳсулотининг сульфидларини оксидланиш жараёнида молибден (IV) оксиди қисман ҳосил бўлади ва бу танлаб эритиш жараёнига халақит беради, чунки молибден оксидларининг эрувчан шакли асосан молибден триоксиди ( $\text{MoO}_3$ ) ҳисобланади. Танлаб эритиш жараёнига халақит берадиган бошқа молибден оксидларининг пайдо бўлиш сабабларини ўрганиш бўйича тадқиқотлар олиб борилди. Тадқиқотлар турли шароитларда ва учта печда ўтказилди. Жаҳон амалиётида оксидловчи куйдириш учун асосан учта печ мавжуд: кўп тубли печ, айланма қувурли печ ва қайнар қатламли печ.

Биринчи бобда ушбу печларнинг характеристикалари, ишлаш тамойиллари ва дизайнлари етарлича ёритилган. Мазкур бўлимда, молибден ишлаб чиқаришнинг сульфидли концентратларини оксидловчи куйдириш учун ишлатиладиган куйдириш печларининг кўрсаткичларини солиштириш учун молибден маҳсулотларини оксидловчи куйдиришни ўрганиш натижалари тақдим этилган.

Учта оксидловчи куйдириш печларида бир қатор тажрибалар ўтказилди; оксидланиш даражасини ва молибден диоксиди ва молибден ангидридининг ҳосил бўлишини ўрганиш учун тажрибалар энг яхши шароитларда ўтказилди. Тадқиқот объекти сифатида "ОКМК" АЖда молибден ишлаб чиқаришнинг бошланғич нуқтаси бўлган молибден саноат маҳсулотлари танланди.

Қуйида экспериментал тадқиқотлар натижалари келтирилган.

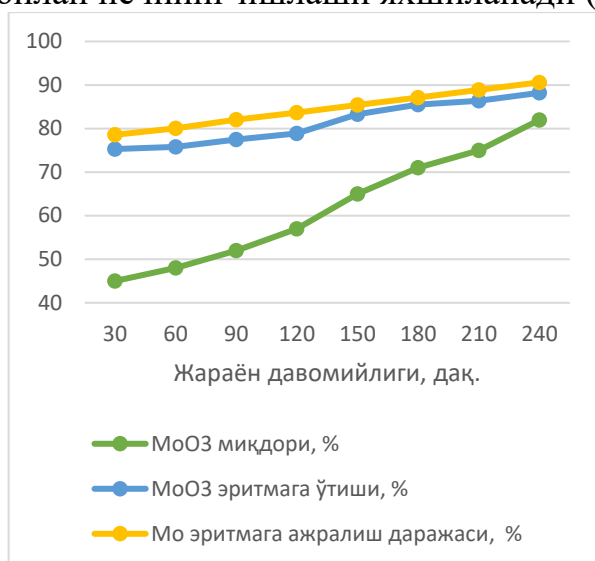
Биринчидан, стандарт завод шароитида айланма қувур печларда оксидловчи куйдириш амалга оширилди ва олинган куйинди маҳсулотларнинг танлаб эритиш жараёнида эрувчанлиги аниқланди. Олинган 100 г ҳажмдаги куйинди маҳсулот заводнинг технологик регламентига мувофиқ заводда аммиакли сувда эритилди. Куйинди маҳсулотни аммиак эритмаси билан ювганда, молибден ангидрид эритмага киради. Мис, рух, никелнинг молибдатлари ва сульфатлари ҳам аммиакли сувда эрийди.

Темир молибдати таркибидаги молибден фақат 40-50% эритмага киради, калсий молибдати, молибден диоксиди, молибден дисульфиди аммиакли сувда амалда эримайди. Ушбу бирикмалар билан боғланган молибден печларда куйдирилгандан ёки кислотали парчаланишдан кейин кекларда қолади.

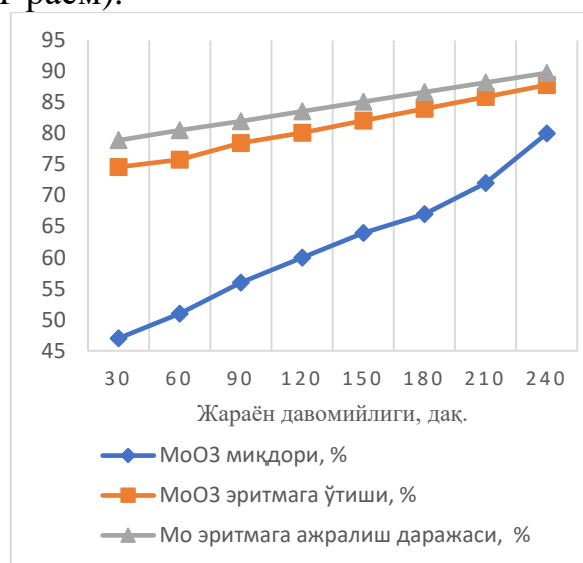
Олинган кекларнинг эрувчанлигини ўрганиш натижалари қуйида 8-расмда кўрсатилган.

550°C ҳароратда куйинди маҳсулотнинг эрувчанлиги жараённинг давомийлигига қараб 88,2% гача кўтарилади. Оксидловчи бирлик ичидаги материални ушлаб туриш сульфид зарраларини  $\text{MoO}_3$  га оксидланишига олиб келади. Аммо айланма қувурли печ, энергиянинг бутун юза бўйлаб тақсимланишини таъминлашдан ташқари, ҳарорат ва кислород этишмаслиги

сулфидларнинг кам оксидланишига ёки оксидловчи куйдириш жараёнида  $\text{MoO}_2$  ҳосил бўлишига олиб келди. Бундан ташқари, ҳароратнинг ошиши билан печнинг ишлаши яхшиланади (11-расм).



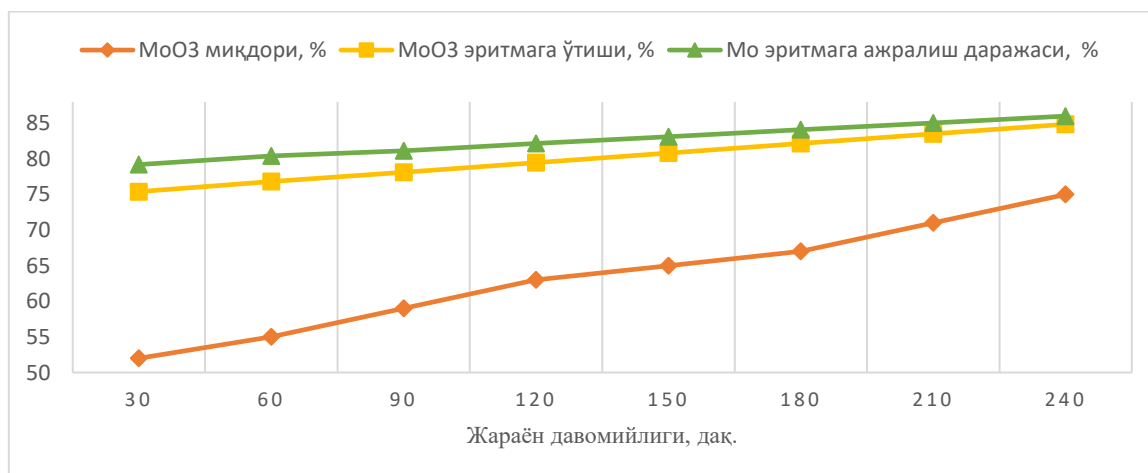
**8-расм. Оксидлаб куйдириш жараёни давомийлигининг танлаб эритишга таъсири ( $T=550^\circ\text{C}$ )**



**9-расм. Оксидлаб куйдириш жараёни давомийлигининг танлаб эритишга таъсири ( $T=600^\circ\text{C}$ )**

Ҳароратнинг ошиши билан ҳосил бўлган куйинди маҳсулотнинг эрувчанлиги биринчи навбатда яхшиланади, аммо жараёнда материалнинг кейинги сақланиши куйинди маҳсулотнинг сифатини ўзгартирмайди, чунки  $600^\circ\text{C}$  да оксидланишдан кейин эрувчанлик максимал 87,8% га етди.

$650^\circ\text{C}$  да оксидловчи куйдириш пайтида молибден ангидриднинг интенсив шаклланиши кузатилди, аммо молибден триоксиднинг масса улуши 75% дан ошмади ва танлаб эритиш вақтида эрувчанлиги 85% гача етди (10-расм).



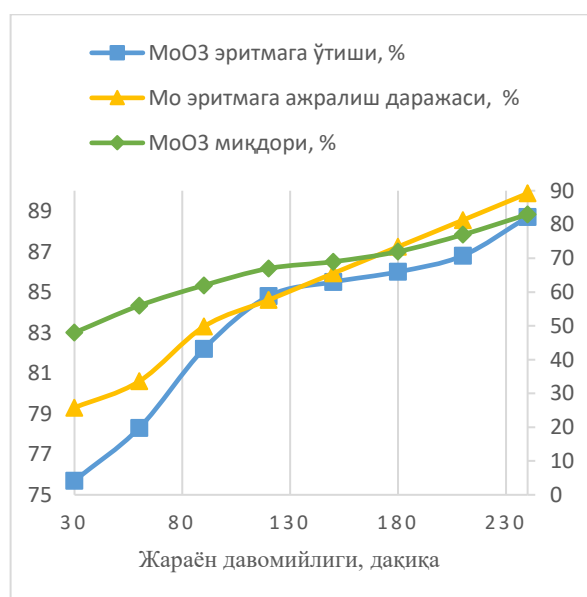
**10-расм. Оксидлаб куйдириш жараёни давомийлигининг танлаб эритишга таъсири ( $T=650^\circ\text{C}$ )**

Молибден концентратларини оксидловчи куйдиришнинг оптимал параметрларини топиш мақсадида жаҳон амалиётида молибден сулфидли маҳсулотларни оксидловчи куйдиришда тез-тез қўлланиладиган суяқ қатламли печ ва кўп тубли печда бир қатор тажрибалар ўтказилди.

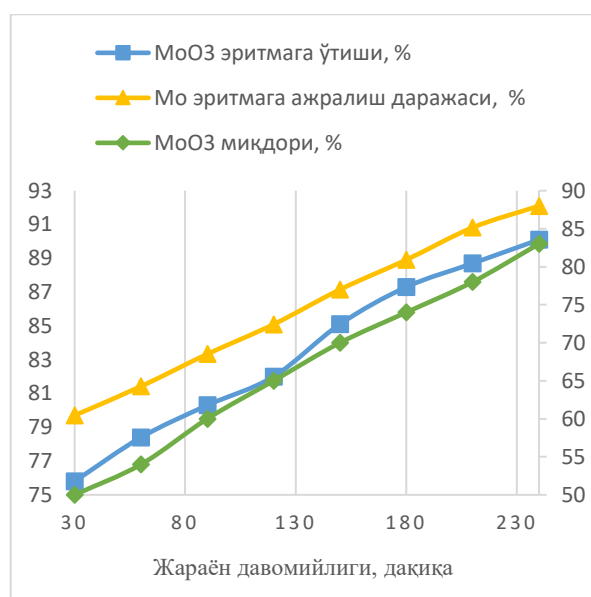
**T=550°C ҳароратда оксидлаб куйдириш жараёни куйинди маҳсулотларини танлаб эритиш кўрсаткичлари (қайнар қатламли печь)**

Намуна №	Мо миқдори, %	Жараён давомийлиги, дақиқа	MoO <sub>3</sub> миқдори, %	MoO <sub>3</sub> эриш даражаси, %	Мо эритмага ажралиш даражаси, %
1	35,1	30	48,00	75,70	79,30
2	35,1	45	56,00	78,30	80,60
3	35,1	60	62,00	82,20	83,30
4	35,1	75	67,00	84,80	84,61
5	35,1	90	69,00	85,50	85,93
6	35,1	105	72,00	86,00	87,24
7	35,1	120	77,00	86,80	88,55
8	35,1	135	83,00	88,70	89,87

3-жадвал 550 °C ҳароратда ва 2,5 соатгача оксидловчи куйдириш муддати, ҳосил бўлган куйинди маҳсулотнинг эрувчанлиги 89% гача эканлигини кўрсатади (11-расм). Шунинг таъкидлаш мумкинки, MoO<sub>3</sub> ҳосил бўлиш тезлиги айланма қувурли печга қараганда анча юқори ва бу жараёнда кислороднинг етарли миқдори ва ҳароратнинг печнинг бутун майдони бўйлаб тақсимланиши билан боғлиқ. Берилган энергия заррачаларга максимал даражада тақсимланади, печнинг дизайни иссиқликдан юқори даражада фойдаланишга имкон беради.



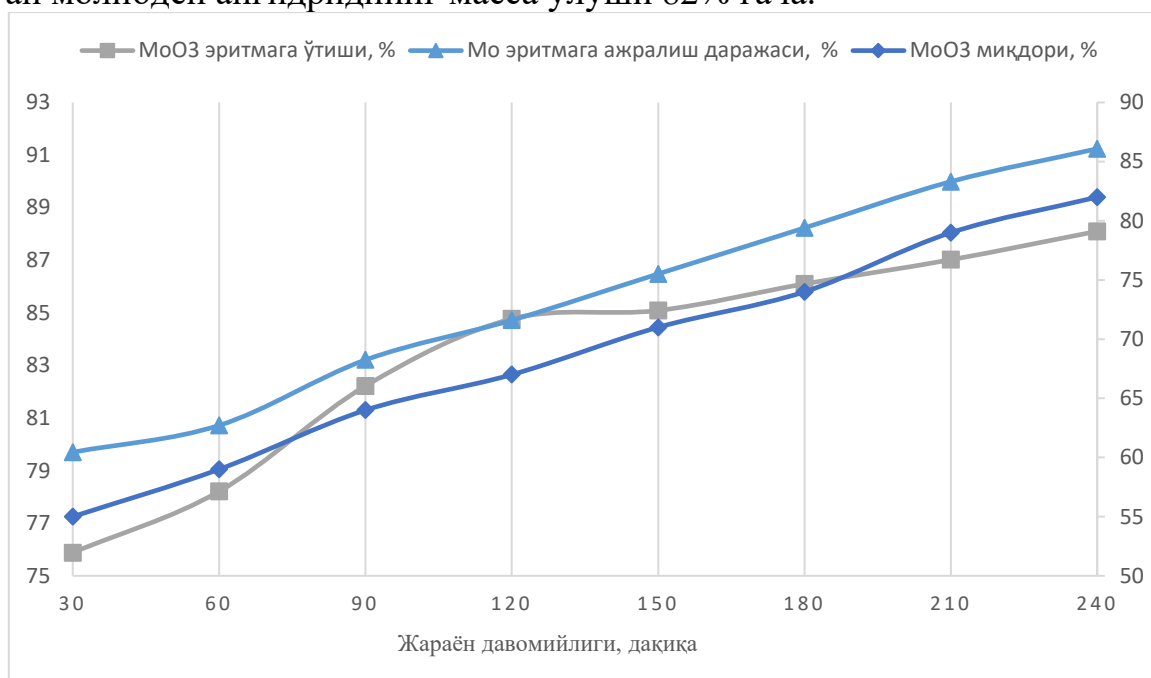
**11-расм. Оксидлаб куйдириш жараёни давомийлигининг танлаб эритишга таъсири (T=550°C)**



**12-расм. Оксидлаб куйдириш жараёни давомийлигининг танлаб эритишга таъсири (T=600°C)**

12-расмда жараёнда молибден (VI) оксиднинг анча юқори оксидланиши ва ҳосил бўлиши кўрсатилган, чунки қайнар қатламли печда кучли оксидланиш куйинди маҳсулот сифатининг яхшиланишига олиб келди, бунинг натижасида танлаб эритиш пайтида эрувчанлиги 90% га етди.

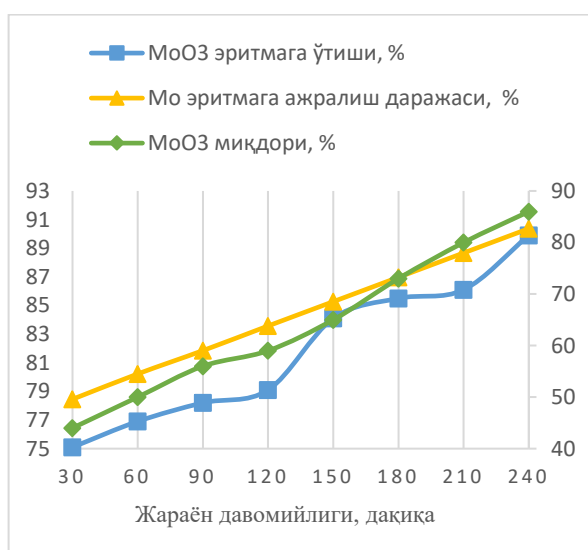
Печдаги ҳароратнинг янада ошиши куйинди маҳсулотнинг сифатини ўзгартирмайди (15-расм). 650 °C да оксидловчи куйдириш пайтида ҳосил бўлган молибден ангидриднинг масса улуши 82% гача.



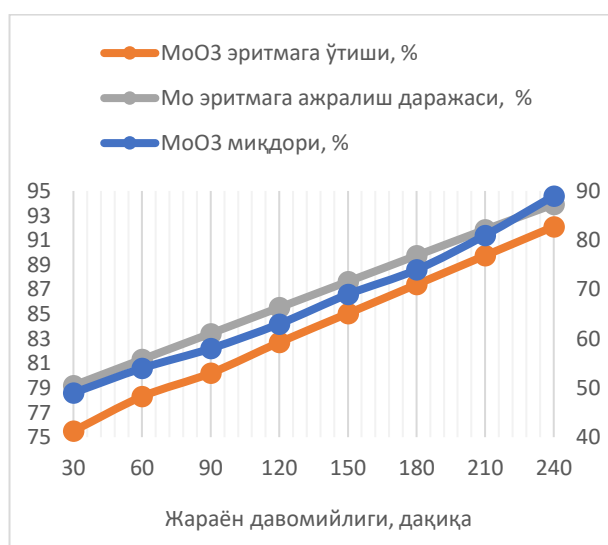
**13-расм. Оксидлаб куйдириш жараёни давомийлигининг танлаб эритишга таъсири (T=650°C)**

Жаҳон амалиётида кўп тубли печлар асосан молибден сульфидли маҳсулотларни оксидловчи куйдириш учун ишлатилади. MoO<sub>3</sub> миқдори юқори бўлган куйинди маҳсулотни ишлаб чиқариш паст ҳароратда куйдириш ёли билан амалга оширилади.

14-расмда T = 500 °C ҳароратда оксидловчи куйдиришдан сўнг, ҳосил бўлган куйинди маҳсулотнинг танлаб эритиш жараёнида эрувчанлиги 90% гача етишини кўрсатади.



**14-расм. Оксидлаб куйдириш жараёни давомийлигининг танлаб эритишга таъсири (T=500°C)**



**15-расм. Оксидлаб куйдириш жараёни давомийлигининг танлаб эритишга таъсири (T=550°C)**



**T=550°C ҳароратда оксидлаб куйдириш жараёни куйинди маҳсулотларини танлаб эритиш кўрсаткичлари (кўп тубли печь)**

Намуна №	Мо миқдори, %	Жараён давомийлиги, дақиқа	MoO <sub>3</sub> миқдори, %	MoO <sub>3</sub> эриш даражаси, %	Мо эритмага ажралиш даражаси, %
1	33,8	30	49,00	75,50	79,20
2	33,8	60	54,00	78,30	81,32
3	33,8	90	58,00	80,20	83,42
4	33,8	120	63,00	82,70	85,53
5	33,8	150	69,00	85,05	87,64
6	33,8	180	74,00	87,40	89,75
7	33,8	210	81,00	89,75	91,86
8	33,8	240	89,00	92,10	93,91

Оксидловчи куйдириш ва гидрометаллургик ишлов беришдан кейин ҳароратнинг ошиши билан молибденнинг эритмага ўтиши 94% ни ташкил этди (4-жадвал, 15-расм).

Ҳароратни 600°C гача кўтариш ҳосил бўлган маҳсулот сифатини ўзгартирмайди.

Юқоридаги маълумотларга асосланиб, молибден сульфид концентратларини оксидловчи куйдиришнинг энг яхши натижалари 550 °C ҳароратда кўп тубли печда кузатилади, деган хулосага келиш мумкин.

## ХУЛОСА

1. Молибден ишлаб чиқариш кеклари учун интенсив куйдириш печини қўллаш натижасида жараённинг давомийлигини қисқартириш, олтингугуртдан тозалаш даражасини 88% гача ошириш ва паст ҳароратда куйдириш натижасида (550 °C) бирикиб қолган бўлақларнинг шаклланишининг пасайиши, эритмалардан молибден олишнинг 94% гача кўтарилишига эришилди, синовлар тажриба-саноат ускунасида амалга оширилган ва ишлаб чиқариш учун тавсия этилди.

2. Оксид бирикмаларининг ҳосил бўлиш механизмларининг куйдириш жараёнига таъсири илмий асослаб берилди ва ҳаводаги кислороднинг ўзаро таъсири, сульфидларнинг кристалл панжарасини ўзгартирувчи оптимал шароитлар аниқланди.

3. “ОКМК” АЖ молибден саноати маҳсулоти, куйиндилари, молибден ишлаб чиқариш чанглари ва танлаб эритиш кекларнинг тузилиши, минералогик таркиби, молибден дисульфидининг кам оксидланиши ва молибден диоксидининг ҳосил бўлиш сабаблари аниқланди.

4. Сульфидли молибденли кекларни модернизация қилинган ускунада интенсив паст ҳароратли куйдиришдан фойдаланган ҳолда оксидловчи куйдиришнинг тавсия этилган технологияси ишлаб чиқилди.

5. Молибден ангидридининг эрувчанлигини ва эритмага ўтишини яхшилаш учун молибден саноати маҳсулоти куйиндиларини аммиак ва сода билан танлаб эритиш параметрлари ишлаб чиқилди.

6. Молибден ангидриднинг масса улуши юқори бўлган юқори сифатли куйинди маҳсулот олиш имконини берувчи таркибида сульфидли молибден бўлган молибден саноати маҳсулотини кўп тубли печда оксидловчи куйдиришнинг такомиллаштирилган технологияси ишлаб чиқилди.

7. Молибден саноати маҳсулотини оксидловчи куйдиришнинг асосий технологик кўрсаткичлари, афзалликлари ва камчиликлари, таркибида молибден ишлаб чиқаришнинг асосий маҳсулоти ҳисобланадиган молибден ангидриди кўп бўлган тўлиқ оксидланган куйиндини олиш учун айланма қувурли печда, қайнар қатламли печда ва кўп тубли печда таққослаш йўли билан аниқланди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ «ФАН ВА ТАРАККИЁТ» ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

---

**НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**

**ТОЛИБОВ БЕХЗОД ИБРОХИМОВИЧ**

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖИГА СУЛЬФИДНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ И КЕКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА  
ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ**

**05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.  
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия черных,  
цветных и редких металлов (технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

**Ташкент– 2021**

**Тема диссертации доктора наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером B2021.4.DSc/T463**

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горном институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета ([www.gupft.uz](http://www.gupft.uz)) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный консультант:** **Хасанов Абдурашид Салиевич**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Шадрунова Ирина Владимировна**  
доктор технических наук, профессор

**Шарипов Хасан Турапович**  
доктор химических наук, профессор

**Абед Нодира Сойибжановна**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:** **Ташкентский химико-технологический институт**

Защита диссертации состоится «18» декабря 2021 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании научного совета DSc.03/30.12.2019.K/T.03.01 при ГУП «Фан ва тараккиёт» Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова. (Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Мирзо Голиба 7а тел.: (99871) 246-39-28; факс: (99871) 227-12-73; e-mail: [fanvataragqiyot@mail.ru](mailto:fanvataragqiyot@mail.ru)), в здании «Фан ва тараккиёт» ГУП, 2 этаж, зал конференций).


С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре ГУП «Фан ва тараккиёт» (зарегистрированный номером №32-21). (Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Мирзо Голиба 7а тел.: (99871) 246-39-28; факс: (99871) 227-12-73).

Автореферат диссертации разослан «06» декабря 2021 г.  
(протокол реестра №32-21 от 26 ноября 2021 г.)



  
**С.С. Негматов**  
Председатель научного совета по присуждению  
ученых степеней, академик АН РУз, д.т.н., профессор

  
**М.Э. Икрамова**  
Ученый секретарь научного совета по присуждению  
ученых степеней, к.х.н., с.н.с.

  
**А.М. Эминов**  
Председатель научного семинара при научном  
совете по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., профессор.

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В настоящее время в мировой практике молибденсодержащие сульфидные концентраты подвергаются окислительному обжигу в различных обжиговых печах. Получение качественного огарка с высоким содержанием ангидрида молибдена считается целесообразным при окислительном обжиге молибденовых промпродуктов, в то время как существующие технологии приводят к высокому содержанию диоксида молибдена в процессе окисления. В этом аспекте разработка усовершенствованной технологии окислительного обжига промышленных продуктов, содержащих сульфиды молибдена, и изучение механизмов образования оксида молибдена (VI) в процессе имеет особое значение.

Во всем мире в горно-металлургической промышленности проводятся исследования по созданию рентабельных способов переработки промышленных отходов, направленных на снижение стоимости производства, повышение степени извлечения и, таким образом, снижение производственных затрат. В связи с этим уменьшение количества ценных компонентов в отходах технологического процесса, а также уменьшение количества ценных компонентов в остатках производственного процесса, разработка новых технологий для улучшения извлечения ценных компонентов и совершенствование существующих технологий имеют особое значение в горно-металлургической науке.

В металлургической промышленности республики большое внимание уделяется научным исследованиям по разработке передовых технологий окислительного обжига для переработки сульфидных продуктов молибдена, реализуются меры стратегического и экономического значения и достигаются определенные результаты. В пункте четыре четвертого направления Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан «...поднять промышленность на качественно новый уровень, глубокой переработки местных источников сырья, ускорения производства готовой продукции, освоения новых видов продукции и технологий...»<sup>1</sup>, — поставлены важные задачи. В этом аспекте увеличение извлечения ценных компонентов в молибденовой промышленности, максимальное снижение содержания молибдена и других ценных компонентов в отходах, а также разработка и внедрение усовершенствованной технологии окисления сульфидных продуктов и кеков в молибденовой промышленности имеет важное значение.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит к выполнению задач, предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан ПП-3145 от 24 июля 2017 года «О мерах по совершенствованию управления научно-исследовательскими и проектно-изыскательскими работами в сфере промышленного освоения месторождений

---

<sup>3</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 «О Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах»

рудных полезных ископаемых», в Указе Президента Республики Узбекистан УП-4124 от 17 января 2019 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли», в Постановлении Президента Республики Узбекистан от 4 октября 2019 года №ПП-4477 «Об утверждении стратегии перехода Республики Узбекистан к «зеленой» экономике на 2019-2030 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики VII. «Науки о земле (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья)».

**Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации.**<sup>3</sup> Научные исследования, направленные на переработку сульфидных молибденсодержащих концентратов и кеков, осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в: KGHM Polska Miedz (Польша), Пекинском горно-металлургическом институте (Китай), Colorado school of mines (США), Пекинский университет науки и технологий (Китай), Техасский университет эль-Пасо (США), University of Concepcion (Чили), Университет Торонто (Канада), Университет науки и технологий Ухана (Китай), Университет Аугсбург (Германия), Корейский институт редких металлов (Южная Корея), АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат», Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС» (Россия) и Навоийском государственном горном институте (Узбекистан).

Мировые исследования по переработке сульфидно-молибденовых концентратов и кеков дали ряд научных результатов, в том числе: химический состав и механизм взаимодействия молибденового концентрата с хлоридом натрия при нагревании в присутствии кислорода, повышение скорости окисления молибденовых концентратов. механизм и кинетика окисления до  $\text{MoO}_3$ , морфологическая и структурная эволюция монокристаллических связей  $\alpha\text{-MoO}_3$  с гетероструктурами  $\text{MoS}_2$  /  $\text{MoO}_2$  в кислотных и щелочных системах окисления под давлением концентрата молибдена (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Россия) Торонто (Канада), Пекинский горно-металлургический институт (Китай).

В мире по усовершенствованию процесса окислительного обжига молибденовых сульфидных концентратов ведется ряд исследовательских работ по следующим приоритетным направлениям, в том числе исследование факторов, влияющих на эффективность процесса окислительного обжига в низкотемпературных условиях, исследование образования оксидных соединений молибдена, разработка эффективных методов обработки

---

<sup>4</sup> Обзор зарубежных исследований по теме диссертации:

<http://www.natlib.uz/ru>; <https://sci-hub.se>;  
<https://libgen.is>; <http://>, <https://link.springer.com>;  
<http://geologinfo.ru>; <https://researchgate.net> и др.

молибденовых концентратов и кеков; снижение потери молибдена и других драгоценных металлов при переработке молибденосодержащих сульфидных концентратов, исследование кинетики и механизма окислительного обжига для получения полного окисленного огарка.

**Степень изученности проблемы.** В области развития научных разработок по металлургической переработке сульфидных материалов, содержащие редкие и цветные металлы, значительный вклад внесли ученые как А.Н. Зеликман, Кривандин В.А., Sooeun Shin, T. Marin, T. Utigard, C. Hernandez, T. Ressler, П. Александров, G. Ramadorai, L.Aleman-Vazquez, Emmet R.C., van Aswegen P.C., M.Wadsworth, Санакулов К.С., Пирматов Э.А., Адамов Э.В., Меретуков М.А., Кондратьева Т.Ф., Шадрунова И.В., Панин В.В., Тусупбаев Н.К., Wilkomirsky I., Lu Wang, Chung-Yang Bu, Bin Hu, Liqiang Mai, Hongfei Liu, N.Floquet, J.J. Robinson, J.J. Heizmann, Шарипов Х.Т., Якубов М.М., Хасанов А.С., Кожаметов С.М., Михридинов М. и др.

Исходя из анализа существующих работ надо отметить, что проведены комплексные исследования и разработаны способы для улучшения показателей окислительного обжига сульфидных молибденосодержащих промпродуктов. Вместе с тем, существуют проблемы, имеющие важное значение для науки и практики горно-металлургического производства, которые связаны с качеством процессов окислительного обжига: недоокисление сульфидных частиц, образование диоксида молибдена, невысокая степень десульфуризации, потеря энергии в процессах и т.д. Решению этих проблем по рациональному использованию энергии в печах окислительного обжига и по улучшению показателей степени окисления, а также увеличению образования молибденового ангидрида — посвящена настоящая диссертационная работа.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Навоийского государственного горного института в следующих проектах: И-2017-8-1 — «Разработка обжиговой печи нового типа для улучшения эффективности извлечения золота в условиях ГМЗ-3 и получение дополнительной электроэнергии из тепла отходящих газов» (2017-2018 гг.), 2-2015 — «Разработка способа и установки высокоскоростного обжига по переработке природного сульфидного сырья и промпродуктов» (2015-2016 гг.).

**Целью исследования** является усовершенствование процесса обжига сульфидных материалов и кеков металлургического производства для извлечения ценных компонентов.

**Задачи исследования:**

проведение исследований минералогической структуры молибденовых промпродуктов, огарков, пыли молибденового производства и кеков выщелачивания для изучения образования диоксида молибдена и молибденового ангидрида при окислительном обжиге и выщелачивания;

определение химических свойств минералов и образования дисульфида молибдена и молибденового ангидрида в процессе окислительного обжига в различных металлургических обжиговых печах и сравнение основных показатели печей;

получение трёхокси молибдена из промпродуктов и кеков, содержащие соединения молибдена;

изучение и анализ закономерности влияния различных факторов на степень окисления и извлечения молибдена и других ценных компонентов при окислительном обжиге;

проведение комплексных теоретических и практических исследований и эффективной технологии переработки сульфидных молибденовых промпродуктов для увеличения массовой доли молибденового ангидрида в процессе обжига;

исследование технологии аммиачного и содового способов выщелачивания трёхокси молибдена и других оксидных соединений ценных компонентов в раствор с последующим получением парамолибдата аммония;

разработка комплексной технологии переработки молибденовых промпродуктов, пыли и кеков с выдачей рекомендации.

**Объектами исследования** являются молибденовые промпродукты, огарки молибденовых промпродуктов, молибденовые кеки после содового выщелачивания и пыли производства молибденовых концентратов Научно-производственного объединения редких металлов и твердых сплавов АО «Алмалыкский ГМК».

**Предметом исследования** является разработка усовершенствованной технологии окислительного обжига сульфидных промпродуктов молибденового производства с последующим выщелачиванием ценного компонента.

**Методы исследования.** Применены современные комплексные методы исследований, включающие анализ научно-технической информации по окислительному обжигу сульфидных материалов; теоретические исследования с использованием аналитического, графоаналитического и статистического методов; лабораторные эксперименты, опытно-промышленные испытания; гранулометрический анализ, электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, пробирный, химический и фазовые методы анализа, энергодисперсионная спектроскопия, рентгенофазный анализ, масс-спектрометрия, анализы СЭМ, математические методы обработки результатов лабораторных испытаний.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

определены причины недоокисления и образования диоксида молибдена, обоснованы структуры, минералогические составы молибденовых промпродуктов, огарков, пыли молибденового производства и кеков выщелачивания;

установлены минералогические особенности молибденовых соединений до и после обжига, и определены ангидриды молибдена;



обосновано влияние механизма формирования оксидных соединений на процесс обжига и определены наилучшие условия взаимодействия кислорода воздуха разрушающая кристаллическую решетку сульфидов;

определены основные технологические показатели, преимущества и недостатки окислительного обжига молибденовых промпродуктов в трубчато-вращающейся печи, в печи кипящего слоя и многоподовой печи для получения полного окисленного огарка с высоким содержанием молибденового ангидрида, в которой является основным продуктом молибденового производства;

разработана усовершенствованная технология и установлены параметры окислительного обжига сульфидных молибденовых промпродуктов, выявлены причины образования диоксида молибдена в процессе обжига;

установлены и обоснованы основные параметры обжига и выщелачивания аммиачным и содовым способом;

разработана технологическая схема переработки молибденовых промпродуктов и кеков.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

установлены причины образования нерастворимого диоксида молибдена в процессе окислительного обжига сульфидных молибденовых промпродуктов;

разработан окончательный технологический регламент окислительного обжига молибденовых промпродуктов в низкотемпературных условиях при температуре 550°C в течение 3-4 часов.

разработана усовершенствованная технология окислительного обжига сульфидных молибденсодержащих промпродуктов в многоподовой печи, позволяющая получение качественного огарка с высокой массовой доли молибденового ангидрида;

разработаны параметры аммиачного и содового выщелачивания огарков молибденовых промпродуктов для улучшения растворимости и перевода молибденового ангидрида в раствор.

**Достоверность полученных результатов** обоснована значительным объемом лабораторных и полупромышленных испытаний, удовлетворительной сходимостью и количественным подтверждением основной идеи работы по повышению извлечения ценных компонентов в результате применения разработанных режимов окислительного обжига, значительными положительными результатами, подтверждающие повышение степень окисления, а также положительными актами лабораторных и укрупнённых лабораторных испытаний.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования обусловливается выявлением причин недоокисления сульфидных молибденовых соединений в процессах окислительного обжига, а также теоретического обоснования целесообразности применения обжиговой печи нового типа для

интенсификации обжига сульфидных материалов и кеков во взвешенном состоянии.

Практическая значимость результатов исследования заключается в повышении степени окисления в результате интенсивного низкотемпературного окислительного обжига в обжиговой печи во взвешенном состоянии и многоподовой печи, обеспечивающего повышение извлечения ценного компонента из сульфидных молибденсодержащих материалов.

**Внедрение результатов исследования.** На основе проведенных научных исследований усовершенствования процесса обжига сульфидных материалов и кеков металлургического производства для извлечения ценных компонентов, получены следующие результаты:

усовершенствованная технология окислительного обжига сульфидных молибденовых промпродуктов внедрена при окислительном обжиге сульфидных концентратов молибденового производства Научно-производственного объединения по производству редких металлов и твердых сплавов АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (справка АО «АГМК» №АА-009633 от 25 ноября 2021 года). В результате, появилась возможность обеспечения повышения степени удаления серы, после двухстадийного выщелачивания 94% окисленного молибдена переходит в раствор;

установленные параметры в результате исследований для окислительного обжига молибденовых сульфидных концентратов внедрена при обжиге промпродуктов молибденового производства АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (справка АО «АГМК» №АА-009633 от 25 ноября 2021 года). В результате применения параметров в процессах окислительного обжига сульфидных молибденовых концентратов АО «АГМК» появилась возможность обеспечения повышения степени растворения огарка до 92%, в результате получения качественного огарка с содержанием массовой доли молибденового ангидрида 90%;

окончательный технологический регламент окислительного обжига молибденовых промпродуктов в низкотемпературных условиях при температуре 550°C в течение 3-4 часов внедрён при окислительном обжиге сульфидных концентратов молибденового производства АО АГМК (справка АО «АГМК» №АА-009633 от 25 ноября 2021 года), который дает возможность обеспечивать перевод молибденового ангидрида в раствор до 94%, остальных ценных компонентов в кек.

**Апробация результатов исследования.** Апробация результатов данного исследования произведена на 4 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 23 научных работ, из них в научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертации Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан,

опубликованы 10 статей, в том числе 2 из которых в республиканских и 8 в зарубежных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 198 страниц компьютерного текста.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации, степень изученности проблемы, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе **«Обзор технологий мира окислительного обжига различных концентратов молибдена»** приводится обзор и анализ современных литературных источников, где рассмотрены проблемы по состоянию проблемы окислительного обжига различных сульфидных материалов, в том числе промпродуктов молибденового производства и молибденовых кеков, содержащих до 9-10% сульфидной серы, в результате чего анализированы требования на огарков окислительного обжига. В ходе анализа существующих технологий окислительного обжига различных металлсодержащих сульфидных материалов выявлены неэффективность связанная:

Процесс окислительного обжига молибденовых концентратов проводится при температуре 550-600°C, с повышением температуры обжига сульфидные частицы окисляются до  $\text{MoO}_2$  и  $\text{MoO}_3$ . Если температура увеличивается во избежание недоокисления сульфидов, то начинается образование спёкшихся частиц.

Для обжига молибденовых концентратов традиционно используются следующие аппараты: муфельные или камерные печи с ручным перегревом огарка; вращающиеся трубчатые печи; многоподовые печи; печи кипящего слоя.

Существующие отечественные и зарубежные технологии переработки молибденовых концентратов и промпродуктов заключаются в окислительном обжиге с выделением в газовую фазу сернистого газа, более половины рения в виде  $\text{Re}_2\text{O}_7$  и частично молибдена в виде  $\text{MoO}_3$ . Это создает экологические проблемы и приводит к безвозвратным потерям металлов.

Вышеизложенные недостатки существующих технологий являются основанием для изучения других способов окислительного обжига сульфидных материалов.

Пирометаллургия остается основным способом металлургической обработки большинства металлов. В этот метод обработки металлов входит обжиг, процесс, который включает реакцию газ-твёрдое вещество, при котором твердое вещество вводится в высокотемпературную среду для дальнейшей очистки требуемых компонентов обжигаемого материала. В мире почти все молибденовые концентраты сегодня подвергаются процессу окислительного обжига, поскольку это четко определенный процесс, который дает ожидаемые результаты для производителей.

Обычно обработка молибденовых концентратов представляет собой многоступенчатый процесс, включающий обжиг, тогда как окисление под давлением представляет собой прямое выщелачивание желаемого материала в раствор. Хотя окисление под давлением применяется не так часто, он может эффективно обрабатывать некондиционный концентрат. Кроме того, многие экологические ограничения становятся все более строгими в отношении пирометаллургических процессов; это дополнительно снижает возможность использования обжига некондиционного концентрата. Использование гидрометаллургии, особенно окисления под давлением, показало многообещающие результаты в нескольких недавних исследованиях по обработке концентратов молибдена.

Технологические печи очень широко используются практически во всех химических отраслях промышленности. В печах за счет сжигания топлива (газообразного, жидкого и комбинированного) реализуется процесс нагрева перерабатываемого продукта. Механизм теплопередачи достаточно сложен, поскольку в этих устройствах, в отличие, например, от теплообменников, значителен вклад в суммарный теплообмен лучистой (радиационной) составляющей. В некоторых случаях этот механизм теплопередачи является преобладающим. Организация движения образующихся дымовых газов в свою очередь существенно влияет на вклад в суммарный теплообмен конвективной составляющей. На основании проведенного анализа определяются цель и задачи исследования.

Во второй главе диссертации **«Объекты и методы исследований»** формируется выбор и обоснование объекта, на основе которого были разработаны методы для изучения эффективности предлагаемой технологии для интенсивного низкотемпературного окислительного обжига, изучены и анализированы химические и минералогические составы исследуемых материалов – объектов исследований, на основе данных химического и минералогического анализа разработана методика проведения исследований по окислительному обжигу сульфидных молибденсодержащих кеков, промпродуктов, огарков и пыли молибденового производства, разработана последовательность выполнения работы для каждого проводимого эксперимента, т. е. для проведения испытаний окислительного обжига сульфидных молибденсодержащих материалов (кеков, промпродуктов, пыли, огарки).

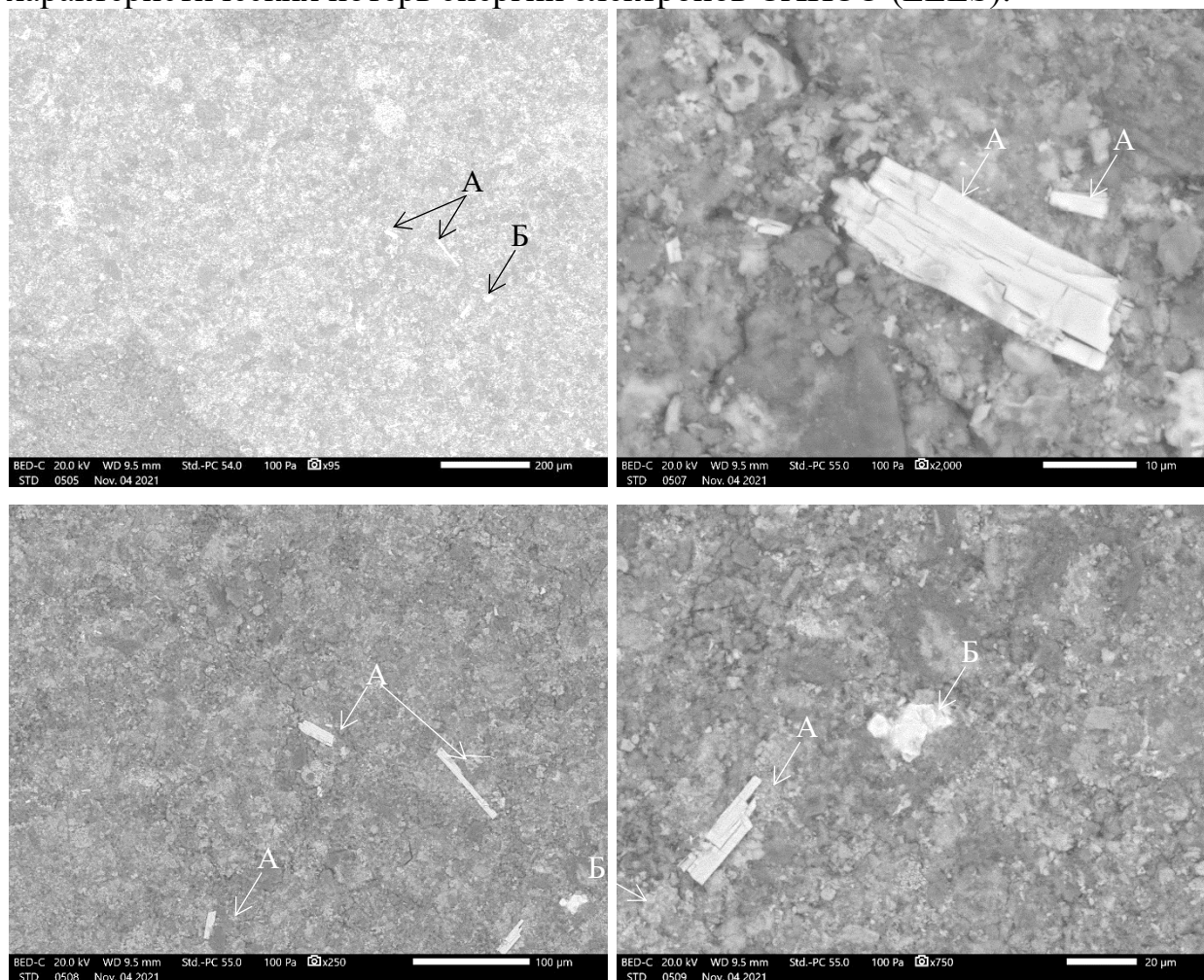
При проведении экспериментов использовали в качестве объектов исследований различные сульфидные материалы: молибденовые кеки, содержащие до 8-10 % молибдена после гидрометаллургической обработки НПО «Редких металлов и твердых сплавов» АО АГМК;

Химический и фазовый анализ отобранных проб были выполнены в Центральной научно-исследовательской лаборатории ГП НГМК и химической лаборатории НПО «Редких металлов и твердых сплавов» АО АГМК.

Для полного анализа характеристик исследуемого материала выполнены:

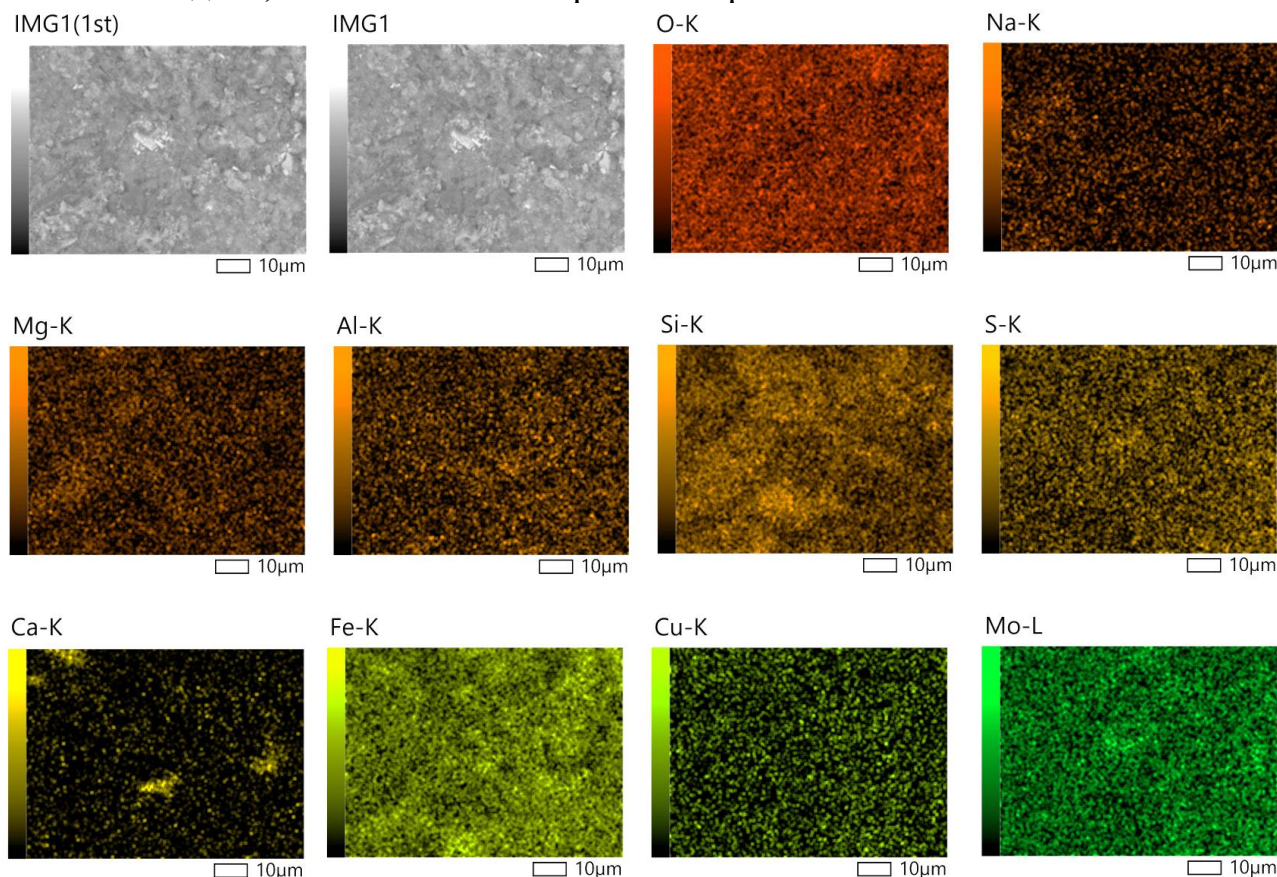
1. Исследования на микрогрануляцию
2. Изучение термической и механической стабильности гарнул
3. Исследование процесса обжига
4. Исследование процесса выщелачивания

Рассмотрены все пробы – таблетки под вакуумом и несколькими методами исследований. Элементный анализ в просвечивающем электронном микроскопе может производиться с помощью энергодисперсионной спектроскопии ЭДС (EDS), либо с помощью спектроскопии характеристических потерь энергии электронов СХПЭЭ (EELS).



**Рис.1. Снимки сканирующего электронного микроскопа (кек выщелачивания)**

На рис.1 приведены снимки сканирующего электронного микроскопа кека выщелачивания. На рисунке показывается частицы молибдена, связанные с кислородом и сульфидом, а также основная часть поверхности заполнена оксидами железа. Определенные значениями А – окислы молибдена, Б – сульфидные частицы молибдена, а остальная часть, в основном окислы железа. В сканирующем электронном микроскопе тяжелые частицы показывается ярче, так как чем частицы ярче, тем тяжелее. Из вышеуказанных можно выводиться, что основная поверхность пробы составляет окислы железа.



**Рис. 2. Результаты анализа ЭДС проб кека выщелачивания**

Далее провели анализ EDS для изучения полной карты поверхности (метод картирования) (рис 2.). Этим методом определяется в какой части пробы находятся составляющие элементы. Рисунок 2. утверждает, что проба в основном содержит кислород, а там, где есть кислород, просвечивают сигналы Fe и Si. Сигналы молибдена и серы очень близки, поэтому картины L-линии молибдена и K-линии серы почти одинаково. Энергетическое разрешение энергодисперсионного спектрометра составляет 130 эВ. Но разница между L $\alpha$ -линии молибдена и K $\alpha$ -линии серы почти составляет 14 эВ. Поэтому при анализах энергодисперсионного спектрометра показывает молибден и сульфиды в одном пике.

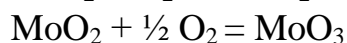
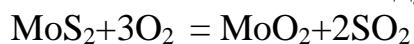
Разработана методика для проведения исследований по окислительному обжигу молибденовых сульфидных материалов Научно-производственного объединения редких металлов и твердых сплавов АО Алмалыкский горно-металлургический комбинат.



Для определения оптимального режима обжига процесс осуществляется при разных условиях. Так, температуру внутри печи удерживаем от 450°C до 750°C. В этом диапазоне проводим 7 испытаний (450, 500, 550, 600, 650, 700, 750°C). Продолжительность процесса тоже устанавливаем от 45 минут до 120 минут. На каждом температурном режиме проводим минимум 8 экспериментов для достоверности результатов исследований. Все пробы после окислительного обжига даются на химический анализ.

В третьей главе диссертации **«Теоретические основы и исследования окислительного обжига сульфидных молибденсодержащих продуктов»** разработана усовершенствованная технология окислительного обжига различных сульфидных материалов в интенсивном и низкотемпературном режимах.

Оксиды переходных металлов, такие как  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{WO}_3$  и  $\text{MoO}_3$ , подвергались многочисленным исследованиям из-за их значительного промышленного значения. Среди них  $\text{MoO}_3$  является одним из наиболее интересных материалов для интеркалирования для твердотельных литиевых батарей при температуре окружающей среды. Более того,  $\text{MoO}_3$  обычно используется в качестве основного исходного материала для получения большинства промышленных молибденовых продуктов, таких как металлический молибден, ферромolibденовый сплав и другие чистые химические соединения молибдена. Производство  $\text{MoO}_3$  промышленного качества в настоящее время осуществляется путем окислительного обжига молибденитного концентрата в обычных многоподовых обжиговых печах. Сообщалось о различных исследованиях кинетики окисления молибденитного концентрата, и большинство из них показывают, что процесс окисления протекает через промежуточный продукт  $\text{MoO}_2$ , и соответствующие процессы окисления можно описать следующим образом:



Кинетика окислительного обжига молибденитового концентрата представляет технический интерес для проектирования и использования оборудования, а также для выбора условий процесса обжига. Целью настоящего исследования является изучение дальнейшего процесса окисления  $\text{MoO}_2$  в процессе обжига молибденитового концентрата, что может способствовать лучшему пониманию механизма обжига молибденитного концентрата. Более того, существуют несколько фаз с различным стехиометрическим соотношением  $\text{Mo}:\text{O}$ , таких как  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{MoO}_2$ ,  $\text{Mo}_4\text{O}_{11}$ ,  $\text{Mo}_5\text{O}_{14}$ ,  $\text{Mo}_8\text{O}_{23}$ ,  $\text{Mo}_{17}\text{O}_{47}$ ,  $\text{Mo}_{18}\text{O}_{52}$  и др.. Среди них  $\text{MoO}_3$  и  $\text{MoO}_2$  являются наиболее термодинамически стабильными фазами. Следовательно, механизм и кинетика восстановления  $\text{MoO}_3$  водородом до  $\text{MoO}_2$  в последние десятилетия широко изучались многими исследователями. Однако проведено лишь несколько исследований в отношении окисления  $\text{MoO}_2$  до  $\text{MoO}_3$ .

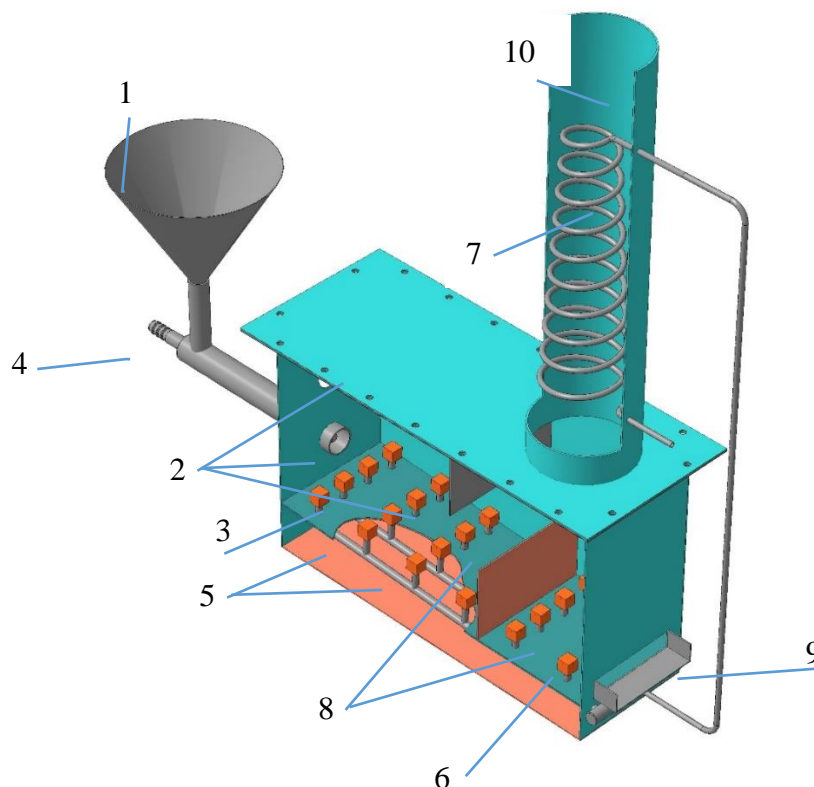
Задачей исследования являлось создание способа, позволяющего осуществлять интенсивный окислительный обжиг сульфидных концентратов

с высокой производительностью, обусловленный легкостью и простотой осуществления процесса, а также целенаправленное использование тепла, выделяющегося при окислении сульфидов.

Способ осуществляется в устройстве, которое поясняется чертежом, где представлен общий вид устройства (смотрите на рисунок 3) и процесс осуществляется следующим образом:

Исходный сульфидный концентрат подается внутрь печи через горелку 1 специальной конструкции смешивающий природный газ 3 и кислород 4, которые образуют факел внутри печи. Сульфидные материалы, подаваемые на окисление, окисляются во взвешенном состоянии в факеле при помощи подачи горячего осушенного воздуха, подаваемого из воздушных сопел 5, расположенных во внутренней части (подины) печи. В этом случае надо отметить, что подаваемый горячий осушенный воздух получается при использовании тепла отходящих газов, выделяющихся при окислении сульфидов. В дымоходе печи 10 установлена спираль (трубка), в которой движется осушенный воздух с подогревом при движении. Предлагаемая данная технология позволяет решать следующие задачи:

1. Установка спиральной трубки для нагревания воздуха снижает температуру отходящих горячих газов (температура отходящих газов становится менее  $400^{\circ}$ ). При этом мало образуется кислот, вызывающих коррозию конструкции дымохода устройства.



1. Шихтово-загрузочная горелка. 2. Корпус печи. 3. Сопло для подачи природного газа. 4. Трубка для кислорода. 5. Воздушные сопла. 6. Подина печи. 7. Спираль для подогрева подаваемого воздуха. 8. Перегородки. 9. Разгрузка. 10. Дымоход печи

**Рис.3 Общий вид лабораторной установки предлагаемой печи**



2. Использование вторичного тепла. Подача горячего воздуха через воздушные сопла снизу обжигаемых материалов позволяет, во-первых, держать их во взвешенном состоянии, во-вторых, удерживать оптимальную температуру внутри печи.

Окисленные частицы продвигаются к перегородкам 8, и через перегородки далее переходят в точку выгрузки за счет уклона подины, который составляет 3-5°. Перегородки служат для удержания обжигаемого материала до полного окисления. Подина печи с уклоном 3-5° дает возможность передвижению огарка до разгрузочного отверстия, а также управлять скоростью процесса, т.е. время пребывания материала в печи. Процесс ведется при температуре в пределах 600-650°C.

Преимуществами рекомендуемой печи являются: высокая производительность, подача шихты и топлива одновременно, высокая степень десульфуризации, экономия топлива при использовании теплоты дымохода. Подача горячего воздуха (в этом случае при установке спиральной трубки для нагревания подаваемого воздуха отходящие пыли остужается и выход пыли значительно уменьшается, составляя 10%), создает в дымоходе температуру, не превышающую 400°C, это приводит к уменьшению образования кислотных окислов, что в свою очередь снижает коррозию частей печи, получение электрической энергии от тепловой энергии поверхности дымохода. Данный агрегат сконструирован для интенсивного обжига сульфидных материалов любого типа.

В результате проведенных анализов:

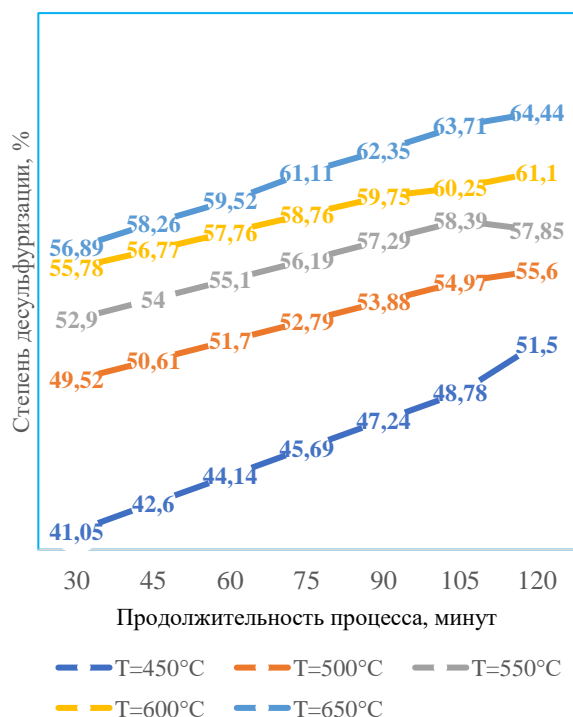
Выявлены причины недоокисления сульфидных частиц промпродуктов молибденового производства, образование диоксида молибдена. Изучены механизмы процесса окислительного обжига поэтапно, который позволяет устранить причины недоокисления.

Конечный продукт  $\text{MoO}_3$  имеет тенденцию образовывать пластинчатые и гладкие частицы при высокой температуре окисления из-за высокой подвижности атомов / молекул и высокого давления паров  $\text{MoO}_3$ ; в то время как при низкой температуре окисления образующийся  $\text{MoO}_3$  становился более крупной и грубой частицей агломерата.

Кинетическая модель двухфазной реакции применяется для описания кинетики окисления  $\text{MoO}_2$  до  $\text{MoO}_3$  в диапазоне температур от 550°C до 620°C. Установлено, что процессы окисления  $\text{MoO}_2$  до  $\text{Mo}_4\text{O}_{11}$  и  $\text{Mo}_4\text{O}_{11}$  до  $\text{MoO}_3$  контролируются первым: межфазная химическая реакция порядка и двумерная диффузия соответственно. Соответствующие энергии активации составляют 77,691 кДж / моль и 158,664 кДж / моль соответственно.

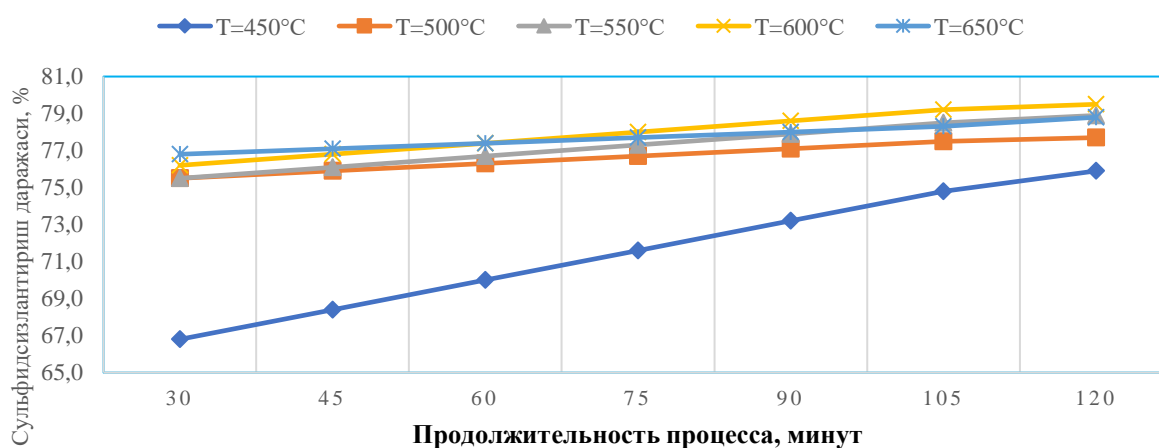
В четвертой главе диссертации **«Исследование и определение технологических показателей окислительного обжига для определения образования различных оксидов молибдена»** экспериментально обоснованы оптимальные условия для получения лучших показателей в процессе.

Проведены лабораторные испытания по окислительному обжигу молибденовых кеков в рекомендуемой разработанной лабораторной печи,



**Рис.4 Влияние температуры и продолжительности процесса на степени окисления сульфидов**

показаны данные по извлечению основного элемента и зависимость степени извлечения от продолжительности процесса, и температуры внутри агрегата.



**Рис.5 Зависимость степени извлечения от температуры и продолжительности процесса**

Здесь можно увидеть, что эффективным условием является температура внутри агрегата 600°C и продолжительность процесса 90 минут.

Далее провели эксперименты окислительного обжига в разных температурах и продолжительности процесса при влажности подаваемого материала W=16%. Наиболее положительные результаты наблюдались при

проведен обжиг сульфидных кеков молибденового полупродукта после первичного выщелачивания

содержащие, пробу №1: 1,07 % S и 8,62 % MoO<sub>3</sub>, пробу №2 1,62 % S и 8,37 % MoO<sub>3</sub>.

В цехе №3 НПО при температуре 600°C, продолжительность процесса 1-1,5 часа в укрупненных лабораторных условиях на высокоскоростной обжиговой печи проведен обжиг и получены результаты, приведенные ниже.

На рисунке 4 показаны данные лабораторных исследований в виде графика. На рисунке можно увидеть, что температура внутри печи колеблется от 450°C до 650°C, продолжительность процесса колеблется от 30 до 135 минут. Только влажность подаваемого материала везде одинакова. На рисунке 5

температуре внутри печи 500-550°C. В таблицах 1 и 2 приведены результаты экспериментов окислительного обжига при влажности подаваемого сульфидного материала 16%.

Таблица 1

**Результаты опытов окислительного обжига молибденовых кеков для определения оптимального режима. T=500°C, W=16%**

Содержание Мо, %	Содержание S, %	Продолжительность процесса, мин	Содержание S, после обжига, %	Степень десульфуризации, %	Извлечение Мо, %
8,67	1,58	30	0,72	54,56	75,1
8,67	1,58	45	0,69	56,46	75,7
8,67	1,58	60	0,66	58,35	76,3
8,67	1,58	75	0,63	60,25	76,9
8,67	1,58	90	0,60	62,15	77,5
8,67	1,58	105	0,57	64,05	78,1
8,67	1,58	120	0,56	64,70	78,5
8,67	1,58	135	0,56	64,7	78,3

Для улучшения технологических показателей пробовали провести эксперименты при 700°C. В этом случае результаты окислительного обжига в новой разработанной установке получились лучше, чем на аналогичных заводских условиях. Помимо этого, объясняется то, что в заводских условиях процесс окислительного обжига ведется в трубчато-вращающихся печах при температуре 550-600°C.

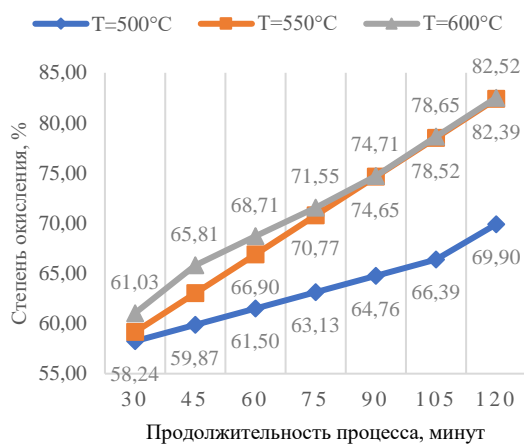
Таблица 2

**Результаты опытов окислительного обжига молибденовых кеков для определения оптимального режима. T=550°C, W=16%**

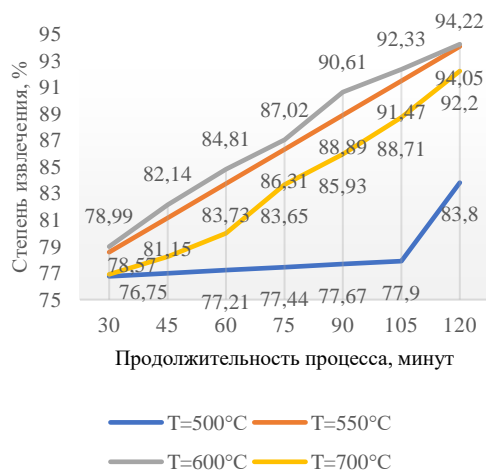
Содержание Мо, %	Содержание S, %	Продолжительность процесса, мин	Содержание S, после обжига, %	Степень десульфуризации, %	Извлечение Мо, %
8,92	1,68	30	0,71	57,74	76,1
8,92	1,68	45	0,66	60,54	78,5
8,92	1,68	60	0,62	63,33	80,9
8,92	1,68	75	0,57	66,13	83,3
8,92	1,68	90	0,52	68,93	85,7
8,92	1,68	105	0,48	71,73	88,1
8,92	1,68	120	0,40	76,20	91,5
8,92	1,68	135	0,396	76,42	91,45

Основные результаты и преимущества показаны на нижеследующих графиках. (рис.6., рис.7.) На рисунке 7. показано влияние температуры в печи на процесс обжига и в дальнейшем на степень извлечения металла. Оптимальной температурой являлся 550°C, так как с превышением

температуры внутри печи начинается спекание кусков, это приводит к дальнейшему ухудшению степени извлечения ценного компонента.



**Рис.6 Влияние продолжительности процесса и температуры на степень окисления сульфидов при влажности подаваемого материала 12%**



**Рис.7 Влияние продолжительности процесса и температуры на степени извлечения при влажности подаваемого материала 12%**

Проведены эксперименты в новой разработанной опытно-промышленной установке для интенсивного окислительного обжига при низкотемпературных условиях. Для окислительного обжига подан материал с влажностью 12%. Эксперименты проведены в разных температурах и продолжительностях процесса.

Обжиг  $\text{MoS}_2$  проводился с помощью небольших дисков с тонким слоем образца в муфельной печи на воздухе. Результаты показывают, что скорость окисления довольно низкая, ниже  $440^\circ\text{C}$ , затем увеличивается и остается довольно постоянной от примерно  $540$  до  $640^\circ\text{C}$ . Для окисления молибденитного концентрата был предложен двухреакционный механизм с промежуточным образованием  $\text{MoO}_2$ . Модель хорошо согласуется с экспериментальными результатами для первого концентрата, и для этих двух этапов была оценена энергия активации  $22$  кДж/моль. Потеря массы концентрата 2 больше, чем ожидалось, что указывает на неполное преобразование из  $\text{MoO}_2$  в  $\text{MoO}_3$ . Чтобы понять это поведение, требуется дополнительная работа.

Огарки имели тенденцию к некоторой агломерации при всех температурах, в то время как непрореагировавший концентрат оставался в виде рыхлого порошка. При температуре выше  $620^\circ\text{C}$  началось плавление-глазирование, и возникли трудности с удалением образцов со дна тигля для концентрата 1. Сублимация  $\text{MoO}_3$  стала значительной только при температуре выше  $650^\circ\text{C}$ .

В пятой главе диссертации «Разработка оптимальных параметров и рекомендация технологии окислительного обжига молибденовых концентратов и кеков» рассмотрены сравнение технологических

показателей окислительного обжига в печи кипящего слоя, трубчато-вращающейся и многоподовой печах.

Окислительный обжиг молибденовых промпродуктов проводится для окисления сульфидных частиц до триоксида молибдена. Однако, в процессе окисления сульфидов молибденовых промпродуктов образуются частично двуокись молибдена, который мешает на процесс выщелачивания, так как растворимой формой окислов молибдена является в основном триокись молибдена ( $\text{MoO}_3$ ). Проведены исследования по изучению причин образования остальных окислов молибдена, мешающих на процесс выщелачивания. Исследования проводили в разных условиях и в трёх печах. В мировой практике существует использование для окислительного обжига в основном три печи: многоподовая печь, трубчатая вращающиеся печь и печь кипящего слоя.

В первой главе достаточно рассмотрели характеристики, принципы работ и конструкции этих обжиговых печей. Далее приводим результаты исследования окислительного обжига молибденовых продуктов для сравнения показателей обжиговых печей, применяемых для окислительного обжига сульфидных концентратов молибденового производства.

Проведены серии опытов в трёх печах окислительного обжига, для изучения степени окисления и образования диоксида молибдена и молибденового ангидрида эксперименты проводили максимально в лучших условиях. Объектом исследований выбрали промпродукты молибденовые, которые являются исходным для молибденового производства в АО АГМК.

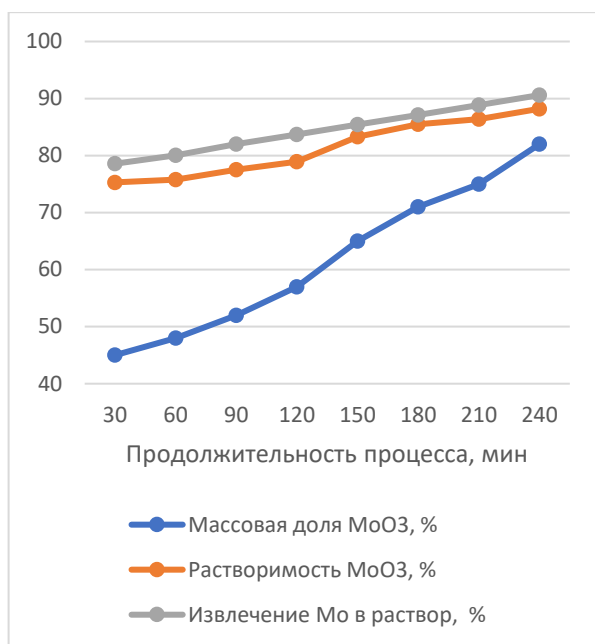
Ниже приведены результаты экспериментальных исследований.

Сначала окислительный обжиг проведен в трубчато-вращающейся печи в стандартных заводских условиях, определены растворимости полученных огарков при выщелачивании. Полученный огарок в объеме 100 г растворили в аммиачной воде в заводских условиях по технологическому регламенту завода. При выщелачивании огарка раствором аммиака молибденовый ангидрид переходит в раствор. Молибдаты и сульфаты меди, цинка, никеля также растворяются в аммиачной воде.

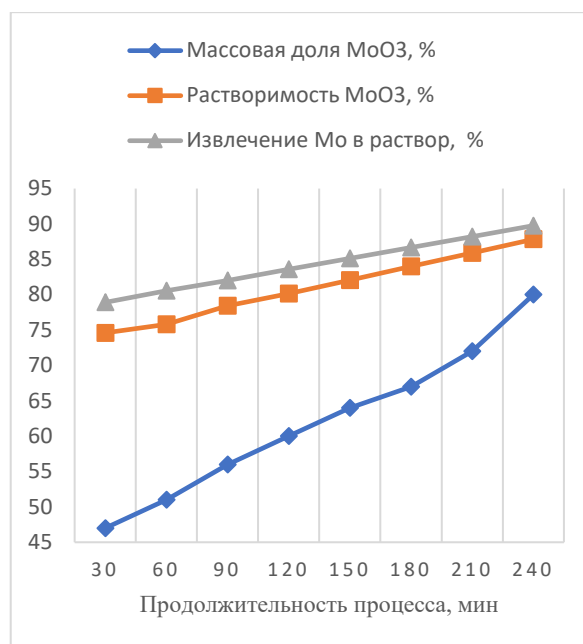
Молибден, содержащийся в молибдате железа, переходит в раствор только на 40-50%, молибдат кальция, двуокись молибдена, дисульфид молибдена практически нерастворимы в аммиачной воде. Связанный в этих соединения молибден остается в «хвостах» после обжига в печах или кислотного разложения. Результаты исследования растворимости полученного кека приведены ниже на рисунке 8.

При температуре  $550^\circ\text{C}$  растворимость огарка повышается до 88,2% в зависимости от продолжительности процесса. Удержание материала внутри окислительного агрегата приводит окислению сульфидных частиц до  $\text{MoO}_3$ . Но трубчатая вращающаяся печь помимо не смог обеспечить распространение энергии по всей поверхности, в то время нехватка температуры и кислорода привел к недоокислению сульфидов или образованию  $\text{MoO}_2$  в процесса

окислительного обжига. Далее с повышением температуры показатели печи улучшаются (рис.9.)



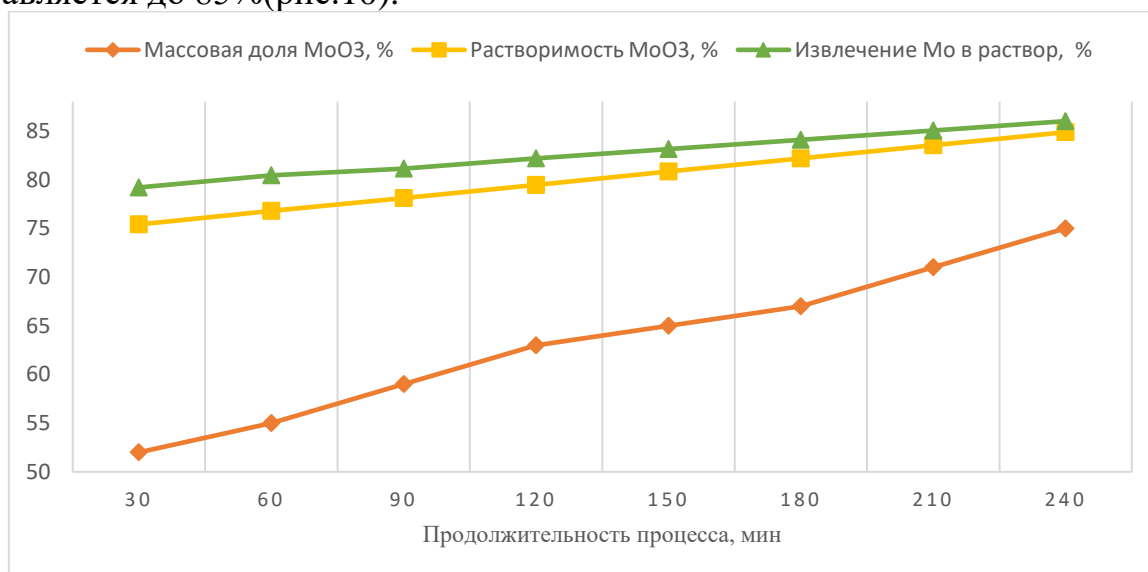
**Рис.8. Влияние продолжительности процесса окисления на эффективность выщелачивания (T=550°C)**



**Рис.9. Влияние продолжительности процесса окисления на эффективность выщелачивания (T=600°C)**

С повышением температуры сначала растворимость полученного огарка улучшается, но дальнейшее удержание материала в процессе не изменяет качество огарка, так как растворимость после окисления 600°C достиг максимума до 87,8%.

При окислительном обжиге 650°C наблюдалось интенсивное образование молибденового ангидрида, однако массовая доля триоксида молибдена не превышалась 75%, а растворимость при выщелачивании составляет до 85%(рис.10).



**Рис.10. Влияние продолжительности процесса окисления на эффективность выщелачивания (T=650°C)**

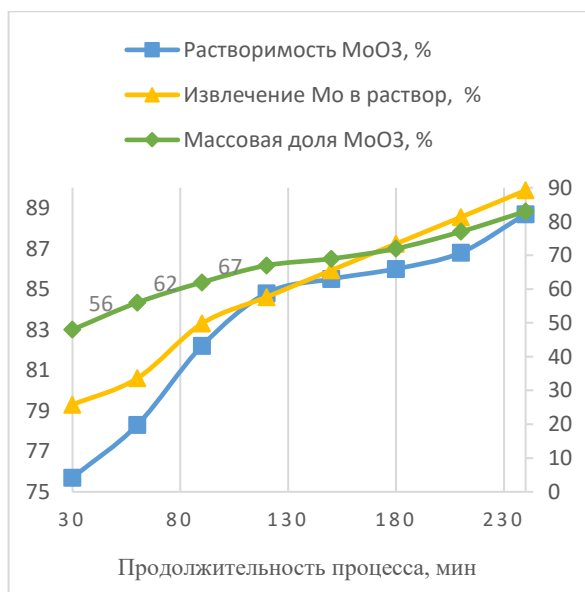
В целях нахождения оптимальных параметров окислительного обжига молибденовых концентратов были проведены серия опытов в печи кипящего слоя и многоподовой печи, которые используются часто для окислительного обжига молибденовых сульфидных продуктов в мировой практике.

Таблица 3

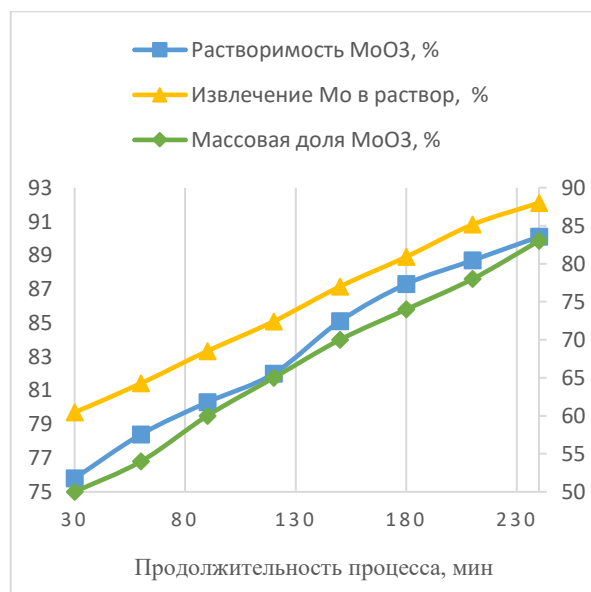
**Показатели выщелачивания огарков после окислительного обжига при  $T=550^{\circ}\text{C}$  (печь кипящего слоя)**

№ пробы	Содержание Мо, %	Продолжительность процесса, мин	Массовая доля $\text{MoO}_3$ , после обжига, %	Растворимость $\text{MoO}_3$ , %	Извлечение Мо, %
1	35,1	30	48,00	75,70	79,30
2	35,1	45	56,00	78,30	80,60
3	35,1	60	62,00	82,20	83,30
4	35,1	75	67,00	84,80	84,61
5	35,1	90	69,00	85,50	85,93
6	35,1	105	72,00	86,00	87,24
7	35,1	120	77,00	86,80	88,55
8	35,1	135	83,00	88,70	89,87

В таблице 3. указана, что при температуре  $550^{\circ}\text{C}$  и продолжительности окислительного обжига до 2,5 часа растворимость полученного огарка составляет до 89%. Можно отметить, что интенсивность образования  $\text{MoO}_3$  значительно высока, чем в трубчатой вращающейся печи и это объясняется достаточным количеством кислорода в процессе и распределением температуры по всей области печи. Подаваемая энергия максимально поглощается на частицах, конструкция печи позволяет использование тепла на высоком уровне.



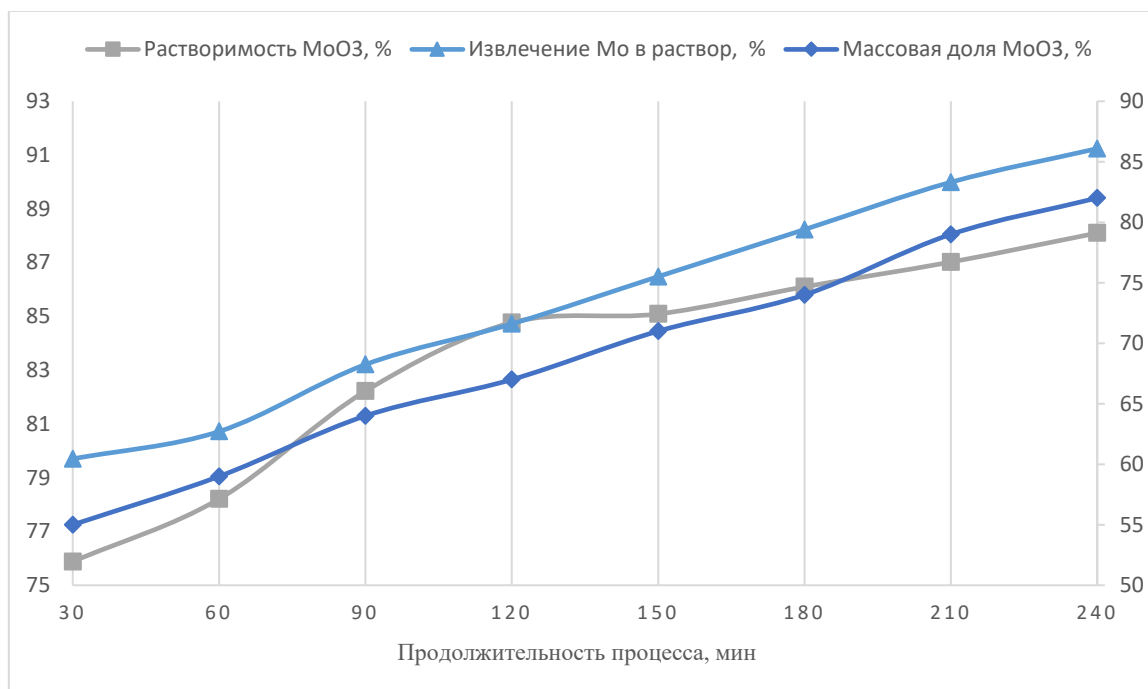
**Рис.11 Влияние продолжительности процесса окисления на эффективность выщелачивания ( $T=550^{\circ}\text{C}$ )**



**Рис.12. Влияние продолжительности процесса окисления на эффективность выщелачивания ( $T=600^{\circ}\text{C}$ )**

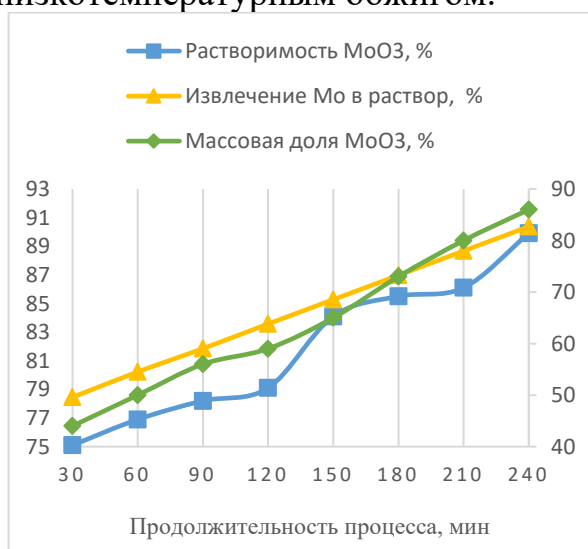
Рисунок 12 показывает достаточно высокое окисление и образование треокси молибдена в процессе, так как интенсивное окисление в печи КС привело к улучшению качества огарка, в результате чего растворимость при выщелачивании достиг до 90%.

Дальнейшее повышение температуры в печи не изменяет качество огарка (рис 13). При окислительном обжиге 650°C массовая доля образовавшегося молибденового ангидрида составляет до 82%.

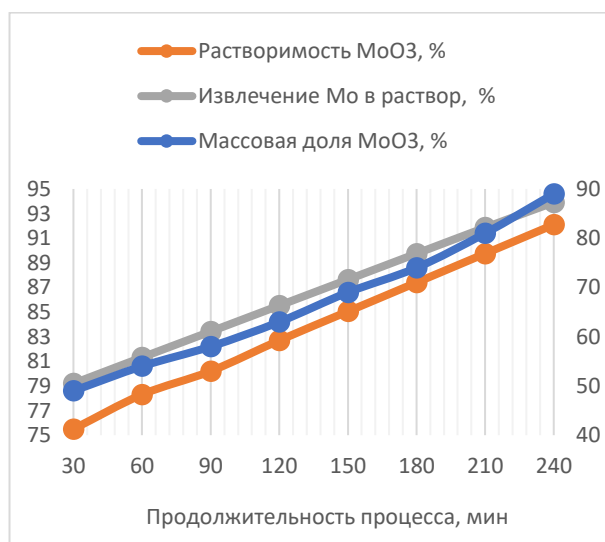


**Рис.13. Влияние продолжительности процесса окисления на эффективность выщелачивания (T=650°C)**

В мировой практике для окислительного обжига молибденовых сульфидных продуктов в основном применяются многоподовые печи. Получение огарка с высоким содержанием MoO<sub>3</sub> осуществляется низкотемпературным обжигом.



**Рис.14. Влияние продолжительности процесса окисления на эффективность выщелачивания (T=500°C)**



**Рис.15. Влияние продолжительности процесса окисления на эффективность выщелачивания (T=550°C)**



На рисунке 14 показана, что после окислительного обжига при температуре  $T=500^{\circ}\text{C}$  растворимость полученного огарка в процессе выщелачивания достигает до 90%.

Таблица 4

**Показатели выщелачивания огарков после окислительного обжига при  $T=550^{\circ}\text{C}$   
(многоподовая печь)**

№ пробы	Содержание Мо, %	Продолжительность процесса, мин	Массовая доля $\text{MoO}_3$ , после обжига, %	Растворимость $\text{MoO}_3$ , %	Извлечение Мо, %
1	33,8	30	49,00	75,50	79,20
2	33,8	60	54,00	78,30	81,32
3	33,8	90	58,00	80,20	83,42
4	33,8	120	63,00	82,70	85,53
5	33,8	150	69,00	85,05	87,64
6	33,8	180	74,00	87,40	89,75
7	33,8	210	81,00	89,75	91,86
8	33,8	240	89,00	92,10	93,91

С повышением температуры после окислительного обжига и гидрометаллургической обработки извлечение молибдена в раствор составлялось 94 % (таблица 5, рис.15).

Повышение температуры до  $600^{\circ}\text{C}$  не изменяет качество получаемого продукта.

Исходя из вышеперечисленных данных можно выводиться, что наилучшие результаты окислительного обжига молибденовых сульфидных концентратов наблюдаются в многоподовой печи при температуре  $550^{\circ}\text{C}$ .

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Рекомендована на производство повышение степени десульфуризации до 88% в результате низкотемпературного обжига ( $550^{\circ}\text{C}$ ) и уменьшение образования спёкшихся кусков огарка, в результате применения печи интенсивного обжига для кеков молибденового производства, проведены испытания в опытно-промышленной установке и обеспечено уменьшение продолжительности процесса и увеличение извлечения молибдена из растворов до 94%.

2. Научно обоснованы влияния механизмов формирования оксидных соединений на процесс обжига и определены наилучшие условия взаимодействия кислорода воздуха, разрушающая кристаллическую решетку сульфидов.

3. Определены причины недоокисления дисульфида молибдена и образования диоксида молибдена, исследованы структуры, минералогические составы молибденовых промпродуктов, огарков, пылей молибденового производства и кеков выщелачивания АО «Алмалыкский ГМК».

4. Разработана рекомендуемая технология окислительного обжига сульфидных молибденовых кеков с применением интенсивного низкотемпературного обжига в модернизированной установке.

5. Разработаны и установлены параметры аммиачного и содового выщелачивания огарков молибденовых промпродуктов для улучшения растворимости и перевода молибденового ангидрида в раствор.

6. Разработана усовершенствованная технология окислительного обжига сульфидных молибденсодержащих промпродуктов в многоподовой печи, позволяющая получение качественного огарка с высокой массовой долей молибденового ангидрида.

7. Выявлены основные технологические показатели, преимущества и недостатки окислительного обжига молибденовых промпродуктов сравнением в трубчато-вращающейся печи, в печи кипящего слоя и многоподовой печи для получения полного окисленного огарка с высоким содержанием молибденового ангидрида, в которой является основным продуктом молибденового производства.

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY  
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV  
SCIENTIFIC COUNCIL AWARDED SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.03/30.12.2019.K/T.03.01 AT STATE UNITARY ENTERPRISE  
«FAN VA TARAKKIYOT»**

---

**NAVOI STATE MINING INSTITUTE**

**TOLIBOV BEHZOD IBROHIMOVICH**

**IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF ROASTING OF SULFIDE  
MATERIALS AND SLUDGES OF METALLURGICAL PRODUCTION  
FOR THE RECOVERY OF VALUABLE COMPONENTS**

**05.02.01 – Materials science in mechanical engineering. Foundry. Heat treatment and  
metal pressure treatment. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals  
(technical sciences)**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR TECHNICAL SCIENCE (DSc)**

**Tashkent – 2021**

**The theme of dissertation doctor science (DSc) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2021.4.DSc/T463**

The dissertation has been carried out at the Navoi State Mining Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, English (resume)) on the scientific council website (www.gupft.uz) and on the website of «Ziyonet» information and educational portal (www.ziyonet.uz).

**Scientific Consultant:** **Hasanov Abdurashid Saliyevich**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:** **Shadrunova Irina Vladimirovna**  
doctor of technical sciences, professor

**Sharipov Hasan Turapovich**  
doctor of chemical sciences, professor

**Abed Nodira Sayibjanovna**  
doctor of technical sciences, professor

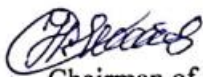
**Leading organization:** **Tashkent Chemical and Technological Institute**

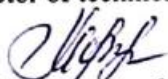
The defense of the dissertation will take place on December 18, 2021 at 10<sup>00</sup> at a meeting of Scientific council DSc.03/30.12.2019.K/T.03.01 at Tashkent State technical university named after Islam Karimov at State unitary enterprise «Fan va tarakkiyot» (Address: 100174, Tashkent, Almazar district, Mirzo Golib street, 7a. Tel.: (99871)246-39-78; fax: (99871) 227-12-73, E-mail: fanvataraqqiyot@mail.ru).


The dissertation can be reviewed at the Informational Resource Center of the State unitary enterprise «Fan va tarakkiyot», (registered under No.32-21) (Address: 100174, Tashkent, Almazar district, Mirzo Golib street, 7a. Tel.: (99871)246-39-78; fax: (99871)227-12-73)

The abstract of the dissertation sent out on December 06, 2021 y.  
(mailing report No.32-21 dated November 26, 2021 y.)



 **S.S. Negmatov**  
Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

 **M.E. Ikramova**  
Scientific secretary of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
candidate of chemical sciences, s.r.a

 **A.M. Eminov**  
Chairman of the academic seminar under the  
scientific council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (the dissertation abstract of (DSc) Doctor of Science)

**The aim of research work** is the improvement of the process of burning sulphide materials and sludges of metallurgical production to extract valuable components.

**The objects of the research work** are, molybdenum product, cinders of molybdenum product, molybdenum sludges after soda leaching and dust from the hydrometallurgical production of molybdenum concentrates of the scientific and production association of Rare Metals and Hard Alloys JSC "Almalyk MMC".

**Scientific novelty of the research work** is as follows:

the causes of underoxidation and the formation of molybdenum dioxide have been determined, the structures, mineralogical compositions of molybdenum product, cinders, dust of molybdenum production and leaching sludges have been substantiated;

the mineralogical features of molybdenum compounds before and after firing have been established, and molybdenum anhydrides have been determined;

the influence of the mechanism of formation of oxide compounds on the roasting process has been substantiated and the best conditions for the interaction of air oxygen that destroy the crystal lattice of sulfides have been determined;

the main technological indicators, advantages and disadvantages of oxidative roasting of molybdenum product in a rotary tubular furnace, in a fluidized bed furnace and a multi-hearth furnace to obtain a complete oxidized cinder with a high content of molybdenum anhydride, in which it is the main product of molybdenum production, have been determined;

an improved technology has been developed and the parameters of the oxidative roasting of molybdenum sulfide product have been established, the reasons for the formation of molybdenum dioxide in the roasting process have been identified;

established and substantiated the main parameters of roasting and leaching by the ammonia and soda method;

a technological scheme for processing molybdenum product and sludges was developed.

**Implementation of the research results.** Based on the conducted scientific research on improving the process of roasting sulphide materials and sludges of metallurgical production to extract valuable components, the following results were obtained:

the improved technology of oxidative roasting of molybdenum sulfide product was introduced during the oxidative roasting of sulfide concentrates of molybdenum production of the Scientific and Production Association for the Production of Rare Metals and Hard Alloys of Almalyk Mining and Metallurgical Combine JSC (certificate of AMMC JSC No. AA-009633 dated November 25, 2021). As a result, it became possible to ensure an increase in the degree of sulfur removal; after two-stage leaching, 94% of oxidized molybdenum goes into solution;

The established parameters as a result of research for oxidative roasting of molybdenum sulfide concentrates were introduced during roasting of product of

molybdenum production of JSC Almalyk Mining and Metallurgical Combine (certificate of JSC AMMC No. AA-009633 dated November 25, 2021). As a result of the application of parameters in the processes of oxidative roasting of sulphide molybdenum concentrates of AMMC JSC, it became possible to ensure an increase in the degree of dissolution of the cinder to 92%, as a result of obtaining a high-quality cinder with a mass fraction of molybdenum anhydride of 90%;

the final technological regulations for the oxidative firing of molybdenum product in low-temperature conditions at a temperature of 550 ° C for 3-4 hours were introduced during the oxidative firing of sulphide concentrates of molybdenum production of AMMC JSC (certificate of AMMC JSC No. AA-009633 dated November 25, 2021), which makes it possible ensure the transfer of molybdenum anhydride into solution up to 94%, other valuable components into sludge.

**The structure and volume of the thesis.** The structure of the dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusion, a list of used literature and applications. The volume of thesis is 198 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть, part I)**

1. Толибов Б.И. Исследование процесса окислительного обжига золотосодержащих сульфидных материалов для разработки оптимального режима // Евразийский союз ученых #5 (74), 2020. –С41-49 DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.74.756 (№16; Directory Indexing of International Research Journals-CiteFactor, 2019-2020 – 1,44)

2. Толибов Б.И., Абдукадиров А.А., Хасанов А.С. Исследование механизмов образования  $\text{MoO}_2$  на  $\text{MoO}_3$  в процессах окислительного обжига молибденовых промпродуктов // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2021. – №4. – С. 63-69 (05.00.00; №7).

3. Толибов Б.И., Хасанов А.С. Изучение основных параметров технологии низкотемпературного обжига молибденовых кеков после содового выщелачивания // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, №9, 2021. –С824-831 (№23; Scientific journal impact factor, SJIF 2021: 5.423 )

4. Толибов Б.И., Хасанов А.С., Пирматов Э.А. Исследование возможности применения технологии содового выщелачивания молибдена. Universum: технические науки: электронный научный журнал, 2021. 10(91), – С68-71. (02.00.00; №1)

5. Tolibov B, Hasanov A. Research In The Field Of Intensive Oxidative Roasting Of Molybdenum Sludges // The American Journal of Applied sciences. Sept 30, 2021. –P57-66. (№23; Scientific journal impact factor, SJIF 2021: 5.634 )

6. Tolibov B.I., Hasanov A.S. Исследования по изучению механизмов образования окислов при окислительном обжиге сульфидных концентратов молибдена // Universum: технические науки: электронный научный журнал. 2021. 11(92).С31-34. (02.00.00; №1)

7. Tolibov B.I., Hasanov A.S. Сравнение технологических показателей окислительного обжига молибденовых концентратов в разных обжиговых печах // Universum: технические науки: электронный научный журнал. 2021, 11(92). С28-31. (02.00.00; №1)

8. Tolibov B.I., Khasanov A.S., Pirmatov E.A. Factors influencing technological indicators in the production of molybdenum // Universum: технические науки: электронный научный журнал, 2021. 10(91), –P39-42 (02.00.00; №1)

9. Behzod Tolibov, Abdurashid Hasanov. Theoretical basis and analysis of experiences on studying the mechanisms of oxides formation during oxidative firing of molybdenum sulfides // International Scientific Journal Theoretical & Applied Science, №11, 2021 г. –С372-375. (№23; Scientific journal impact factor, SJIF 2021: 7.184)

10. Behzod Tolibov, Abdurashid Hasanov. Research on study of mineralogical composition of products of firing of sulfide concentrates of molybdenum // ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal, Vol 11, Issue 10, October 2021. –P962-974. (№23; Scientific journal impact factor, SJIF 2021: 7.492)

## **II бўлим (II часть, part II)**

11. Б.И.Толибов, Б.Р.Вохидов, Х.Ш.Шерхонов, М.Н.Ханонова. Многоканальное устройство для регистрации и контроля температуры // Материалы международной научно-технической конференции «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса», - Навои. 12-14 июня 2017 года. –С102

12. Б.И.Толибов, У.А.Хасанов, А.А.Абдукадиров, А.Сайназаров. Теоретические основы технологии отражательной плавки с регулируемой десульфуризацией // Материалы международной научно-технической конференции «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса», - Навои. 12-14 июня 2017 года. –С115

13. Хасанов А.С., Толибов Б.И., Юлдошев С.М. История и развитие печной техники. Материалы республиканской научно-технической конференции «Новые композиционные и нанокоспозиционные материалы: структура, свойства и применение», - Ташкент. 5-6 апреля 2018 года. –С247-248

14. Б.И.Толибов, А.С.Хасанов, У.А.Хасанов. Основные теоретические закономерности термо-гравитационного способа обеднения шлаков // Материалы республиканской научно-технической конференции «Современные проблемы и перспективы химии и химико-металлургического производства», - Навои. 22 ноября 2018 года. –С204.

15. А.А.Юсупходжаев, А.С.Хасанов, Б.И.Толибов, Б.Т.Бердияров. Твердофазное восстановление железа из рафинированных шлаков // Материалы республиканской научно-технической конференции «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и перспективы инновационного развития», - Навои. 15-16 ноября 2016 года. –С102

16. B.I.Tolibov, A.S.Hasanov, F.G.Pirnazarov. Molybdenum containing products processing in conditions of SPA RM&RA AMMC // Proceedings of international conference on Integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects, –Navoi, 27-28 November 2019. –P139-143

17. Tolibov B.I. Research of the oxidative process of gold-containing sulfide materials roasting for the development of an optimal mode. Тесника №2, 2020. – С15-19. DOI: 10.24411/2181-0753-2020-10003

18. Хасанов А.С., Толибов Б.И., Юлдошев С.М. Энергиятежамкор куйдирувчи печь ва унинг афзалликлари. Материалы республиканской научно-технической конференции «Новые композиционные и нанокоспозиционные материалы: структура, свойства и применение», - Ташкент. 5-6 апреля 2018 года. –С255-258



19. B.I.Tolibov, A.S.Hasanov, U.A.Hasanov. Исследование поверхностного свойства шлаковых расплавов. *Journal of Advances in Engineering Technology* Vol.1 (1), 2020. –P53-56
20. Хасанов А.С., Толибов Б.И., Сирожов Т.Т., Ахмедов М.С. Новые направления по созданию технологии грануляции шлаков медного производства // *Евразийский союз ученых* #2 (71), 2020. –С49-55. DOI: DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.71.600
21. Толибов Б.И., Хасанов А.С. Исследование механизмов окислительного обжига промпродуктов молибденового производства // *Journal of Advances in Engineering Technology*, Vol.2 (4), 2021. –P92-97
22. U.A.Hasanov, B.I.Tolibov. Особенности грануляции шлаков жидкими охлаждающими агентами. «Uchinchil Renaissance: ilmiy-fan va ta'lim taraqqiyoti istiqbollari» mavzusidagi ilmiy konferensiya materiallari. –Toshkent, Yanvar, 2021 yil. –23-26
23. Б.А.Ваккасов, У.А.Хасанов, Б.И.Толибов. Равновесия в фазовых ассоциациях шлаков медного производства // М атериалы международной научно-технической конференции «Проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» – г. Алмалык, 27 мая 2021 года.

Автореферат «Ўзбекистон кончилик хабарномаси» журналидан таҳрирдан  
ўтказилди.

Бичими 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.  
Шартли босма табағи: 2,5. Адади 100. Буюртма № 89.

Гувоҳнома reestr № 10-3719  
“Тошкент кимё технология институти” босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.

---