

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSC 02/30.12.2019.К/Т.35.01
РАҚАМЛИ БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ

НИМЧИК АЛЕКСЕЙ ГРИГОРЬЕВИЧ

**ҚАТТИҚ ЧИҚИНДИЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШДАГИ ФИЗИК-
КИМЁВИЙ ВА ТЕРМОДИНАМИК ЖАРАЁНЛАР ВА УЛАРНИНГ
КЛИНКЕР ҲОСИЛ БЎЛИШ ВА ҚОЛДИҚ МЕТАЛЛАРНИ
ҲАЙДАЛИШ КИНЕТИКАСИГА ТАЪСИРИ**

02.00.15-Силикат ва қийин эрийдиган нометалл материаллар технологияси

**КИМЁ ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАН ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

Фан доктори (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора наук (DSc)

Contents of the abstract of dissertation Doctor of Science (DSc)

Нимчик Алексей Григорьевич

Қаттиқ чиқиндилардан фойдаланишдаги физик-кимёвий ва термодинамик жараёнлар ва уларнинг клинкер ҳосил бўлиш ва қолдиқ металлларни ҳайдалиш кинетикасига таъсири.....3

Нимчик Алексей Григорьевич

Физико-химические и термодинамические процессы использования твердых отходов и их влияние на кинетику клинкерообразования и возгонку остаточных металлов.....29

Nimchik Aleksey Grigoryevich

Physicochemical and thermodynamic processes of using solid waste and their influence on the kinetics of clinker formation and sublimation of residual metals.....55

Эълон қилинган илмий ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....59

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSC 02/30.12.2019.К/Т.35.01
РАҚАМЛИ БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ

НИМЧИК АЛЕКСЕЙ ГРИГОРЬЕВИЧ

**ҚАТТИҚ ЧИҚИНДИЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШДАГИ ФИЗИК-
КИМЁВИЙ ВА ТЕРМОДИНАМИК ЖАРАЁНЛАР ВА УЛАРНИНГ
КЛИНКЕР ҲОСИЛ БЎЛИШ ВА ҚОЛДИҚ МЕТАЛЛАРНИ
ҲАЙДАЛИШ КИНЕТИКАСИГА ТАЪСИРИ**

02.00.15-Силикат ва қийин эрийдиган нометалл материаллар технологияси

**КИМЁ ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАН ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2020.4.DSc/K99 рақами билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Умумий ва ноорганик кимё институтида бажарилган.
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.ionx.uz) ҳамда «Ziyonet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Қодирова Зулайҳо Раимовна
кимё фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Шарипов Хасан Турапович
Кимё фанлари доктори, профессор

Юнусов Миржалил Юсупович
техника фанлари доктори, профессор

Талипов Нигматулла Хамидович
техника фанлари доктори

Етакчи ташкилот:

**Миллий технологик тадқиқотлар университети
«МИСиС»нинг Олмалиқ шаҳридаги филиали**

Диссертация ҳимояси Умумий ва ноорганик кимё институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 рақамли бир марталик Илмий кенгашнинг 2021 йил 21 декабрь соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улуғбек кўчаси, 77а. Тел. (99871) 262-56-60; факс: (99871) 262-79-90; e-mail: ionxanguz@mail.ru).

Докторлик диссертацияси билан Умумий ва ноорганик кимё институти Ахборот ресурс марказида танишиш мумкин (20 - рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: Тошкент шаҳри, Мирзо Улуғбек кўчаси, 77а. Тел. (99871) 262-56-60; факс: (99871)262-79-90.

Диссертация автореферати 2021 йил 7 декабрь куни тарқатилган.
(2021 йил 7 декабрь № 20 - рақамли реестр баённомаси).



Б.С. Закиров

Илмий даража берувчи бир марталик
Илмий кенгаш раиси, к.ф.д., профессор

Д.С. Салиханова

Илмий даража берувчи бир марталик
Илмий кенгаш котиби, т.ф.д., профессор

У.К. Ахмедов

Илмий даража берувчи Илмий кенгаш қошидаги
бир марталик илмий семинар раиси,
к.ф.д., профессор

КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Ҳозирги кунда дунёда минерал хомашё ва техноген чиқиндилардан комплекс ва оқилона фойдаланиш учун, юқори технологик ишлаб чиқариш базасини ривожлантиришга олиб келувчи, ушбу ресурслардан энг кўп ҳажмда фойдаланадиган қурилиш саноатида инновацион технологияларни яратиш муҳим илмий-амалий вазифа ҳисобланади. Ушбу йўналишда тоғ-кон металлургия ва кимё саноатининг ноорганик чиқиндиларидан фойдаланиб, портландцемент клинкери ва ғовакли силикат тўлдиргичларини олишнинг комплекс қайта ишлаш усуллари, ҳамда энергия ва ресурстежамкор технологияларни яратиш муҳим аҳамият касб этади.

Дунё миқёсида ушбу йўналишда минерал хомашё ўрнига унинг альтернатив манбаларини асосида портландцементнинг самарадор таркибларини яратиш, ҳамда уларни ишлаб чиқаришнинг энергия ва ресурстежамкор технологияларини такомиллаштириш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда. Бу борада, қаттиқ чиқиндилардан фойдаланишдаги физик-кимёвий ва термодинамик жараёнларини, ҳамда клинкер ҳосил бўлиш ва қолдиқ металлларни ҳайдаш кинетикасига таъсирини ўрганишда мақбул физик-кимёвий таркибларини, клинкер ҳосил бўлиш ва пишиш жараёнларини жадаллаштириш усуллари, қолдиқ металллар ҳайдаш жараёнининг мақбул усуллари, ҳамда жадаллашган куйдириш чоғида клинкер ҳосил бўлиш ва қолдиқ металлларни ҳайдаш жараёнларининг кинетик ва термодинамик ҳусусиятларини аниқлаш муҳим аҳамият эга.

Республикада портландцемент клинкери ва ғовакли силикат материалларини олиш учун иккиламчи ресурслар, хусусан тоғ-кон металлургия ва кимё саноати саноати чиқиндилари асосида энергия ва ресурстежамкор технологиялар фойдаланиб, қурилиш материаллари ишлаб чиқариш технологияларини яратиш бўйича кенг кўламли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян илмий ва амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича “Ҳаракатлар стратегияси”да «...саноатни сифат жиҳатидан янги босқичга ўтказиш орқали уни янада модернизация ва диверсификация қилиш, юқори технологияли қайта ишлаш тармоқларини илгари суришда, биринчи навбатда маҳаллий хомашёни чуқур қайта ишлаш асосида юқори қўшилган қийматга эга тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришга»¹ қаратилган вазифалар аниқланган. Бу борада, Олмалик ТКМК флоточиқиндиси, сода ишлаб чиқаридаги қаттиқ чиқиндиларидан фойдаланиш асосида клинкер ҳосил бўлиш ва ғовакли тўлдиргич олишда, параллел равишда қолдиқ металлларни ҳайдаш жараёнларини тадқиқ этиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини Ривожлантиришнинг бешта тамойили бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги Фармони

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда бешта устувор йўналишлар бўйича ривожлантириш Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги ПФ-4947-сон Фармони

ва 2018 йил 07 майдаги ПҚ-3698-сон «Иқтисодиёт тармоқлари ва соҳаларига инновацияларни жорий этиш механизмларини такомиллаштириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида», 2019 йил 23 майдаги ПҚ-4335-сон «Қурилиш материаллари саноатини жадал ривожлантириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисидаги», 2019 йил 23 июлдаги ПҚ-4401-сон «Ёр қаърини геологик ўрганишни янада такомиллаштириш ва 2020-2021 йилларга мўлжалланган минерал хомашё базасини ривожлантириш ва такрор ишлаб чиқариш дастурини амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари, ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга мазкур диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланиши устувор йўналишларига боғлиқлиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг VII. «Кимё технологиялари ва нанотехнологиялар» устувор йўналишига мувофиқ ҳолда бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи². Минерал хомашё ва иккиламчи ресурслар асосида портландцемент таркиби ва олиш технологиясини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан В.Г.Шухов номидаги Белгород технология университети ва Д.И.Менделев номидаги Россия кимё-технология университети (Россия), Приднепров давлат қурилиш ва архитектура академияси (Украина), М.Ауезов номидаги Жанубий Қозоғистон давлат университети (Қазақстан), Беларуссия давлат технология университети (Белоруссия), Bau-Haus Universitat ба VDZ-Verein Deutschen Zementwerke (Германия), CNBM Engineering Co Ltd (Хитой), Asian Cimento AS (Туркия), Тошкент кимё-технология институти, Умумий ва ноорганик кимё институтларида (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Хомашё таркибидаги минерал ҳосил бўлиш жараёнида куйдириш интенсификатори сифатида фойдаланилган саноат чиқиндилари таъсирини аниқлашга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, куйидаги илмий натижалар олинган: ёқилғи-энергетика комплекси чиқиндиларидан, хусусан хомашё омуктасида алюмосиликатли компонент сифатида ишлатилган тошқол, култошқоли ва кўмир бойитишдаги чиқиндилардан фойдаланиб, портландцемент клинкери олиш технологияси яратилган (В.Г.Шухов номидаги Белгород технология университети, (Россия), домна тошқоллари ва темирли чангдан фойдаланиб, цемент клинкери синтез қилинган (Приднепров давлат қурилиш ва архитектура академияси, Украина), қурилиш чиқиндиларидан керамзит ва бошқа ғовак қурилиш материалларини олиш технологияси ишлаб чиқилган (CNBM Engineering Co Ltd, Хитой), ғовакли материал олишда четдан келтириладиган

²Диссертация мавзуси бўйича чет эл илмий тадқиқотлари тавсифи: <http://www.antoninisrl.com>, <http://www.bottero.com>, <http://www.ocmigroup.com>, <http://www.sklostroj.cz>, <http://www.emhartglass.com>, <http://www.imaca.nl>, <http://www.fivesgroup.com>, <http://www.glasmaschinenbau-freital-gmbh>, <http://www.parkinson-spencer.co.uk>, <http://www.lattimer.com>, <https://www.ionx.uz> ва бошқа ҳаволалар.

қимматбаҳо кўмир юза жинсли (қумли соз тупроқ) ўрнига торф ишлаб чиқариш чиқиндисидан фойдаланиш технологияси яратилган (Белоруссия давлат технология университети, Беларуссия).

Дунёда қурилиш материаллари олишда табиий хомашё ўрнига тоғ-кон металлургия ва кимё саноатлари техноген чиқиндиларини ва клинкер ҳосил бўлишдаги интенсификатор ва пишиш жараёнларини ўрганиш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда, жумладан табиий хомашё материалларини иқтисод қилиб, юқори реакция қобилиятига эга бўлган техноген чиқиндиларига алмаштириш, жадаллаштирувчи бирикмалар миқдори юқори бўлган минераллаштирувчи қўшимчалардан фойдаланиш, цемент клинкери ва ғовакли материал олишда энергиятежамкор технологияларни ўзлаштириш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Илмий техник адабиётларда турли кўринишдаги саноат техноген чиқиндиларидан хомашё омуктаси компонентлари ёки минерал ҳосил бўлиш жараёнида жадаллаштирувчи сифатида фойдаланиб, ресурстежамкор ва кам энергия сифимли цемент клинкери олиш технологиясини ишлаб чиқариш бўйича шуғулланган Ю.М.Бутт, В.В.Тимашев, М.М.Сычев, И.Г.Лугинина, И.С.Канцепольский, Х.Ф.Тейлор, А.А.Пашенко, Т.В.Кузнецова, В.П.Петров, Fu-Shen Zhang, Л.М.Сулименко, А.К.Иогансон, Г.М.Каненко, G.D.Paradimitrion, А.А. Салей, В.К.Классен, Ю.Р.Кривобородов, В.В.Тюкавкина, В.И.Шишкин, Е.А.Яценко, В.И.Ларин, Zhou Cui- Hong, M.W.Almedia, Zhao Qinglin ва бошқаларнинг илмий тадқиқотларида кенг ёритилган.

Ғовакли силикат материаллари ишлаб чиқаришда техноген чиқиндиларидан фойдаланиш ҳисобига хомашё базасини кенгайтиришга ва технологик самарадорлигини оширишга бағишланган илмий ишланмалар С.П.Онацкий, Н.И.Макридин, В.З.Абдрахимов, В.П.Петрова, А.Н.Отарбаев, С.Н.Березовский, Я.А.Рекитар, Д.Ю.Денисов, А.В.Дорошин, П.И.Грехов, Н.К.Манакова, С.А.Монтаев, Е.А.Баранов, Р.Е.Ефимов, Я.А.Лупоносков, G.S.Virdi, С.А.Мизюржев ишларида келтирилган. Пишишдаги минерал ҳосил бўлиш жараёнига улар таъсирининг қонуниятлари ўрганилган, ҳамда улар асосида олинган керамзит ва аглопоритнинг физик-кимёвий ва физик-механик хоссалари тадқиқ этилган.

Ўзбекистонда рангли металлургия флоточиқиндиси, фосфогипс ва сода ишлаб чиқаришининг қаттиқ чиқиндиси каби техноген чиқиндиларнинг клинкер ҳосил бўлиш ва ғовакли материал пишиш жараёнига таъсирини тадқиқ этиш билан И.С.Канцепольский, Н.А.Сиражиддинов, Т.А.Атакузиев, Б.И.Нудельман, М.И.Искандарова, М.А.Ахмедов, Ф.А.Атабаев, З.П. Пулатов, С.С.Негматов, Н.Р. Рузиев, М.И. Рахманов, Ф.Л.Глекель, А.П. Иркаходжаева, З.Р.Қодирова, Н.Х.Талипов, С.Н.Аминов каби олимлар ва бошқалар шуғулланганлар. Ҳозирги кунда Республикада портландцемент клинкери ишлаб чиқаришда техноген чиқиндилардан фойдаланиш бўйича бир қатор тадқиқотлар олиб бориляпти, аммо алюмосиликат хомашё компоненти сифатида рангли металлургия флоточиқиндисини қўллаш ва куйдириш

жараёнида ушбу флоточиқиндилар таркибидаги қолдиқ металлларнинг учувчан бирикмаларини параллел равишда ажратиш билан клинкер ҳосил бўлиш ва пишиш жараёнига интенсификатор сифатида кимё саноати чиқиндисининг таъсирини билан илмий асосланган маълумотлар мавжуд эмас.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилаётган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Умумий ва ноорганик кимё институти илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ ПЗ-20170920189 «Норуда хомашё ва иккиламчи ресурсларни комплекс қайта ишлаш йўли билан иссиқликни ҳимояловчи-оловбардош ва керамика материалларининг импорт ўрнини босувчи таркиблари ва олиш технологиясини ишлаб чиқиш» мавзусидаги амалий лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади қаттиқ чиқиндиларни қўллашнинг физик-кимёвий ва термодинамик жараёнлари, ҳамда рангли қолдиқ металлларни параллел ҳайдаш ва ажратиш билан портландцемент клинкери ва ғовакли силикат материаллари олишда клинкер ҳосил бўлиш кинетикасига ва қолдиқ металлларни ҳайдашга уларнинг таъсирини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

портландцемент хомашё аралашмаларидаги декарбонизациянинг механизм и кинетикасига ноорганик қўшимчаларнинг жадаллаштириш таъсирини физик-кимёвий усуллар билан аниқлаш;

портландцемент хомашё аралашмасини куйдиришда асосий клинкер фазаларини минерал ҳосил бўлиш механизмига жадаллаштирувчи қўшимчаларни комплекс таъсирини тадқиқ этиш;

фойдаланилган ОТКМ флоточиқиндисининг хомашё аралашмасини агрегацияли куйдиришда кечадиган пишиш жараёнига таъсирини ўрганиш;

қўлланилган кимё ишлаб чиқаришдаги ноорганик чиқиндиларининг синтез қилинган ғовакли тўлдиргичнинг айрим физик-кимёвий ва физик-механик хоссаларига таъсирини тадқиқ этиш;

портландцемент клинкери ва ғовакли тўлдиргич олишда рангли металллар ҳайдаш қонуниятига комплекс омиллар таъсирини ўрганиш;

математик ва график моделлаштириш усуллари билан портландцемент клинкер ива ғовакли тўлдиргичлар хомашё аралашмаларини ҳайдаш интенсификатори билан юқори ҳароратда куйдириш чоғида кечадиган Au, Ag, Pb, Cu, Se металлларини ҳайдашнинг термодинамик ва кинетик параметрларини ҳисоблаш;

ишлаб чиқариш шароитида намуналарни тажриба синаш йўли билан тадқиқот натижаларини апробациядан ўтказиш;

тадқиқот натижаларини муҳокамадан ўтказиш ва улардан амалий жиҳатдан фойдаланиш юзасидан тавсиялар тайёрлаш.

Тадқиқотнинг объектлари сифатида Шавазсой оҳактоши, Ангрен кони каолини, Олмалик ТКМКнинг мис, кўрғошин бойитиш фабрикаларининг

флотация чиқиндилари, мисни ажратгандан кейинги тошқоли, «Аммофос-Максам» фосфогипси, Қўнғирод сода заводининг қаттиқ чиқиндиси, ҳамда цемент клинкери ва ғовакли силикат материалларининг тажриба намуналари олинган.

Тадқиқотнинг предметини цемент клинкери ва ғовакли силикат материаллари тажриба намуналари хомашё компонентларининг пишиш, кинетика, механизм, термодинамика физик-кимёвий ва физик-механик хусусиятларини тадқиқ этиш ҳисобланган. Клинкер ҳосил бўлишдаги қолдиқ метал тузларини ҳайдаш, мақбул таркиблар ва улар пишишининг технологик режимларини лаборатория тадқиқотлари ва ишлаб чиқариш синовлари йўли билан аниқлаш ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Диссертация ишида қурилиш материалларининг юқори ҳароратли синтезида минерал ҳосил бўлиш жараёнларини ўрганишда физик-кимёвий тадқиқотнинг замонавий: рентгенфаза, дифференциал-термик, петрографик, спирто-глицерат, ҳамда масс-спектроскопик ва абсорбцион-гравиметрик усулларидан фойдаланилди.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

флоточиқиндидан фойдаланилган портландцемент клинкери минерал ҳосил бўлиш механизми ва кинетикасига фосфогипс ва сода ишлаб чиқаришидаги қаттиқ чиқиндисининг таъсири аниқланган;

флоточиқинди асосидаги портландцемент хомашё аралашмасининг фазавий ўзгариш кинетикасига фосфогипс ва ТОСПларнинг жадаллаштирувчи таъсирининг ўзига хослиги аниқланган;

декарбонизация ва минерал ҳосил бўлиш даражасининг ўсишига ноорганик қўшимчаларнинг таъсири, ҳамда фаза ҳосил бўлишига эришиш ҳароратининг 50-70°Cга пасайиши аниқланган;

илк бор рангли металлларни параллел ҳайдаш билан МОФ флоточиқиндисидан асосий хомашё компоненти сифатида фойдаланиб, ғовакли силикат материалларини олиш имкониятлари асосланган;

агломерацияда борадиган қаттиқ фазали ўтиш механизмига хомашё омухта компонентларининг таркиби ва қуйдириш жараёнларининг таъсири исботланган;

портландцемент клинкери ва ғовакли силикат материали хомашё аралашмаси таркибидаги металлларнинг хайдалишига кимё саноати ноорганик чиқиндиларининг кучли жадаллаштирувчи таъсири аниқланган;

математик моделлаштириш усули билан металлларни ҳайдаш жараёнининг кинетик ва термодинамик хусусиятлари, жумладан тезлик константаси, фаоллаштириш энергияси ва юқори ҳароратли синтезда борадиган жараёнларни ёритувчи бошқа термодинамик хусусиятлари аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

минерал ҳосил бўлиш жараёнига кимё саноати ноорганик чиқиндиларини ва алюмосиликатли компонент сифатида фойдаланилган

флоточиқиндили портландцемент хомашё аралашмасидаги металл тузларини бир йўла ҳайдалишига жадаллаштирувчининг таъсири, ҳамда цемент клинкери олишнинг физик-кимёвий ва технологик асослари ишлаб чиқилган;

темир таркибли ва алюмосиликатли компонент сифатидаги ноанъанавий хомашё материалларидан фойдаланиб, хомашё аралашмасининг таркиблари, клинкер ҳосил бўлишидаги ва агломерациядаги минераллаштирувчи, ҳамда ажралаётган металлларнинг ҳайдалишини жадаллаштирувчи кўшимчаларнинг мақбул миқдорлари аниқланган;

металлургия ва кимё саноати чиқиндилари асосида ҳамда рангли металлларни параллел равишда ҳайдаб, ғовакли материал олиш ва қурилиш материалларини олишда кимё саноати ноорганик чиқиндиларини комплекс қўшиш ҳисобига энергия сарфини камайтиришга эришилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ўрганилаётган жараёнлар ҳақидаги назарий тасаввурлар тажриба йўли билан олинган маълумотлар билан мос келиши, фазавий ўтиш механизмини замонавий тажриба ускуналарида, бир қатор стандарт усуллардан фойдаланиш, ҳамда синтез қилинган клинкер ва ғовакли материалнинг структура ва хоссаси ва улардан рангли металлларни ҳайдалишининг кинетик ва термодинамик тадқиқотлари билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти, ноорганик минераллаштирувчи чиқиндиларнинг, хомашё аралашмаси таркибида асосий компонент сифатида, келиб чиқиши техноген бўлган флоточиқиндиларнинг портландцемент клинкери ва ғовакли силикат материалининг юқори ҳароратдаги синтезида, фазавий ўтиш жараёнлари ва бир қатор металлларнинг ҳайдалиш кинетикасига жадаллаштирувчи таъсирини физик-кимёвий асослаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, маҳаллий техноген чиқиндилардан хомашё ва жадаллаштирувчи кўшимча сифатида фойдаланиб, цемент клинкери ва ғовакли силикат материалларининг хомашё таркибларини ва уларни олишнинг энергия, ресурстежамкор, ҳамда, ҳалақит берувчи металлларни параллел равишда ажратиш технологияларини ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Қаттиқ чиқиндилардан фойдаланишдаги физик-кимёвий ва термодинамик жараёнлар ва уларни клинкер олиш ва қолдиқ металлларни параллел ҳайдаб ажратиш технологияларини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

портландцемент клинкери ва ғовакли силикат материалларининг юқори ҳароратли синтезида ноорганик минераллаштирувчи чиқиндиларни фазавий ўтиш жараёнларига ва металлларни ҳайдалиш кинетикасига жадаллаштирувчи таъсири ФА-А13-139 «Вольфрам рудаларини бойитиш қолдиқларини кўшимчали портландцемент ишлаб чиқаришда қўллашнинг энергия- ва ресурстежамкор технологияси» амалий лойиҳасида солиштирма таҳлил учун қўлланма маълумот сифатида фойдаланилган (ЎзР Фанлар академиясининг 2021йил12 октябрдаги 4/1255-2791-сонли маълумотномаси). Қаттиқ

чиқиндилардан фойдаланишдаги физик-кимёвий ва термодинамик жараёнлар ва уларнинг клинкер ҳосил олиш кинетикасига ва қолдиқ металлари ҳайдалишига таъсири ҳақидаги илмий асосланган фундаментал маълумотларнинг олинишига имкон берган;

СОФ ва МОФ флоточиқиндиларидан фойдаланиб, портландцемент клинкери олиш учун ишлаб чиқилган таркиб, «Охангаронцемент» АЖнинг 2022-2023 йй. учун мўлжалланган истиқболли ишланмалар рўйхатига киритилган («Охангаронцемент» АЖнинг 2021 йил 07 июлдаги 1/АГЦ-727/2-21-сонли маълумотномаси). Натижада ОТКМК флоточиқиндиларидан фойдаланиб портландцемент клинкери ишлаб чиқариш имконини берган;

СОФ ва МОФ флоточиқиндиларидан фойдаланиб, ғовакли силикат материали олиш учун ишлаб чиқилган таркиб, «Бекабод-огнеупор» ҚКнинг 2022-2023 йй. учун мўлжалланган истиқболли ишланмалар рўйхатига киритилган («Бекабод-огнеупор» ҚКнинг 2021 йил 19 октябрдаги 155-сонли маълумотномаси). Натижасида ОТКМК флоточиқиндиси ва Қўнғирод сода заводи чиқиндиларидан фойдаланиб, ғовакли силикат материали ишлаб чиқариш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Ушбу тадқиқотнинг натижалари 6 халқаро ва 4 республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда маъруза қилиниб муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 11 та мақола, жумладан, 8 таси хорижий ва 3 таси республика журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 190 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти, мақсад ва вазифалар асослаб берилган, шунингдек, тадқиқотнинг объект ва предмети аниқланган бўлиб, Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари тараққиётининг устувор йўналишларига мувофиқлиги келтирилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этиш ҳамда чоп этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «Портландцемент ишлаб чиқаришда тоғ-кон бойитиш корхоналари флотация чиқиндиларидан фойдаланиш ҳолати ва истиқболлари» деб номланган биринчи бобида портландцемент клинкери, техноген чиқиндилардан фойдаланиб, ғовакли силикат материаллари ишлаб чиқаришда саноатнинг ноорганик чиқиндиларидан фойдаланиш ҳолатлари ва истиқболлари юзасидан илмий-техник адабиётда

чоп этилган ишларнинг танқидий таҳлил натижаларининг муҳокамаси келтирилган бўлиб, қурилиш материаллари ишлаб чиқаришда металлларни йўл-йўлакай ажратиш имкониятлари ўрганилган. Чоп этилган ишларнинг танқидий таҳлили ва муҳокамаси асосида ушбу тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шаклланди.

Диссертациянинг «Бошланғич материалларнинг кимё-минералогик таркиблари ва физик-кимёвий хоссалари, ҳамда тадқиқот олиб бориш усуллари» деб номланган иккинчи бобида хомашё аралашмаси компонентларининг кимёвий ва минералогик таркиблари, ҳамда тажрибавий тадқиқотлар олиб бориш учун замонавий физик-кимёвий таҳлил усуллари келтирилган. Тадқиқот учун тажриба намуналари хомашё таркибларини шарли тегирмонда хомашёни помоли № 008 элакда 10% қолдиқ қолгунча тайёрлаш йўли билан олинди. Тадқиқ этилаётган қурилиш материаллари намуналарининг юқори ҳароратли синтези 1000-1450°C ҳарорат оралигида силит қиздиргичли лаборатория печларида куйдириш билан олиб борилди. Фойдаланилган асбоб ва ускуналарнинг хусусиятлари келтирилган.

Диссертациянинг «Флоточиқиндилардан фойдаланилган портландцемент клинкери синтезидаги фазавий ўтишларга ноорганик қўшимчаларнинг таъсири» деб номланган учинчи бобида Олмалик ТКМК мисни (МОФ) ва кўрғошинни (СОФ) бойитиш фабрикаларининг флоточиқиндилари асосидаги цемент хомашё аралашмасида декарбонизация жараёнининг кинетика ва термодинамикасига минерализатор сифатида қўлланилган кимё саноати қаттиқ чиқиндисининг таъсир натижалари келтирилган. Бир қатор топокинетиқ тенгламаларни қўллаб, натижалар математик моделлаштириш усули билан қайта ишланиб, флоточиқинди асосидаги цемент хомашё аралашмаси таркибидаги карбонат бирикмаларнинг декарбонизациядаги асосий кинетик катталиқларнинг боғлиқлиги олинган. Ўрганилган ҳарорат оралигида қўшилаётган жадаллаштирувчи чиқиндилар миқдорларининг декарбонизация жараёнидаги Эа термодинамик катталиқ ўзгаришига таъсирининг таҳлили олиб борилган.

Клинкер ҳосил бўлишидаги портландцемент хомашё аралашмаси минералларининг фазавий ўтиш механизми ва кинетикасига қаттиқ чиқиндиларнинг жадаллаштирувчи таъсири физик-кимёвий таҳлил усуллари билан ўрганилган. Олиб борилган тадқиқотлар асосида, клинкер ҳосил бўлишни жадаллаштирувчи - фосфогипс ва сода ишлаб чиқариш қаттиқ чиқиндиларидан фойдаланиб, цемент хомашё аралашмасининг мақбул таркиблари ишлаб чиқилган.

Портландцемент клинкери ҳосил бўлишидаги декарбонизация жараёни кинетикасига ва фазавий ўтишлар механизми жараёнларига қаттиқ чиқиндиларнинг таъсири, $KH=0,89$ ва силикат модули $n=2,38$ га тенг бўлган МОФ ва СОФ флоточиқиндилардан фойдаланилган бошланғич хомашё аралашмасини ўрганиш асосида аниқланган.

Фойдаланилган хомашё компонентларининг, жумладан Шавазсой кони оҳақтоши, тоғ-кон металлургия саноати мис ва кўрғошинни бойитиш фабрикаларининг, мис тошқолини қайта ишлашдаги чиқиндилари, кимё

саноатининг фосфогипс, сода ишлаб чиқариши (ТОСП) қаттиқ чиқиндиларининг кимёвий таҳлил натижалари 1-жадвалда келтирилган.

1-Жадвал

Фойдаланилган хомашё компонентлари ва цемент хомашё аралашмаси қўшимчаларининг кимёвий таркиблари

Номи	Оксидларнинг миқдори, масс.%								К.Й.
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	
Оҳактош	4,03	1,00	0,20	52,32	1,06	0,1	0,1	-	41,08
МОФ чиқиндиси	61,18	14,61	9,86	1,32	0,11	2,31	1,76	5,69	4,10
СОФ чиқиндиси	45,75	8,72	7,19	14,59	7,10	2,00	0,98	2,98	8,83
ОТКМК тошқоли	35,46	6,34	52,14	1,45	0,46	-	-	4,0	-
ТОСП чиқиндиси	1,10	0,40		47,1	4,2	-		3,8	42,40
Фосфогипс	10,43	0,42	0,15	28,3	-	0,04	0,04	40,5	19,64

Цемент хомашё аралашмасини қиздиришда борадиган жараёнларининг нисбатан тўлиқ назорати, вақт давомида унинг тезлигининг қайси омилларга боғлиқ равишда ҳақиқатан ҳам ривожланиши ва вақтнинг мақбул даврида реакция тугалланишини ойдинлаштириш учун бажариш зарурдир. Келтирилган масалаларни нисбатан аниқ ечиш учун, декарбонизация жараёни кимёвий кинетикасини ўрганадиган тадқиқот усулларидадан фойдаланиш зарурдир. МОФ ва СОФ флоточиқиндлари асосида цемент хомашё аралашмасидаги оҳактошли компонент декарбонизация кинетикасига ноорганик чиқиндилар – фосфогипс ва ТОСП ларнинг таъсирини ўрганиш учун куйдиришнинг политемик шароитидан фойдаланилди (2-жадвал).

2-Жадвал

Портландцемент хомашё аралашмасининг тадқиқ этилаётган таркиблари

КН=0,89 ва n=0,38 эга хом- ашё ара- лашмаси таркиби	Қўшилган минерализатор		КН=0,89 ва n=0,38 эга хом- ашё ара- лашмаси таркиби	Қўшилган минерализатор		КН=0,89 ва n=0,38 эга хом- ашё ара- лашмаси таркиби	Қўшилган минерализатор	
	Фосфо- -гипс	ТОСП		Фосфо- -гипс	ТОСП		Фосфо- -гипс	ТОСП
ФК-1	2,0	-	ТК-1	-	2,0	ФТК-1	1,0	2,0
ФК-2	3,0	-	ТК-2	-	3,0	ФТК-2	2,0	3,0
ФК-3	4,0	-	ТК-3	-	4,0	ФТК-3	3,0	4,0

Карбонат компонентининг декарбонизация даражаси боғланмаган СаО ҳосил бўлиши бўйича этил-глицератли усул билан аниқланди.

Бир қатор топокинетик тенгламалар ёрдамида олинган тажриба намуналари қайта ишланиши, 800-900°С ҳарорат оралигида цемент аралашмасидаги декарбонизация кинетикасини қайд этиш учун нисбатан мақбул аниқлаш имконини беради.

3-Жадвал

Куйдиришнинг политермик шароитидаги флоточиқиндили, қўшимчасиз ва 4% ТОСП+3% фосфогипс комплекс қўшимчали хомашё аралашмасидаги оҳактош декарбонизациянинг кинетика ва термодинамикаси

Хомашё аралашмаси	Тезлик константаси, К _{ср}	Реакция дисперсия коэф-фициенти, D	Фаоллаштириш энергияси, кДж/(моль град)	Кинетик тенглама
МОФ асосида	Куйдириш ҳарорати 800°С			
Қўшимчасиз	$1,49 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-10}$	-	Журавлев тенгламаси
Қўшимчали	$5,89 \cdot 10^{-4}$	$1,04 \cdot 10^{-10}$	-	
МОФ асосида	Куйдириш ҳарорати 900°С			
Қўшимчасиз	$2,09 \cdot 10^{-2}$	$1,31 \cdot 10^{-9}$	161,59	Декарбонизация тенгламаси
Қўшимчали	$2,56 \cdot 10^{-2}$	$1,21 \cdot 10^{-9}$	144,33	
СОФ асосида	Куйдириш ҳарорати 800°С			
Қўшимчасиз	$1,52 \cdot 10^{-4}$	$1,16 \cdot 10^{-10}$	-	Журавлев тенгламаси
Қўшимчали	$6,45 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-10}$	-	
СОФ асосида	Куйдириш ҳарорати 900°С			
Қўшимчасиз	$2,12 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-9}$	156,51	Декарбонизация тенгламаси
Қўшимчали	$3,07 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-9}$	142,03	

Кинетика жараёнини мақбул ёритишни аниқлаш учун критерия сифатида, нисбатан ишончли бўлган фойдаланилган тенгламалардан бирига тегишли дисперсия константаси катталиги нисбатан кам бўлишига мос келган реакция тезлиги дисперсия константаси коэффициентидан фойдаланилди. Дисперсия коэффицентининг ҳисоби куйидаги тенгламадан фойдаланиб бажарилди:

$$D = x^2 - (x_v)^2 = \sum x^2 n_i / n - [\sum x_i n_i / n]^2$$

Олиб борилган ҳисобларга мос равишда 800°С куйдириш ҳарорати учун энг кичик дисперсия коэффицентини Журавлев тенгламасига мос келади:

$$Kt = (\sqrt[3]{1} / 1 - G - 1)^2$$

dis = $1,1 \cdot 10^{-10}$ (3-жадвал), 800°С даги декарбонизация кинетикаси энергия шаклланиши ва кинетик соҳада боришида ҳосил бўлган СаО кристалларининг концентрацияси билан аниқланади.

Жараён тезлиги ушбу бўйича маҳсулот қавати қалинлигига тескари пропорционал ва реакцияга кирмаган диффундирловчи компонент улушига тўғри пропорционал ҳисобланади. Бу эса, ушбу ҳароратда каттик фазанинг физик маъносини тасдиқлаб, вақт давомида ҳосил бўлган СаОнинг майда заррачаси янги фаза қаватини ҳосил қилади ва кейинчалик жараён давом этади ва Са⁺² ва О⁻² чегарасидаги майда заррачаларнинг диффузияси билан назорат қилинади.

Декарбонизация ҳароратининг 900°С гача кўтарилиши диссоциация жараёни кинетика ва механизмини тубдан ўзгартиради, бунда реакция

тезлигининг ўртача константаси ўн мартагача $1-4 \cdot 10^{-4}$ дан $2 \cdot 10^{-2}$ гача ортади, реакция механизми эса кинетикдан диффузионгача ўзгаради, бунинг натижасида комплекс минераллаштирувчи кўшимчадан фойдаланилган флоточиқинди асосидаги тадқиқ этилаётган хомашё аралашмасида декарбонизация жараёни реакция маҳсулотлари қавати орқали диффузияси билан боради.

Қаттиқ фазадаги CO_2 реакция зонасининг бўлиниш юзасидаги CaO орқали диффузияси 900°C ҳароратдаги CO_2 декарбонизация жараёнини назорат қилиш босқичи ҳисобланади. 800°C ҳароратдаги ўхшаш жараёнини ҳисоблаш билан қўлланилган топокинетик тенгламанинг энг кичик катталиқдаги тезлик константасининг дисперсия коэффициенти топилган ва энг кичик коэффициенти $\text{dis}=1,21 \cdot 10^{-9}$ бўйича линеаризация жараёнидаги декарбонизация жараёнини ёритувчи биринчи даражали топокинетик тенглама деб номланувчи, энг яхши тенгламаси аниқланган:

$$Kt = 1 - (1 - G)^{1/3}$$

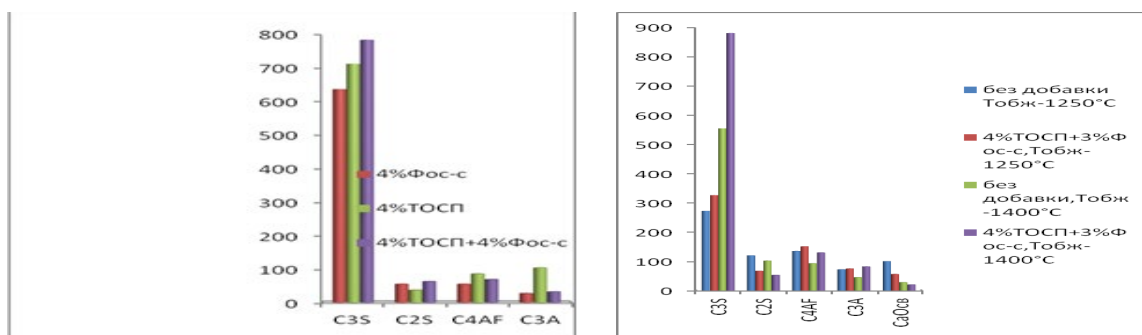
Маълумотларни олиб борилган математик қайта ишлаш натижасида, минерализаторларни - ТОСП ва фосфогипс чиқиндиларини қўллашда диссоциация жараёнининг бориш тезлиги жадаллашиши аниқланган. Кўшимчали ва кўшимчасиз хомашё омуктасидаги ўртача тезлик константаси куйдириш ҳароратига боғлиқ равишда тадқиқ этилаётган $800 - 900^\circ\text{C}$ ҳарорат оралиғида ўн мартагача $1 - 4 \cdot 10^{-4}$ дан $2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$ гача ўзгаради, $T_{\text{обж}} - 800^\circ\text{C}$ ҳароратдаги биргалиқда кўшимчали таркибда тезлик константасининг ўртача фарқи 3-5 мартагача ортади, $K_{\text{ср}}$ нинг $T_{\text{обж}} - 900^\circ\text{C}$ ҳароратда кўшимчасиз омуктада ушбу фарқи 2-3 мартани ташкил қилади. Тадқиқ этилаётган цемент таркибидаги диссоциация жараёнини, жадаллашган биргалиқдаги кўшимчали цемент аралашмаси учун, 62 кДж/ (моль·град) катталиқдаги фаоллашган энергияси катталигининг МОФ чиқиндили омуктада 157 кДж (моль·град) гача, СОФ чиқиндили омуктада эса мос равишда 145 дан 142 кДж/(моль·град) гача бўлган ўзгаришининг термодинамик ҳисоблари кинетик тадқиқот натижалари билан тасдиқланади.

Қўшилаётган чиқиндиларнинг асосий клинкер фазаларининг минерал ҳосил бўлиш механизм қонуниятига, ҳамда улар шаклланишининг кинетикасига таъсирини, рентгенофазавий ва петрографик таҳлил усуллари билан тадқиқ этиш олиб борилган, $\text{KH}=0,89$ ва $n=2,38$ эга флоточиқиндили бошланғич хомашё аралашмасида алюмосиликат компоненти сифатида МОФ ва СОФ чиқиндиларидан фойдаланиб, 1400°C ҳароратда 20 минут ушлаш билан синтез қилинган клинкер асосида, $\text{CaO}_{\text{св}}$ ўзлаштирилиши бўйича этил-глицерат усулда ўрганилиб, қўшилаётган қаттиқ чиқиндиларнинг мақбул миқдорлари аниқланди (4-жадвал). Таққослаш таҳлили, 4%ТОСП+3%фосфогипса, ҳамда 4%ТОСП ёки 4% фосфогипс миқдорларидаги биргалиқда кўшимчали таркиблар билан олиб борилган, кейинчалик ушбу таққослаш цемент клинкерининг минерализаторлар кўшимчасиз таркибларида олиб борилган.

**Тобж-1400°С ва Ғ- 20 минутда синтез қилинган флоточиқиндили
цемент клинкеридаги СаО_{св} миқдори**

Цемент аралаш маси	Минерализатор миқдори, %		МОФ	СОФ	Цемент аралаш маси	Минерализатор миқдори, %		МОФ	СОФ
	Фосфо- -гипс	ТОСП				Фосфо- -гипс	ТОСП		
ФК-1	2,0	-	0,90	0,90	ТК-3	-	4,0	0,58	0,49
ФК-2	3,0	-	0,65	0,42	ФТК-1	2,0	3,0	0,40	0,38
ФК-3	4,0	-	0,42	0,28	ФТК-2	3,0	4,0	0,24	0,16
ТК-1	-	2,0	1,0	0,89	ФТК-3	4,0	5,0	0,57	0,49
ТК-2	-	3,0	0,81	0,67	БД	-	-	1,62	1,49

Чиқиндилар қўшилган клинкернинг рентфазавий таҳлили қўшимчаларни алоҳида ва биргаликда қўшиш алит фазасини ҳосил бўлишини жадаллаштиради, ҳамма синтез қилинган клинкерларда, клинкер ҳосил бўлишининг тугаш ҳарорати 1380-1400°С ташкил этишини кўрсатади, шунингдек, ушбу ҳароратда хомашё аралашмасидаги боғланмаган оҳакнинг тўлиқ ўзлаштирилиши боради ва унинг охириги миқдори 1,6-2,0% ни, клинкер ҳосил бўлишининг тугаш ҳарорати эса 1420-1430°С ни ташкил этади. Бошланғич ва синтез қилинган минерал фазаларнинг миқдорий таркибларини аниқлаш, фаза миқдорларига ва уларнинг тадқиқ этилаётган кўп фазали поликристалл намуналардаги миқдорларига боғлиқ бўлган, чизикли ва максимум интеграл кўринишидаги дифракцияли акс эттиришлар билан асосланади. 1400°С ҳароратда клинкерга қўшилаётган чиқиндилар таъсирининг клинкер минераллари ҳосил бўлишига боғлиқлиги кўрсатилган (1-расм).

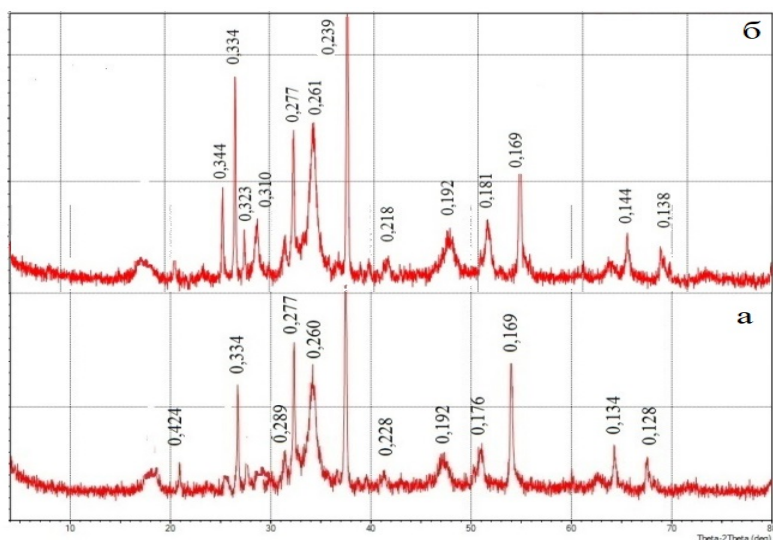


**1-Расм. МОФ чиқиндиси асосидаги цемент клинкеридаги
минерал фаза асосий дифракция максимумлари жадаллашувининг
боғлиқлик диаграммалари: а) куйдириш ҳароратига б) Т_{обж}- 1400
°С да қўшилаётган чиқиндининг миқдори ва турига**

Қўлланилаётган чиқиндиларнинг алит ҳосил бўлишини кўпроқ жадаллаштириши аниқланган бўлиб, ушбу фаза $d=0,278; 0,274; 0,260$ нм ларга эга дифракция максимумларининг жадаллашуви, фосфогипс қўшимчасидан ТОСП қўшимчасигача изчил ортиб бориб, биргаликда қўшилганда максимумга эришади. Дифракция максимумларининг жадаллашиш диаграммасида уларнинг 3%+4% нисбатларида синтезида

қўлланилган. Аксинча, клинкер фазасининг бошқа фаза ҳосил бўлишларига қўшимчаларнинг камроқ таъсири аниқланди, иккинчи белит фазасининг миқдори бўйича $d=0,287; 0,228; 0,192$ нм максимумларининг жадаллашуви ҳамма тадқиқ этилаётган клинкерларда деярли бир хил бўлиб, чиқиндиларни биргаликда қўллангандаги клинкерда эса ушбу фазаларнинг бироз ошиши кўрсатилган (2б-расм).

Куйдириш ҳарорати $1000-1400^{\circ}\text{C}$ оралигида бўлган ТОСП ва фосфогипсдан иборат комплекс қўшимчанинг таъсири ва қўшимчасиз цемент аралашмаси билан рентгенфазавий миқдорий усулда таққослаш таҳлили, клинкер ҳосил бўлишнинг кинетика ва механизмидаги фарқлар аниқланган. Шунингдек, куйдириш ҳароратининг 1250 дан 1400°C гача ўзгаришида МОФ чиқиндили фаоллашган клинкерда алит фазаси $d=0,278$ нм асосий пикининг жадаллашиши, изчил равишда 340 дан 885 гача шартли белги билан ортади. Шу билан бирга МОФ чиқиндили қўшимчасиз цемент клинкеридаги алитнинг дифракция максимумлари атиги 550 шартли белги катталигига етишади, бу эса клинкер минераллари фазасининг ҳосил бўлишга комплекс қўлланаётган чиқиндиларнинг юқори даражадаги жадаллаштиришини тахмин қилишни тасдиқлайди (2а-расм).



2-Расм. Комплекс қўшимчалар билан фаоллаштирилган флоточиқиндили цемент хомашёси аралашмаларининг рентгенограммалари
 а) $T_{\text{обж}}=1000^{\circ}\text{C}$,
 б) $T_{\text{обж}}=1400^{\circ}\text{C}$

Худди шундай ҳолат $T_{\text{обж}}=1000^{\circ}\text{C}$ да қаттиқ фаза синтезининг асосий минерал фазаси икки кальцийли силикатнинг $-(\beta\text{C}_2\text{S})$ янги шаклланиш механизмида ҳам кузатилади, унинг асосий дифракция максимумининг жадаллашиш катталиги $d=0.262; 0,260$ нм мос келади.

Ушбу максимум катталиклари, 3% фосфогипс+ 4% ТОСП биргаликда қўшилган цемент аралашмаси учун 206 ва 195 шартли бирликларига тенг бўлади, қўшимчасизга эса мос равишда 193 ва 134 шартли бирликларига тенг бўлади. Ушбу ҳароратда компоекс қўшимчали цемент аралашмасидаги белит фазаси ҳосил бўлишининг жадаллашуви, қўшимчасиз аралашмага қараганда $10-15\%$ га юқори бўлади МОФ ва СОФ флотация чиқиндиларидан фойдаланилган цемент хомашё аралашмасида клинкер ҳосил бўлишида минерализатор сифатида қаттиқ чиқинди қўшимчаларнинг жадаллаштирувчи таъсири ҳам қаттиқ фаза синтез босқичида, ҳам суюқ фаза ҳосил бўлиш

босқичида ҳам рентгенфазавий усул билан ўрганилган. Ушбу чиқиндиларни қўллаш, декарбонизация жараёнини тезлашиши ва ва суяқ фаза юзага келиш ҳароратининг пасайиши ҳисобига портландцемент синтезининг туғаш ҳароратини 50-70°C га пасайтиради.

Диссертациянинг «Флоточиқиндилардан фойдаланилган ғовакли материал пишишида борадиган физик-кимёвий фазавий ўтишларнинг ўзига хослиги» деб номланган тўртинчи бобида техноген маҳсулотлардан яъни Олмалик ТКМК флоточиқиндилари, бойитилмаган каолин, фосфогипс ва сода ишлаб чиқаришининг қаттиқ чиқиндиларидан (ТОСП) фойдаланиш асосида, ғовакли материал олиш имкониятларини тадқиқ этиш натижалари ва уларнинг физик-кимёвий хоссаларини синтез қилинаётган ғовакли силикат материалининг механизм ва минерал ҳосил бўлиш қонуниятига ва пишишига таъсирини ўрганиш келтирилган, бу эса енгил вазнли ғовакли тўлдиргичлар олишнинг асосий мезонларидан бир бўлган куйдирилаётган омухтанинг кўпчиш хусусияти ҳисобланади. Термик қайта ишлаш ҳароратини ва хомашё омухтаси таркибини аниқлаш, асосий компоненти флоточиқинди бўлган ва унинг миқдори омухтада 75-85% ва каолинни ташкил этган хомашё омухтаси асосида доналарнинг кўпчишига таъсирини ўрганиш бўйича тадқиқотлар олиб борилди (5-жадвал).

5-Жадвал

Ғовакли силикат тўлдиргичи олиш учун тадқиқ этилаётган хомашё омухта таркиблари, %

Омухта рақами	МОФ флото-чиқиндиси	СОФ флото-чиқиндиси	Кул ранг каолин	ТОСП	Фосфо-гипс	Кўмир
Намуна таркиблари	75-95	75-95	10-20	10-30	10-30	6-8
1	80	80	14			6
2	80	80	14	25		6
3	80	80	14		30	6
4	80	80	14	25	30	6

Таҷрибаларни олиб боришда омухта компонентларининг ва хомашё доналарининг ғовакланиш кинетикасига ноорганик қўшимчаларнинг ҳам алоҳида таъсирини, ҳам уларнинг комплекс таъсири ўрганилган. Олиб борилган тадқиқотларда МОФ флоточиқиндилари хомашё аралашмаси СОФ чиқиндиси асосидаги хомашёга қараганда нисбатан юқори кўпчиш қобилиятига эгаллиги аниқланди. 1120°C ҳароратдаги мақбул кўпчиш ҳарорати флоточиқиндилари 4 намунага тегишлидир, таркиби бўйича шунга ўхшаш СОФ чиқиндилари омухтада эса 1145°C ташкил этади.

Намуна таркибларини ғовакли материал кўпчиш интервали, кўпчиш коэффициенти, ҳажмий массаси каби технологик хоссасига таъсирини таққослаш таҳлили, фосфогипс ва ТОСП чиқиндиларини қўллаш уларнинг технологик хоссаларига ижобий таъсир кўрсатади (6-жадвал).

Флоточиқинди асосидаги омухтанинг кўпчиши

Омухта таркиби	Кўпчишнинг мақбул ҳарорати, °С		Куйдирилган доналарнинг минимал хажмий массаси, г/см ³		Кўпчиш коэффиценти		Кўпчиш оралиги, °С	
	МОФ	СОФ	МОФ	СОФ	МОФ	СОФ	МОФ	СОФ
Чиқинди номи								
1	1150	1175	1,55	1,75	1,87	1,55	60	55
2	1130	1148	1,40	1,80	2,04	1,73	75	65
3	1136	1150	1,45	1,75	2,12	1,75	70	60
4	1120	1145	1,35	1,65	2,16	1,85	75	65

5-Жадвалда МОФ ва СОФ флоточиқиндилари омухта асосида синтез қилиниб олинган енгил вазнли материалнинг ноорганик кўшимчалар ТОСП ва фосфогипснинг мақбул куйдириш ҳароратига, хажмий массасига, кўпчиш коэффиценти, кўпчиш оралигига жадаллаштирувчи таъсирини акс этган технологик параметрлари кўрсатилган. 30%ТОСП ва фосфогипс кўшимчали мақбул таркибли 4-омухта намунасининг минимал хажмий массаси 1,35-1,65 га яқинлашади, кўпчиш коэффиценти эса 1,85-2,16 гача кўпаяди, бундан ташқари синтез ҳарорати 25-30°С га пасаяди.

Темирнинг қайтарилиши, ТОСП чиқиндисидagi ишқорий металллар хлоридларининг парчаланishi, ҳамда кальций сульфати ва фосфогипснинг диссоциацияларининг комплекс таъсирида шиша фазанинг эрта ҳосил бўлиш жараёни намуналарда куйдириш ҳароратини пасайишига олиб келади ва енгил вазнли материални ғоваклигини сезиларли оширади. Материалда кўшимча равишда ғовакларнинг ҳосил бўлиши ҳам кўшилаётган кўмирнинг ёнишида углерод оксидини ажралишига олиб келади. Бундан ташқари, таъкидлаш жоизки, СОФ чиқиндисидан фойдаланилган ғовакли материал синтезининг мақбул ҳарорати ва ҳажмий массаси, МОФ флоточиқиндиси асосидаги шунга ўхшаш намуналар кўрсаткичларидан паст бўлиб, ўзининг технологик параметрлари бўйича енгил вазнли ғовакли материал олишдаги ГОСТ 32496-2013 талабларига мос келади. Аглопоритдан олинган енгил вазнли материалнинг туйиладиган хажмий массаси 1,30-1,40 г/см³ оралигида бўлади, уни олиш ҳарорати эса 1100-1300°С ни ташкил этади. Ғовакли силикат буюмлари ишлаб чиқаришининг технологик параметрларини мақбуллаштириш паст таннархли сифатли маҳсулот ишлаб чиқаришни ташкил этишда энг муҳим вазифаси ҳисобланади. Маълумки, кимё саноатининг турли чиқиндилари ва минерал кўшимчалар технологик жараёнларга, биринчи навбатда куйдириш ҳароратига сезиларли таъсир кўрсатади. Уларнинг таъсирини енгил вазнли материал куйдиришининг ҳарорат режимига таъсирини аниқлаш ва ушбу жараённи кейинчалик мақбуллаштириш мақсадида 1-намуна асосида тадқиқотлар олиб борилди. Кўшимча сифатида турли миқдорлардаги сода ишлаб чиқаришининг қаттиқ чиқиндиси ва фосфогипс ўрганилди. Олиб борилган тажрибалар омухта

таркибида қўшимча концентрациясининг ортиши билан пишиш ҳароратини пасайишини аниқлаш имконини берди (7-жадвал).

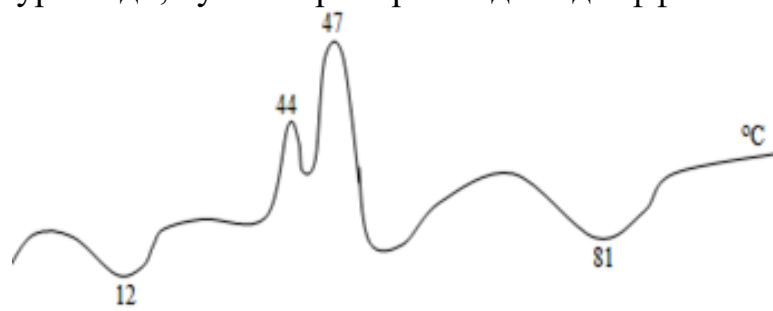
7-Жадвал

Флоточиқинди -80%, каолин-14%, кўмир-6% ли мақбул омухтанинг пишиш ҳароратига ноорганик қўшимчаларнинг таъсири

100% ли омухтадан ташқари қўшимчанинг улуши,	Омухтанинг пишиш ҳарорати, °С					
	ТОСП		Фосфогипс		Улардан биргаликда фойдаланиш	
	МОФ	СОФ	МОФ	СОФ	МОФ	СОФ
Қўшимчасиз	1148	1165	1148	1165	1148	1165
10	1140	1160	1145	1160	1135	1155
20	1132	1150	1140	1155	1128	1150
30	1127	1145	1130	1150	1120	1145
40	1130	1150	1135	1150	1125	1148

Олинган маълумотлардан яъни бошланғич хомашёга суюқлантирувчи-чиқинди қўшиш ҳисобига куйдириш ҳарорати оралиги 25°С гача пасайиши мумкин деган хулосага келинади. Таъкидлаш лозимки, пишиш ҳароратини пасайишига таъсири бўйича фосфогипс, сода ишлаб чиқариш чиқиндисидан устунликка эгадир. Хомашё омухтасига массага нисбатан 25-30% миқдордаги ТОСП қўшимчасини қўшишда куйдириш ҳароратини 15-20°С га, шундай миқдордаги фосфогипс қўшилганда эса 12-15 °С га пасайтиришини олдиндан билиш мумкин. Аммо, 25-30% миқдордаги ТОСП ва фосфогипс қўшимчаларидан биргаликда қўллаш мақбул бўлиб, бу синтез ҳароратини пасайтиришни жадаллаштирувчи ҳисобланади. Умуман олганда, олинган боғлиқликлар кўрилган қўшимчалардан фойдаланиш самарадорлиги тўғрисида хулоса чиқаришга имкон беради.

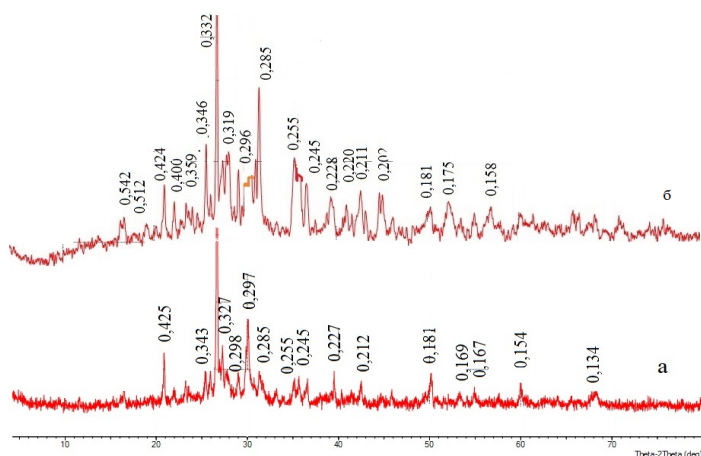
Физико-кимёвий таҳлил, яъни рентгенфазавий, дифференциал-термик ва петрографик усуллари билан тадқиқ этилаёган омухта пишишидаги минерал ҳосил бўлиш механизмига компонентлар ва жадаллаштирувчи қўшимчаларни таъсир қонуниятлари аниқланди. ТОСП ва фосфогипс чиқиндиларидан мақбул қўшилган №4 омухтанинг термик таҳлилида 120-125°С ҳароратда физикавий боғланган намликни ажралишини бошланишини кўрсатади, бу эса термограммада эндоэффект билан тасдиқланади (3-расм).



3-Расм. ТОСП ва фосфогипс чиқиндиларидан биргаликда қўшилган №4 намунанинг термограммаси

450-485°С да ҳарорат интервалидаги экзотермик эффект α-кварцнинг β-модификациясига ўтиш даврига хослиги билан таснифланади. Тахминан ушбу ҳароратда слюда ва каолинит таркибидаги мусковит ва биотит

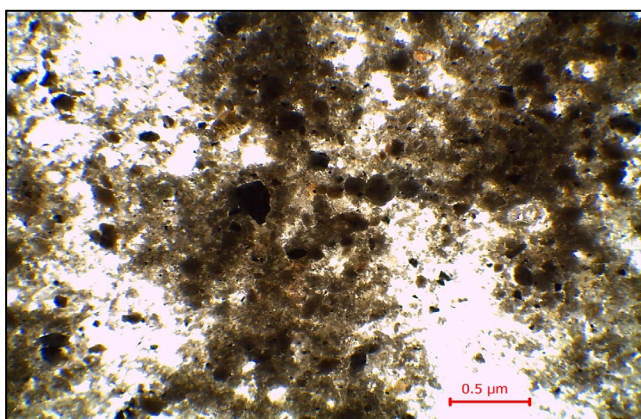
минералларида боғланган ҳолатда бўлган кристалл сувларнинг ажралиши бошланади. 810-820°C ҳароратда таркибдаги карбонатларнинг декарбонизациясига тегишли бўлган эндоэффект ва дала шпатларини қисман парчаланиши кузатилади.



**4-Расм. ТОСП ва фосфо-гипс чиқиндиларидан биргаликда қўшилган намуналарнинг рентгенограммалари:
а) қўшимчасиз;
б) қўшимчали
Тобж- 1100°C**

Ушбу намунанинг 1050-1100°C ҳароратдаги рентгенограммасида геленит $d=0,285; 0,243; 0,175$ нм ва диопсид $d=0,300; 0,252; 0,174$ нм. туридаги куйи асосли бирикмалар қайд этилади. Ҳамда $d=0,270; 0,339; 0,540$ нм жадаллашган чизиклар ва кимёвий таркиб бўйича $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ дан $2Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ўзгарадиган муллитга, $d=0,251; 0,270; 0,365$ нм чизикларнинг иштироки гематитга, $d=0,202; 0,313; 0,403$ нм чизикларнинг кварцнинг юқори ҳароратли полиморф модификацияси ҳисобланган кристобалитга, $d=0,196; 0,224; 0,242; 0,321; 0,375$ нм чизиклар анортитга ($CaAl_2Si_2O_8$) ва $d=0,213; 0,228; 0,246; 0,334; 0,426$ нм кварцга тегишли бўлганлиги кузатилади (4-расм). Маълумки, силикат материалларидаги мелилит ва геленитларнинг кристалл фазалари механик мустаҳкамлик ва оловбардошлигини оширади.

Петрографик таҳлил (5-расм) ҳам рентгенфазавий таҳлил натжаларини тасдиқлайди, яъни таъсирлашмаган кварц заррачалари ва дала шпатини, ҳамда янги ҳосил бўлиш билан юзага келган заррачаси 2-5 мкм ва Nпр – 1,665 ўлчамли геленит $-Ca_2Al(Si_2O_7)$, мервенит $-Ca_3Mg(SiO_4)_2$, ва муллит $Al_8[(O,OH,F)(Si_2Al)O_4]_4$ ларнинг майда заррачали агрегатларини ва кальций сульфати бўлиши мумкин бўлган қиррали шиша фаза кузатилади.



5-Расм. №4 намунанинг петрографик расми

Диссертациянинг «Флоточиқиндилардан фойдаланиб силикат материаллари олишдаги қолдиқ металллар ҳайдалиш жараёнининг кинетика ва термодинамикасига фосфогипс ва ишқорий чиқиндиларнинг таъсири» деб номланган бешинчи бобда портландцемент клинкери ва ғовакли силикат материали олишда параллел равишда қолдиқ металлларни ҳайдалиш қонуниятларига комплекс омилларнинг таъсирини ўрганиш бўйича тадқиқот натижалари келтирилган. Математик ва график моделлаштириш усуллари билан юқорида кўрсатилган материалларни олиш учун хомашё аралашмасида юқори ҳароратли куйдиришда борадиган Au, Ag, Pb, Cu ва бошқа металллар ҳайдалишининг термодинамик ва кинетик параметрлари ҳисобланган.

Шунингдек, олиб борилган тадқиқотларнинг асосий вазифаси физик-кимёвий усуллар ёрдамида техноген ноорганик чиқиндиларнинг, алюмосиликат хомашё компоненти сифатида Олмалиқ тоғ-кон металлургия комбинат (ОТКМК) кўрғошин ва мисни бойитиш фабрикаларининг чиқиндилари фойдаланилган клинкер ва ғовакли силикат материалларининг минералларига таъсирларини ҳамда қўшилаётган минерализаторлар – сода ишлаб чиқаришининг қаттиқ чиқиндиси ва фосфогипсларнинг МОФ ва СОФ флоточиқиндилари цемент хомашё аралашмаси таркибидаги қолдиқ металлларни параллел равишда ҳайдалиш жараёнига таъсир этиш қонуниятларни аниқлаш зарурлиги каби масалаларни тадқиқ этиш ҳисобланади (8-жадвал).

8-Жадвал

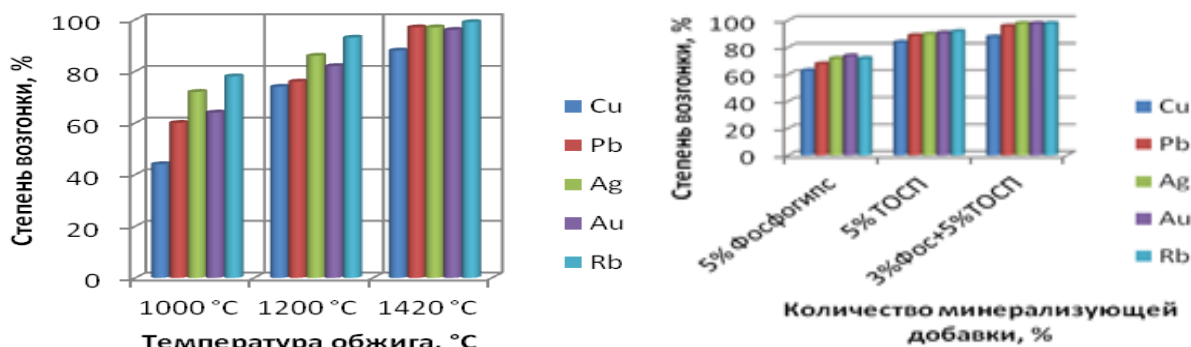
Фойдаланилган МОФ ва СОФ флоточиқиндиларидаги қолдиқ металлларнинг миқдорлари

Флоточиқиндининг номи	Қолдиқ металлларнинг номи ва миқдорлари, г/тн							
	Cu	Pb	Au	Ag	Rb	Se	Tl	Cd
МОФ	2430	346	0,40	1,85	186	7,80	1,90	0,61
СОФ	420	2280	0,04	1,60	45	5,00	0.95	1,87

Тоғ-кон металлургия соҳасида концентратларни қайта ишлашнинг истиқболли усулларида бири, ажратилаётган металлларни, «хлоридҳайдаш» деб ном олган, хлоридлар кўринишида ҳайдаш усули ҳисобланади. Куйдириш жараёнида ажралган металлларнинг миқдори, синтез қилинган материалларда куйдиргандан кейинги қолган миқдорлари масс-спектроскопик усул билан аниқланади.

МОФ, СОФ чиқиндилари цемент клинкери синтезида ажралаётган металллар миқдорини ҳарорат ва куйдириш вақти, ҳамда фаол қўшимчалар – фосфогипс ва ТОСП миқдорлари каби технологик омилларга боғлиқлиги ўрганилган (6-расм).

Цемент клинкери синтез қилиш давомида бир қатор металлларнинг қўшимчаларнинг миқдорлари ва таркибларига, куйдиришнинг ҳарорати ва вақтига тўғри боғлиқлиги тажриба олиб боришда аниқланган.

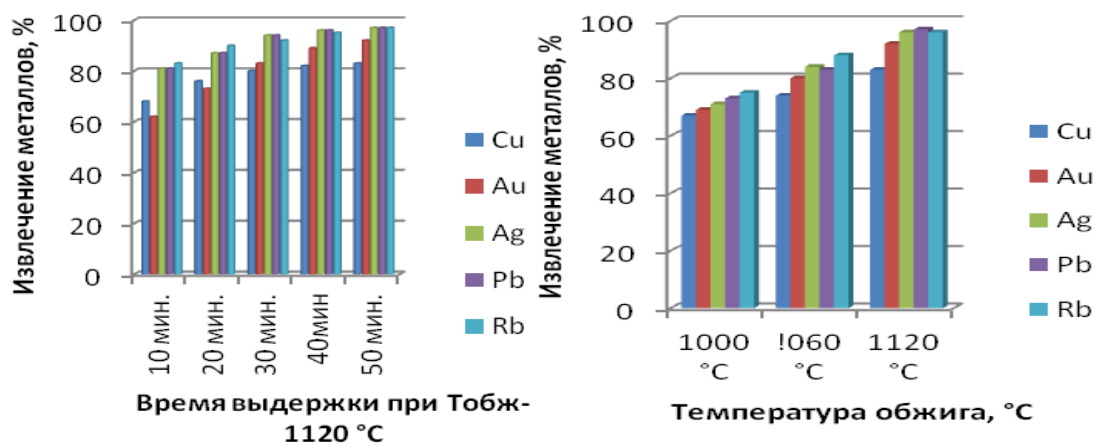


6-расм. МОФ чиқиндиси асосидаги $KH=0,89$ ва $n=2,38$ эга цемент клинкери синтезида ажралаётган металллар миқдорининг боғлиқлиги:
а) $T_{обж}$ -1000-1420°C t - 20 мин., ва қўшимча 3%фосфогипс+4%ТОСП;
б) қўшимчали $T_{обж}$ -1400°C ва t - 20 мин

Металларни максимал даражада ажратиш учун биргаликда қўшилган чиқиндиларнинг мақбул миқдорлари, яъни Cu, Pb, Au, Ag, Rb, Se, Tl, Cd ажратишда фосфогипс ёки ТОСП 2-5% ташкил этган, аммо энг яхши натижа улардан 3-4% миқдорда биргаликда фойдаланишда олинган. Тобж-1400°C ва t - 20-30 минут ташкил этган ва қўшилаётган чиқиндиларнинг миқдорлари 3%фосфогипс ва 4% ТОСП бўлганда мақбул ҳарорат ва куйдириш вақтида 94-97% металллар ҳайдалади, фақатгина ҳайдалган мисни миқдори 88-89% ни ташкил этади.

Таъкидлаш лозимки, чиқиндилар таркибидаги бир қатор металллар кўрсатилган хлорланган металлларни ҳайдалиш жараёнига ушбу жадаллаштирувчиларнинг таъсири тасдиқланмаган бўлиб, қўшимчалар танлаб таъсир этади.

Юқорида кўрсатилган технологик омилларни ғовакли материал олишда силикат хомашё аралашмасидаги металлларни ҳайдалиш жараёнига боғлиқлиги ўрганилган ва $T_{обж}$. 1110-1130°C ва ушлаш вақти 20-30 мин мақбул ҳисобланиши аниқланган (7-расм).



7-Расм. МОФ чиқиндиси ва 30%фосфогипс+25%ТОСП қўшимчали ғовакли материал синтезида ҳайдалаётган металллар миқдорининг боғлиқлиги а) $T_{обж}$ t - 20 мин.; б) куйдириш вақти $T_{обж}$ -1120 °C

Сода ишлаб чиқариш қаттиқ чиқиндиси минералогик таркибидаги $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ нинг 97%ни ташкил этган 12-16% CaCl_2 , 8-12% NaCl ва 15-18% NaOH ва фосфогипсларнинг жадаллаштирувчи таъсири туфайли металлларни ҳайдаш мумкин бўлди. Шунинг учун, хлорланиш жараёнининг термодинамика ва кинетикасига, ҳамда портландцемент клинкери ва ғовакли материал хомашё аралашмасидан металл хлоридларини ҳайдашга, уларнинг таъсирини ўрганишда математик моделлаштириш усули зарур бўлади. Аррениус ва Колмогоров тенгламаларини қўллаб, тезлик константасининг, ушбу бораётган хлорланиш кимёвий реакциясининг ҳарорат ва куйдириш вақтига боғлиқлиги аниқланган:

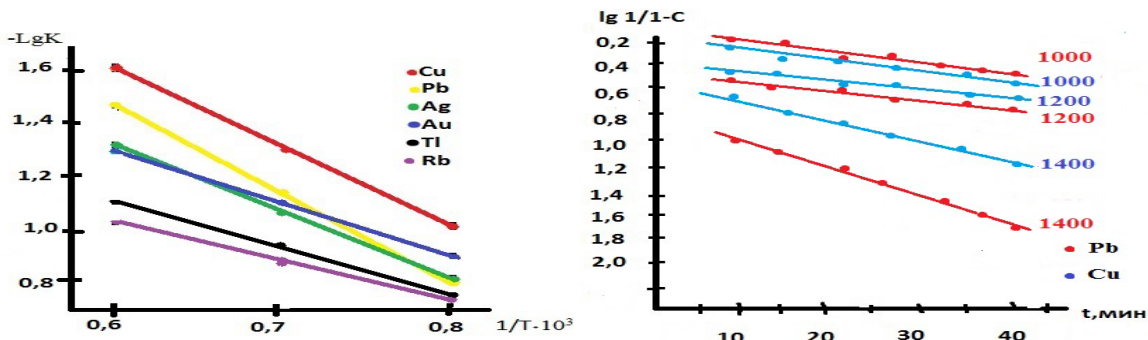
$$k(T) = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

Ушбу тенглама кимёвий кинетика тенгламасининг асосийси, фаоллаштириш энергияси эса моддаларни реакция кириш қобилиятини миқдорий таснифлашда муҳим ҳисобланади.

Натижаларни қайта ишлаш, металлларни ажратиш даражасини куйдириш ҳарорати ва вақтига боғлиқлигини, яъни куйдириш ҳароратининг ортиши металллар ҳайдаш жараёни тезлигига сезиларли таъсир этишини кўрсатади, агар МОФ чиқиндилари аралашма учун 1000°C куйдириш ҳароратида $K_{\text{ср}} = 2,65 - 8,68 \cdot 10^{-2}$, мис равишда мис учун $K_{\text{ср}} = 2,65 \cdot 10^{-2}$, рубидий учун $K_{\text{ср}} = 8,68 \cdot 10^{-2}$, бўлиб, 1400°C куйдириш ҳароратида, ҳамма металлларнинг ҳайдалиш тезлиги $K_{\text{ср}} = 1,15 - 1,78 \cdot 10^{-1}$ ўн мартагача ортади, СОФ чиқиндилари аралашма учун 1000°C куйдириш ҳароратида кадмий учун $K_{\text{ср}} = 3,95 \cdot 10^{-3}$, рубидий учун $K_{\text{ср}} = 2,65 \cdot 10^{-2}$ бўлиб, 1400°C да куйдириш ҳароратининг ўзгаришида ҳамма металлларнинг ҳайдалиш тезлиги $K_{\text{ср}} = 1,27 - 1,48 \cdot 10^{-1}$ ўн мартагача ортади.

Ҳисобланган Эа бўйича тадқиқ этилаётган у ёки бу металлларни ҳайдалиш жараёнини қайси соҳада боришини муҳокама қилиш мумкин. МОФ чиқиндиси ва биргаликда қўшилган 4%ГОСП ва 3%фосфогипс асосидаги цемент хомашёси куйдиришда металлларни ҳайдашнинг фаоллашган энергиясини математик ва график усулларда ҳисоблаш натижаларини параллел солиштирганда, рубидий ва таллий учун ҳайдалиш жараёни диффузия соҳасида чекланган, олтин Эа= 40,325 кДж/(моль·град) ва кумуш Эа= 37,375 кДж/(моль·град) учун жараён ўтувчи соҳада, кўрғошин Эа=57,326 кДж/(моль·град) ва мис Эа=61,234 кДж/(моль·град) учун ҳайдалиш реакция жараёни бориши кинетик соҳасида чекланганлигини аниқлашларга олиб келади.

МОФ асосидаги цемент аралашмасидан металллар ҳайдалишни тадқиқ этиш натижалари $\lg k$ ни $1/T$ га боғлиқлиги график кўринишда келтирилган (8а-расм), бунда тажриба нуқталари тўғри чизиқларга мос келади, бу эгри чизиқларнинг тангенс бурчаги бўйича қиялиги, математик йўл билан ҳисобланган қийматлар катталиклари бўйича турли куйдириш ҳароратларидаги тезлик константасининг фарқи асосан, фаоллаштиришнинг эмпирик энергияси билан аниқланади.



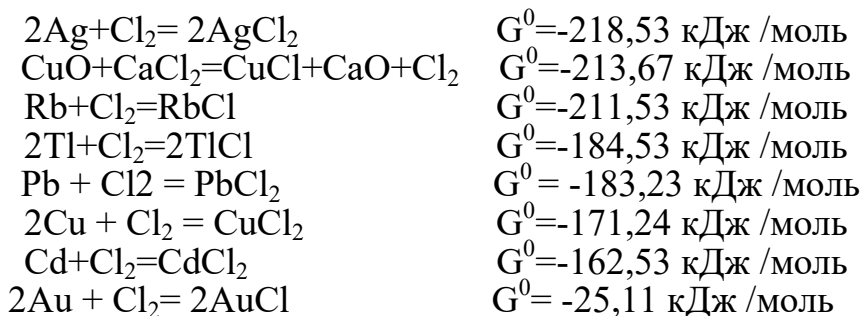
8-Расм. МОФ асосидаги цемент аралашмасидан металларни ҳайдалиши: а) LgK нинг тескари абсолют ҳароратига боғлиқлиги: б) Cu ва Pb ҳайдашдаги $Lg 1/1-G$ нинг куйдириш вақти ва ҳароратига боғлиқлиги

Цемент аралашмасидаги ҳайдалиш жараёнининг кинетик эгри чизиклари Ерофеев-Колмогоровнинг биринчи даражали тенгламаси билан яхши тавсифланади:

$$dG/dt = k(1-G),$$

$Lg 1/(1-G)$ нинг вақтга боғлиқлик графигида, Ерофеев-Колмогоров (8б-расм) тенгламасини ҳосил қилгандан сўнг олинган кинетик эгри чизиклар яхши чизиклашади ва ажратилган мис ва кўрғошинни логарифмини, куйдириш ҳароратини $1000^{\circ}C$ дан $1200^{\circ}C$, $1400^{\circ}C$ гача ўзгаришидаги куйдириш ҳароратининг вақтига боғлиқлигини кўрсатади. Олинган тўғри чизиклар $k/2,303$ га тенг бўлган салбий қияликка эга бўлиб, ушбу эгри чизикларни қайта ишлашга асосланиб, тадқиқ этилаётган ҳарорат оралигида тезлик константасининг қиймати ҳисобланган.

Бир қатор жараёнларни кўришда термодинамик ёндошиш, жумладан тадқиқ этилаётган силикат материалларининг синтезидаги хлорланиш реакциясининг боришига ва металларни ҳайдалишига тегишли бўлган қаттиқ-суяқ-газ системасида ўта муҳим аҳамиятга эгадир. Энг муҳим термодинамик хусусият (функция) бўлиб, реакция бориш жараёнини тавсифловчи Гиббс энергияси- ΔG° , энтропия- S° ва энтальпия- ΔH° ларнинг Эа фаоллаштириш энергияси ҳисобланади. Цемент клинкери ва ғовакли материаллар синтезида ажралаётган металллар элементар кимёвий реакцияси учун ушбу маълумотларни математик қайта ишлаб, уларнинг катталиклари аниқланди:



Тегишли тенглама учун ҳисобланган энтальпия, энтропия ва Гиббс энергиясининг стандарт миқдорлари билан мос келган цемент клинкери ва

Ғовакли силикат материалларининг синтез жараёнидаги ҳайдалаётган металлларни хлорланиш муносабатига кетма-кетлиги куйидаги тартибда аниқланган:

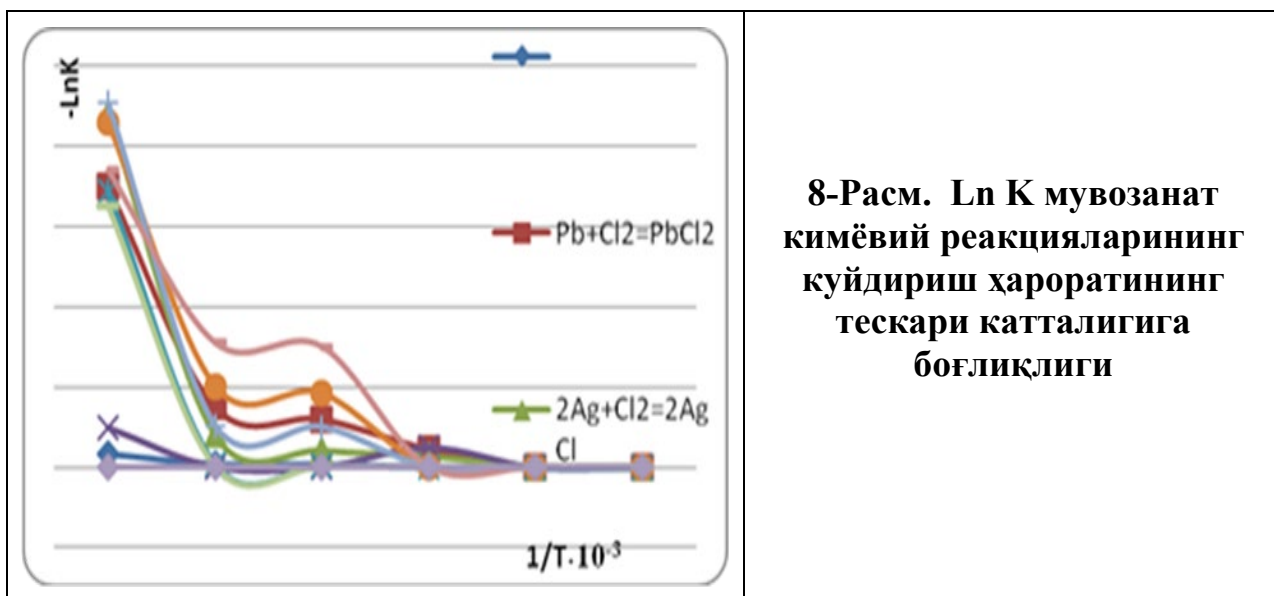


8-Жадвал

Ажралаётган металллар хлорид ҳайдаш кимёвий реакциясини таснифловчи ҳисобланган термодинамик функциялар

Кимёвий реакция тенгламалари	Гиббс энергияси, DG° , кДж/моль			Фаоллаштириш энергияси, E_a		Энтропия, S^0 , Дж/(мольК)	Энтальпия ΔH^0 , кДж/моль
	Куйдириш ҳарорати, K°			кДж/моль			
	298	1393	1673	1393	1673		
$\text{Pb} + \text{Cl}_2 = \text{PbCl}_2$	-183	-214	-222	60,5	57,3	-28,12	-175,41
$2\text{Ag} + \text{Cl}_2 = 2\text{AgCl}$	-218	-91,6	-58,6	74,7	37,3	-116,4	-253,25
$2\text{Au} + \text{Cl}_2 = 2\text{AuCl}$	-25,1	135,2	177,1	46,9	40,3	-147,43	-68,81
$\text{Cu} + \text{Cl}_2 = \text{CuCl}_2$	-171	-10,9	30,33	59,4	61,2	-147,91	-215,63
$\text{CuO} + \text{CaCl}_2 = \text{CuCl} + \text{CaO} + \text{Cl}_2$	-213	-234	-241	65,7	65,8	19,37	-208,21
$\text{Rb} + \text{Cl}_2 = \text{RbCl}$	-211	-157	-144	31,1	29,4	-49,63	-226,62
$2\text{Tl} + \text{Cl}_2 = 2\text{TlCl}$	-184	-359	-444	71,2	57,9	160,31	-136,82
$\text{Cd} + \text{Cl}_2 = \text{CdCl}_2$	-162	-50,2	-21,7	88,9	86,8	-104,98	-195,34

Тадқиқ этилаётган реакцияларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, ҳароратнинг ўзгариши Гиббс энергия белгисини ўзгартиради, Cu , Au ларни хлоридҳайдаш реакциясида жараён қайтар ҳисобланади, айнан шу вақтда, Pb , Ag , Rb , Cd , Tl ларни хлорланиш реакцияларида куйдириш ҳароратини кўтарилишида Гиббс энергия белгиси ўзгармайди, шунингдек, ушбу реакция жараёнлари қайтмас эканлигини кўрсатади (8-жадвал).



Силикат материалларини синтезида металллар ҳайдаш жараёнини бориш тезлиги, даражаси, ҳамда танлаб бориши, асосан ҳарорат, куйдириш жараёнининг давомийлиги, қўшилаётган чиқиндиларнинг миқдори, енгил учувчан бирикмаларга боғланишга металлларнинг реакция қобилиятлари билан аниқланади.

Х У Л О С А

Диссертация ишини амалга ошириш давомида қуйидаги асосий илмий ва амалий натижаларга эришилган:

1. Хомашё ва иккиламчи ресурслар, жумладан Шавазай оҳактоши, қўрғошин бойитиш (СОФ) ва мис бойитиш (МОФ) фабрикаларининг флоточиқиндилари, «Олмалиқ-Максам» ҚК нинг фосфогипси, Қўнғирод сода заводининг қаттиқ чиқиндиси (ТОСП), ҳамда улар асосида синтез қилинган намуналарнинг кимё-минералогик таркиблари, физик-кимёвий хусусиятлари замонавий физик-кимёвий таҳлил ва силикат технологиясининг анъанавий тадқиқот усуллари ёрдамида ўрганилган.

2. Илк бор фойдаланилган фосфогипс чиқиндиси ва ТОСПнинг МОФ ва СОФ флоточиқиндиларидан фойдаланилган клинкер минераллари кристалл фазаси структурасининг ҳосил бўлиш кинетикаси ва механизмига жадаллаштирувчи таъсирининг ўзига хослиги аниқланган. Хомашё аралашмасидаги клинкер минералларининг қаттиқ ҳолатдаги фазавий ўтишига лойиҳалаштирилган таркибларни ва ишлов бериш ҳароратининг таъсири оидинлаштирилган. Фойдаланилган чиқиндиларнинг декарбонизация, минерал ҳосил бўлиш даражаларини оширишга ва тўлиқ фаза ҳосил бўлиш ҳароратини 50-70°C пасайишига таъсири этиши кўрсатилган.

3. Портландцемент хомашё омухтасига алюмосиликат хомашёси сифатида ОТКМК МОФ ва СОФ чиқиндиларини қўллаб, кинетика жараёнлари ва термодинамика ҳодисаси аниқланган.

4. ТОСП ва фосфогипс чиқиндиларидан хомашё аралашмаси таркибида комплекс фойдаланиш билан декарбонизация жараёни тезлигини 2 мартага жадаллаштириши ва фаоллаштириш энергиясини 160-165 кДж/моль дан 140-145 кДж/ моль гача камайтириши кўрсатилган.

5. Асосий хомашё сифатида МОФ ва СОФ флоточиқиндиларидан фойдаланиш орқали ғовакли силикат материали олиш имкониятлари асосланган. Омухта хомашё компонентларининг таркиби ва 1100-1200°C ҳарорат оралигидаги куйдириш жараёнининг, пишишда борадиган кўпчителиш ва қаттиқ фазали ўтиш жараёнларининг кинетика ва механизмига таъсири аниқланган. Фойдаланилган ноорганик қўшимчаларнинг, кўпчителиш ҳарорат оралигини кўпайтиришга ва ғовакли материал тўлиқ пишиш жараёни ҳароратини 30-50°C гача пасайтириши исботланган.

6. Фойдаланилган кимё саноати ноорганик чиқиндиларининг, портландцемент клинкери ва ғовакли силикат материаллари хомашё аралашмаси таркибидаги қолдиқ металллар ҳайдалишига жадаллаштирувчи таъсир этиши очик ифодаланганлиги аниқланган.

7. Асосий кинетик параметрлар ва қолдиқ металлларнинг ҳайдалиш жараёнининг термодинамик хусусиятлари, тезлик константаси, фаоллаштириш энергияси ва юқори ҳароратли синтезда боришни ифодалайдиган бошқа жараёнлари физик-кимёвий хусусиятлари математик ва график моделлаштириш усуллари билан ҳисобланган.

8. Ноанъанавий хомашё материалларидан алюмосиликат компоненти (МОФ ва СОФ флоточиқиндилари) сифатида фойдаланилган хомашё аралашмаларининг таркиблари ишлаб чиқилган, ҳамда клинкер ҳосил бўлишини ва пишишни, ҳамда қолдиқ металлларни ажратишдаги ҳайдашни жадаллаштирувчи ноорганик чиқинди кўшимчаларининг мақбул миқдорлари аниқланган.

9. ОТКМК ва кимё саноати флоточиқиндилари асосида ғовакли материал олиш билан бирга фойдаланилган хомашё аралашмасининг таркибидаги қолдиқ қимматбаҳо, камёб ва рангли металлларни 90-98% гача ҳайдаш технологиясининг реал имкониятлари ва қолдиқ металлларни параллел равишда ҳайдаш билан ғовакли силикат материаллари олишнинг принципиал технологик схемаси кўрсатилган.

10. Иқтисодий ва экологик муаммоларни долзарб ечимига йўналтирилган энергия ва ресурстежамкор технология асосида қолдиқ металлларни параллел равишда ҳайдаш билан ишлаб чиқариладиган портландцемент клинкери синтезида борадиган фазавий ўтиш ва термодинамик жараёнларни физик-кимёвий тадқиқ этиш бўйича олинган илмий натижаларни қўлланма материал сифатида фойдаланиш мумкинлиги кўрсатилган.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ ИНСТИТУТЕ ОБЩЕЙ И
НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

НИМЧИК АЛЕКСЕЙ ГРИГОРЬЕВИЧ

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА
КИНЕТИКУ КЛИНКЕРООБРАЗОВАНИЯ И ВОЗГОНКУ
ОСТАТОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ**

02.00.15- Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА НАУК (DSc)
ПО ХИМИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2020.4.DSc/K99

Диссертация выполнена в Институте общей и неорганической химии АН РУз.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу (www.ziynet.uz.)

Научный консультант:

Кадырова Зулайхо Раимовна
доктор химических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Шарипов Хасан Турапович
доктор химических наук, профессор

Юнусов Миржалил Юсупович
доктор технических наук, профессор

Талипов Нигматулла Хамидович
доктор технических наук

Ведущая организация:

**Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»
Алмалыкский филиал**

Защита состоится 21 декабря 2021 г. в 14⁰⁰ часов на заседании разового Научного совета DSc.02/30.12.2019.КТ.35.01 при Институте общей и неорганической химии по адресу: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека 77а. Тел.: (99871) 262-56-60; e-mail: ionxanruz@mail.ru

Диссертация зарегистрирована в библиотеке Института общей и неорганической химии за № 20, с которой можно ознакомиться в ИРЦ (при Институте общей и неорганической химии по адресу: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека 77а. Тел.: (99871) 262-56-60)

Автореферат диссертации разослан 7 декабря 2021 года.
(реестр протокола рассылки №20 от 7 декабря 2021 г.)



Б.С. Закиров
Председатель разового научного совета по присуждению
учёной степени доктора наук, д.х.н., проф.

Д.С. Салиханова
Ученый секретарь разового научного совета по присуждению
учёной степени доктора наук, д.т.н., проф.

У.К. Ахмедов
Председатель разового научного семинара при Научном совете
по присуждению учёной степени доктора наук, д.х.н., проф.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация на диссертацию доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время, в мире считается важной научно-практической задачей разработка инновационных технологий, которые способствуют развитию высокотехнологичной производственной базы для комплексной переработки и рационального использования минерального сырья и техногенных отходов в строительной промышленности, которая является наиболее материалоемкой отраслью потребления этих ресурсов. В данном направлении, является актуальным создание новых способов комплексной переработки и разработки энерго- и ресурсосберегающих технологий получения портландцементного клинкера и пористого силикатного заполнителя с использованием неорганических отходов горнометаллургической и химической промышленности.

В этом направлении в мировом масштабе проводятся научные изыскания, и уделяется особое внимание созданию эффективных составов портландцемента на основе альтернативных источников взамен минерального сырья, а также совершенствование энерго- и ресурсосберегающих технологий при их производстве. Изучение физико-химических и термодинамических процессов применения твердых отходов и их влияния на кинетику клинкерообразования, а также возгонку остаточных металлов требует обоснование следующих научных решений: создание оптимальных физико-химических составов, способов интенсификации процессов клинкерообразования и спекания, установления оптимальных способов процесса возгонки остаточных металлов, установления кинетических и термодинамических характеристик процессов клинкерообразования и возгонки остаточных металлов при интенсифицирующем обжиге.

В республике достигнуты определенные научные и практические результаты по использованию отходов промышленности для получения портландцементных клинкеров и пористых силикатных материалов с использованием в качестве сырья отходов горнометаллургической промышленности и разработки технологии получения этих строительных материалов по энерго- и ресурсосберегающим технологиям обжига на основе вторичных ресурсов. В «Стратегии действий» по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены задачи по «...дальнейшей модернизации и диверсификации промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень, направленные на опережающее развитие высокотехнологичных обрабатывающих отраслей, прежде всего по производству готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой переработке местных сырьевых ресурсов»¹. В этом отношении важной задачей является разработка технологии получения портландцемент

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП №4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

ного клинкера и пористого силикатного материала на основе использования флотоотходов Алмалыкского ГМК, твердых отходов содового производства с попутной возгонкой остаточных металлов в процессе клинкерообразования и пористого заполнителя имеет важное значение.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «Стратегия действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах» и Постановлениями Президента Республики Узбекистан № ПП-3698 от 7 мая 2018 года «О дополнительных мерах по совершенствованию механизмов внедрения инноваций в отрасли и сферы экономики», Постановления Президента Республики Узбекистан от 23 мая 2019 года № ПП-4335 «О дополнительных мерах по ускоренному развитию промышленности строительных материалов», Постановления Президента Республики Узбекистан № ПП-4401 от 23 июля 2019 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию геологического изучения недр и реализации государственной программы развития и воспроизводства минерально-сырьевой базы на 2020-2021 годы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в республике VII «Химические технологии и нанотехнологии».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации². Научные исследования направленные на разработку составов и технологий получения портландцементных клинкеров на основе минерально-сырьевых и вторичных ресурсов, изучению составов, структуры и свойств получаемых строительных материалов, снижению температуры обжига, улучшению их физико-механических и технологических свойств клинкера осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе: в Белгородском технологическом университете им. В.Г.Шухова и Российском химико-технологическом университете им. Д.И.Менделеева (Россия), Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры (Украина), Южно – Казахстанском государственном университете им. М.Ауезова (Казахстан), Белорусском государственном технологическом университете (Белоруссия), Bau-Haus Universitat ba VDZ-Verein Deutschen Zementwerke (Германия) CNBM Engineering CoLtd (Китай), Asian Cimento AS (Турция), Heidelberg Cement Group, Химико-технологическом институте, Институте общей и неорганической химии (Узбекистан).

² Обзор мировой научно-исследований в диссертационной работе осуществлялось по данным: <http://www.antoninisrl.com>, <http://www.bottero.com>, <http://www.ocmigroup.com>, <http://www.sklostroj.cz>, <http://www.emhartglass.com>, <http://www.imaca.nl>, <http://www.fivesgroup.com>, <http://www.glasmaschinenbau-freital-gmbh>, <http://www.parkinson-spencer.co.uk>, <http://www.lattimer.com> <https://www.ionx.uz> и др. источники.

В результате научных исследований, проведенных в мировых ведущих центрах по получению портландцементных клинкеров и пористого материала, получен ряд научных результатов, в том числе – разработаны технологии получения портландцементного клинкера с применением отходов топливно-энергетического комплекса, таких как шлаки, золошлаки и отходы углеобогащения, применяемых в качестве алюмосиликатного компонента сырьевой смеси Белгородском технологическом университете им. В.Г. Шухова, Россия), синтезированы цементные клинкеры с использованием доменных шлаков и колосниковой пыли (Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, Украина), китайскими учеными разработана технология получения керамзита из строительных отходов (CNBM Engineering Co Ltd, Китай), при получении пористого материала предлагается использовать вместо дорогостоящего привозного угля вскрышные породы (суглинки) и отход торфяного производства (Белорусском государственном технологическом университете, Белоруссия).

В мире проводится ряд исследований, в том числе в следующих приоритетных направлениях, в том числе по изучению техногенных отходов горнометаллургической и химической промышленности в качестве замены природного сырья и интенсификаторов клинкерообразования и спекания при получении строительных материалов, с целью экономии природных сырьевых материалов путем замены на техногенные отходы с высокой реакционной способностью, использовать минерализующие добавки с высоким содержанием интенсифицирующих соединений для разработки энергосберегающих технологий получения цементного клинкера и пористого материала.

Степень изученности проблемы. В научно-технической литературе освещены работы по получению ресурсосберегающих и малоэнергоёмких технологий производства цементных клинкеров с использованием в качестве компонентов сырьевой шихты или интенсификаторов процессов минералообразования техногенных отходов различных видов промышленности, которыми занимались Ю.М.Бутт, В.В.Тимашев, М.М.Сычев, И.Г.Лугинина, И.С.Канцпольский, Х.Ф.Тейлор, А.А.Пашенко, Т.В.Кузнецова, В.П.Петров, Fu-Shen Zhang, Л.М.Сулименко, А.К.Иогансон, Г.М.Каненко, G.D.Paradimitrion, А.А.Салей, В.К.Классен, Ю.Р.Кривобородов, В.В.Тюкавкина, В.И.Шишкин, Е.А.Яценко, В.И.Ларин, Zhou Cui- Hong, M.W. Almedia, Zhao Qinglin и др.

Научные разработки, посвящённые расширению сырьевой базы за счёт использования техногенных отходов при производстве пористых силикатных материалов и повышению их технологической эффективности представлены в работах С.П.Онацкого, Н.И.Макридина, В.З.Абдрахимова, В.П.Петрова, А.Н.Отарбаева, С.Н.Березовского, Я.А.Рекитара, Д.Ю.Денисова, А.В.Дорошина, П.И.Грехова, Н.К.Манаковой, С.А.Монтаева, Е.А.Баранова, Р.Е.Ефимова, Я.А.Лупоносова, G.S.Virdi, С.А.Мизюрьева изучены закономерности их влияния на процесс минералообразования при спекании,

исследованы физико-химические и физико-механические свойства керамзита и аглопорита на их основе.

В Узбекистане исследованием влияния техногенных отходов, таких как, флотоотходы цветной металлургии, фосфогипса и твёрдого отхода содового производства на процессы клинкерообразования и спекания пористого материала занимались И.С.Канцпольский, Н.А.Сиражиддинов, Т.А.Атакузиев, Б.И.Нудельман, М.И.Искандарова, М.А.Ахмедов, Ф.А.Атабаев, З.П.Пулатов, С.С.Негматов, Н.Р.Рузиев, М.И.Рахманов, Ф.Л.Глекель, А.П. Иркаходжаева, З.Р. Кадырова, Н.Х.Талипов, С.Н Аминов и др. К настоящему времени, в Республике проводится ряд исследований по использованию техногенных отходов при производстве портландцементного клинкера, но отсутствуют научно-исследовательские работы по применению флотоотходов цветной металлургии в качестве алюмосиликатного сырьевого компонента и влияния отходов химической промышленности в качестве интенсификаторов процессов клинкерообразования и спекания, с возгонкой в процессе обжига летучих соединений остаточных металлов содержащихся в этих флотоотходах.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-технического проекта ПЗ-20170920189 «Разработка импортозамещающих составов и технологии получения теплоизоляционно-огнеупорных и керамических материалов путём комплексной переработки нерудных сырьевых и вторичных ресурсов».

Целью исследования является определение физико-химических и термодинамических процессов применения твёрдых отходов и их влияния на кинетику клинкерообразования, а также возгонку остаточных металлов при получении портландцементного клинкера и пористых силикатных материалов.

Задачи исследования:

установление физико-химическими методами интенсифицирующие влияния неорганических добавок на механизм и кинетику декарбонизации в сырьевых смесях портландцементного клинкера;

изучение комплексного влияния интенсифицирующих добавок на механизм минералобразования основных клинкерных фаз при обжиге портландцементных сырьевых смесей;

изучение влияния используемых флотоотходов АГМК на процессы спекания, происходящие при агломерационном обжиге сырьевых смесей;

установление влияния применяемых неорганических отходов химических производств на некоторые физико-химические и физико-механические свойства синтезированного пористого заполнителя;

изучение влияния комплексных факторов на закономерности возгонки цветных металлов при получении портландцементного клинкера и пористого заполнителя;

проведение методами математического и графического моделирования расчёта термодинамических и кинетических параметров возгонки металлов Au, Ag, Pb, Cu, Se происходящих при высокотемпературном обжиге сырьевых смесей портландцементного клинкера и пористого заполнителя с интенсификаторами возгонки;

апробация результатов исследований путём проведения опытных испытаний образцов в производственных условиях;

обсуждение результатов исследований и подготовка рекомендаций для дальнейшего их использования в прикладном аспекте.

Объектом исследования являются известняки Шавазсайского, каолины Ангреноского месторождений, отходов флотации медно- и свинцовообогатительных фабрик, шлаки после доизвлечения меди Алмалыкского ГМК, фосфогипс «Аммофос-Максам», твёрдый отход Кунградского содового завода, а также опытные образцы цементного клинкера и пористого силикатного материала.

Предметом исследования является процессов спекания, кинетики, механизма, термодинамических, физико-химических и физико-механических характеристик сырьевых компонентов, опытных образцов цементных клинкеров и пористого силикатного материала. Возгонка остаточных солей металлов при клинкерообразовании, установление оптимальных составов и технологических режимов их спекания путём выполнения лабораторных исследований и производственных испытаний.

Методы исследования. В диссертационной работе используются стандартные методы физико-химических исследований процессов минералообразования при высокотемпературном синтезе строительных материалов с применением методов: рентгенофазового, дифференциально-термического, петрографического, спиртово-глицератного а также масс-спектроскопического и абсорбционно-гравиметрического.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

определено влияние фосфогипса и твердого отхода содового производства на механизм и кинетику минералообразования портландцементного клинкера с использованием флотоотходов;

установлены особенности интенсифицирующего влияния фосфогипса и ТОСП на кинетику фазовых превращений портландцементных сырьевых смесей на основе флотоотходов;

показано влияние неорганических добавок на повышение степени декарбонизации и минералообразования, а также снижение температуры завершения фазообразования на 50-70°C;

впервые обоснована возможность получения пористого силикатного материала с использованием в качестве основного сырьевого компонента флотоотхода МОФ с попутной возгонкой цветных металлов;

выявлено влияние состава компонентов сырьевой шихты и процессов обжига на механизм твердофазных превращений, происходящих при спекании;

установлено интенсифицирующие действия неорганических отходов химической промышленности на возгонку металлов содержащихся в сырьевых смесях портландцементного клинкера и пористого силикатного материала;

вычислены методами математического моделирования основные кинетические и термодинамические характеристики процесса возгонки металлов, в частности константы скорости, энергии активации и другие термодинамические характеристики, описывающие процессы, происходящие при высокотемпературном синтезе.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

разработана физико-химическая и технологическая основа получения цементного клинкера, а также интенсифицирующего влияния неорганических отходов химической промышленности на процессы минералообразования и попутную возгонку солей металлов в флотоотходных портландцементных сырьевых смесях, используемых в качестве алюмосиликатного компонента;

определены оптимальные составы сырьевых смесей с использованием нетрадиционных сырьевых материалов в качестве железосодержащего и алюмосиликатного компонентов, минерализующие при клинкерообразовании и агломерации, также количество интенсифицирующих добавок на возгонку выделяемых солей металлов.

возможность получения пористого материала на основе отходов металлургической и химической промышленности, попутной возгонки цветных металлов и достигнута снижение энергозатрат при получении строительных материалов за счет комплексной добавки неорганических отходов химической промышленности.

Достоверность результатов исследований подтверждены согласованностью теоретических представлений о исследуемых процессах с данными полученными автором экспериментальным путем, проведением исследований на современном экспериментальном оборудовании с применением ряда стандартных методов изучения механизма фазовых превращений, а также структуры и свойств синтезированных клинкеров и пористого материала и исследованием кинетических и термодинамических характеристик возгонки цветных металлов из них.

Научная и практическая значимость результатов исследований.

Научная значимость исследований заключается в физико-химическом обосновании интенсифицирующего влияния неорганических минерализующих отходов на процессы фазовых превращений и кинетику возгонки ряда металлов при высокотемпературном синтезе портландцементных клинкеров и пористого силикатного материала, содержащих в качестве основного компонента сырьевых смесей флотоотходы техногенного происхождения.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в разработке сырьевых составов и энерго-, ресурсосберегающих технологий

получения цементных клинкеров и пористого силикатного материала и попутного доизвлечения остаточных металлов при использовании местных техногенных отходов в качестве сырья и интенсифицирующих добавок.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных научных результатов по исследованию физико-химических и термодинамических процессов применения твёрдых отходов и их влияния на кинетику клинкерообразования, а также возгонку остаточных металлов выявлены:

интенсифицирующие влияния неорганических минерализующих отходов на процессы фазовых превращений и кинетику возгонки металлов при высокотемпературном синтезе портландцементных клинкеров и пористого силикатного материала, результаты которых использованы для сравнительного анализа в прикладном проекте ФА-А13-139 по теме: «Энерго и ресурсосберегающая технология использования отходов обогащения вольфрамовой руды при производстве дополнительного цемента» (Справка Академии наук Республики Узбекистан № 4/1255-2791 от 12 октября 2021 г.). Результаты позволили получить научно-обоснованные фундаментальные информации о физико-химических и термодинамических процессах применения твёрдых отходов и их влияние на кинетику клинкерообразования, а также возгонку остаточных металлов:

разработанный состав для получения портландцементного клинкера с использованием флотоотходов СОФ и МОФ включён в перечень перспективных разработок, внедряемых в АО «Ахангаранцемент» в 2022-2023 гг.» (Справка АО «Ахангаранцемент» №1/АГЦ-727/2-21 от 07 июля 2021 г.). В результате появилась возможность производства портландцементного клинкера с использованием флотоотходов АГМК;

разработанный состав для получения пористого силикатного материала с использованием флотоотходов СОФ и МОФ включен в перечень перспективных разработок, внедряемых в СП «Бекабад-огнеупор» в 2022-2023 гг.» (Справка СП «Бекабад-огнеупор» № 155 от 19 октября 2021 г.). В результате появилось возможность производства пористого силикатного материала с использованием флотоотходов АГМК и отходов Кунградского содового завода.

Апробация результатов исследований. Результаты данных исследований доложены и обсуждены на 6 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 11 научных статей, в том числе 3 в республиканских и 8 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложения. Объем диссертации составляет 190 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность проведённых исследований, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследований, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «Состояние и перспективы использования флотационных отходов горнообогатительных предприятий в производстве портландцемента» приведены результаты обсуждения критического анализа опубликованных работ в научно-технической литературе, состоянию и перспективам использования неорганических отходов промышленности в производстве портландцементного клинкера, изучению возможности получения пористого силикатного материала с использованием техногенных отходов, возможности попутного доизвлечения металлов при производстве строительных материалов. На основе критического анализа и обсуждения опубликованных работ сформулированы цель и задачи данных исследований.

Во второй главе диссертации «Химико-минералогические составы и физико-химические свойства исходных материалов и методика проведения исследований» приведены химический и минералогический состав компонентов сырьевых смесей, а для проведения экспериментальных исследований использованы важнейшие физико-химические методы анализа. Опытные образцы для исследований, получали приготовлением сырьевых составов, путем помола сырья в шаровой мельнице, до остатка на сите № 008 десять процентов. Высокотемпературный синтез и анализ изучаемых образцов строительных материалов осуществлялся путем обжига в широком интервале температур 1000-1450°C, в лабораторной печи с силитовыми нагревателями. Приведены характеристики использованных приборов и оборудования.

В третьей главе диссертации «Влияние неорганических добавок на фазовые превращения при синтезе портландцементного клинкера с использованием флотоотходов» приводятся результаты влияния примененных в качестве минерализаторов, твердых отходов химической промышленности на кинетику и термодинамику процесса декарбонизации в цементных сырьевых смесях на основе флотоотходов медно- (МОФ) и свинцовообогатительных (СОФ) фабрик Алмалыкского ГМК. Методом математического моделирования обработки результатов, с применением ряда топокинетических уравнений, получены зависимости основных кинетических величин при декарбонизации карбонатной составляющей цементных сырьевых смесей на основе флотоотходов. В изучаемом температурном интервале проведен анализ влияния количества добавляемых

отходов-интенсификаторов процесса декарбонизации на изменение термодинамической величины Δa .

Физико-химическими методами анализа изучено интенсифицирующее влияние твердых отходов на механизм и кинетику фазовых превращений минералов портландцементных сырьевых смесей, при клинкерообразовании. На основе проведенных исследований разработаны оптимальные цементные сырьевые составы с использованием интенсификаторов клинкерообразования, твердых отходов - фосфогипса и производства соды. Определение влияния твердых отходов на термодинамику и кинетику процесса декарбонизации, и механизм процесса фазовых превращений при клинкерообразовании портландцемента изучены на основе исходных сырьевых смесей с использованием флотоотходов МОФ и СОФ и $KH=0,89$, силикатным модулем $n-2,38$.

Результаты химического анализа применяемых компонентов сырьевых смесей, в частности известняка Шавазсайского месторождения, отходов горнометаллургической промышленности: флотоотходов медно- и свинцовообогатительной фабрик, переработанных медных шлаков, отходов химической промышленности: фосфогипса и твердого отхода содового производства (ТОСП), приведены в (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав используемых сырьевых компонентов и добавок цементных сырьевых смесей

Наименование	Содержание оксидов, масс.%								Ппп, масс.%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	
Известняк	4,03	1,00	0,20	52,32	1,06	0,1	0,1	-	41,08
Хвосты МОФ	61,18	14,61	9,86	1,32	0,11	2,31	1,76	5,69	4,10
Хвосты СОФ	45,75	8,72	7,19	14,59	7,10	2,00	0,98	2,98	8,83
Шлак АГМК	35,46	6,34	52,14	1,45	0,46	-	-	4,0	-
Отход ТОСП	1,10	0,40		47,1	4,2	-		3,8	42,40
Фосфогипс	10,43	0,42	0,15	28,3	-	0,04	0,04	40,5	19,64

Наиболее полный контроль процессов происходящих при нагревании цементных сырьевых смесей, возможен при выяснении как процесс действительно развивается во времени, от каких факторов зависит его скорость, и что необходимо выполнить, для завершения реакции в оптимальный период времени. Для более корректного решения упомянутых вопросов необходимо применение методов исследований, изучающих химическую кинетику процесса декарбонизации. Для изучения влияния неорганических отходов – фосфогипса и ТОСП на кинетику декарбонизации известнякового компонента в цементных сырьевых смесях на основе флотоотходов МОФ и СОФ, использованы политермические условия обжига (табл. 2).

Степень декарбонизации карбонатного компонента определялась по образованию свободного CaO этилово-глицератным методом.

Таблица 2

Исследуемые составы портландцементных сырьевых смесей

№ состава сырьевых смесей, с КН=0,89 и n=0,38	Добавленный минерализатор		№ состава сырьевых смесей, с КН=0,89 и n=0,38	Добавленный минерализатор		№ состава сырьевых смесей, с КН=0,89 и n=0,38	Добавленный минерализатор	
	Фосфо-гипс	ТОСП		Фосфо-гипс	ТОСП		Фосфо-гипс	ТОСП
ФК-1	2,0	-	ТК-1	-	2,0	ФТК-1	1,0	2,0
ФК-2	3,0	-	ТК-2	-	3,0	ФТК-2	2,0	3,0
ФК-3	4,0	-	ТК-3	-	4,0	ФТК-3	3,0	4,0

Обработка полученных экспериментальных данных при помощи ряда топокинетических уравнений, позволила определить наиболее оптимальные, для описания кинетики декарбонизации в цементных смесях, в температурном интервале 800 -900 °С.

Таблица 3

Кинетика и термодинамика декарбонизации известняка в сырьевых смесях с флотоотходами, без добавок и с комплексной добавкой 4% ТОСП+3% фосфогипса, при политермических условиях обжига

Сырьевая смесь	Константа скорости, К _{ср}	Коэффициент дисперсии реакции, D	Энергия активации, кДж/(моль град)	Кинетическое уравнение
На основе МОФ	Температура обжига 800 °С			
Без добавок	$1,49 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-10}$	-	Уравнение Журавлева
Добавка	$5,89 \cdot 10^{-4}$	$1,04 \cdot 10^{-10}$	-	
На основе МОФ	Температура обжига 900 °С			
Без добавок	$2,09 \cdot 10^{-2}$	$1,31 \cdot 10^{-9}$	161,59	Уравнение декарбонизации
Добавка	$2,56 \cdot 10^{-2}$	$1,21 \cdot 10^{-9}$	144,33	
На основе СОФ	Температура обжига 800 °С			
Без добавок	$1,52 \cdot 10^{-4}$	$1,16 \cdot 10^{-10}$	-	Уравнение Журавлева
Добавка	$6,45 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-10}$	-	
На основе СОФ	Температура обжига 900 °С			
Без добавок	$2,12 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-9}$	156,51	Уравнение декарбонизации
Добавка	$3,07 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-9}$	142,03	

Для определения оптимальности описания кинетики процесса использовался как критерий, коэффициент дисперсии константы скорости реакции, соответственно наименьшая величина константы дисперсии, принадлежащая одному из использованных уравнений, являлась наиболее верной. Расчет коэффициента дисперсии выполнен с использованием следующего уравнения:

$$D = x^2 - (x_b)^2 = \sum x^2 n_i / n - [\sum x_i n_i / n]^2$$

Соответственно на основе проведенных расчетов, для температуры обжига 800 °С наименьший коэффициент дисперсии соответствует уравнению Журавлева:

$$Kt = (\sqrt[3]{1 / 1 - G} - 1)^2$$

с $dis = 1,1 \cdot 10^{-10}$ (табл.3.), а кинетика декарбонизации при 800 °С определяется энергией формирования и концентрации образовавшихся кристаллов СаО проходящих в кинетической области.

Согласно которого скорость процесса является обратно пропорциональной толщине слоя продукта и прямо пропорциональна доле диффундирующего компонента, не вступившего в реакцию. Это подтверждает физический смысл твердофазных превращений при данной температуре, когда с течением времени образовавшиеся зародыши СаО образуют слой новой фазы и дальнейший процесс идет и контролируется диффузией Са⁺² и О⁻² к границам зародышей.

Повышение температуры декарбонизации до 900 °С кардинально изменяет кинетику и механизм процесса диссоциации, при этом средняя константа скорости реакции увеличивается в десятки раз от $1 \cdot 4 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^{-2}$, а механизм реакции изменяется от кинетического до диффузионного, в результате этого, процесс декарбонизации в исследуемых сырьевых смесях на основе флотоотходов с комплексной минерализующей добавкой идет посредством диффузии через слой продуктов реакции. Диффузия в твердой фазе СО₂ через СаО в зоне поверхности раздела реакций, является стадией контроля процесса декарбонизации при температуре 900°С. По аналогии с расчетом процесса при 800°С, найден коэффициент дисперсии констант скоростей с наименьшей величиной примененных топокинетических уравнений, и по наименьшему коэффициенту $dis=1,21 \cdot 10^{-9}$ определено уравнение с наилучшей линейризацией процесса, так называемое топокинетическое уравнение первого порядка описывающее процесс декарбонизации:

$$Kt = 1 - (1 - G)^{1/3}$$

В результате проведенной математической обработки данных установлено, что применение минерализаторов: отходов ТОСП и фосфогипс ускоряют скорость прохождения процесса диссоциации. Так средняя константа скорости в сырьевых шихтах с добавкой и без добавки в зависимости от температуры обжига изменяется в изучаемом температурном диапазоне – 800 - 900 °С в десятки раз от $1 \cdot 4 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$, а разница средних констант скорости между составом с совместной добавкой при $T_{обж} - 800$ °С в 3-5 раз превышает $K_{ср}$ в бездобавочной шихте, при $T_{обж} - 900$ °С эта разница составляет 2-3 раза. Результаты кинетических исследований подтверждаются термодинамическими расчетами энергий активаций процесса диссоциации в изучаемых цементных составах, величины которой изменяются от 162 кДж/ (моль·град) в шихте с МОФ до 157 кДж (моль·град) в смеси с флотоотходом СОФ, и от 145 до 142 кДж/(моль·град)

соответственно для интенсифицированных совместной добавкой цементных смесей.

Изучение влияния добавляемых отходов на закономерности механизма минералообразования основных клинкерных фаз, а также кинетику их формирования, проведено рентгенофазовым и петрографическим методами анализа, изучены на основе клинкеров синтезированных с использованием в качестве алюмосиликатного компонента исходных сырьевых смесей флотоотходов МОФ и СОФ, с $KH=0,89$ и $n=2,38$, обожженных при температуре $1400^{\circ}C$ и времени выдержки при этой температуре 20 минут, с добавкой оптимального количества твердых отходов определенных этилово-глицератным методом по усвоению $CaO_{св.}$ (табл.4) Сравнительный анализ проведен с составами, где количества совместной добавки 4% ТОСП+ 3% фосфогипса, а также 4% отходов ТОСП или 4% фосфогипса, и дальнейшее сравнение образования минеральных фаз, в изучаемых составах цементных клинкеров без добавок минерализаторов.

Таблица 4

Количество $CaO_{св.}$ в синтезированных цементных клинкерах с флотоотходами, при Тобж- $1400^{\circ}C$ и t - 20 минут

Цемент- ные смеси	Минерализатор, содержание в %		МОФ	СОФ	Цемент- ные смеси	Минерализатор, содержание в %		МОФ	СОФ
	Фосфо- гипс	ТОСП	$CaO_{св.}$ %			Фосфо- гипс	ТОСП	$CaO_{св.}$ %	
ФК-1	2,0	-	0,90	0,90	ТК-3	-	4,0	0,58	0,49
ФК-2	3,0	-	0,65	0,42	ФТК-1	2,0	3,0	0,40	0,38
ФК-3	4,0	-	0,42	0,28	ФТК-2	3,0	4,0	0,24	0,16
ТК-1	-	2,0	1,0	0,89	ФТК-3	4,0	5,0	0,57	0,49
ТК-2	-	3,0	0,81	0,67	БД	-	-	1,62	1,49

Рентгенофазовый анализ клинкеров с добавкой отходов показал, что применение добавок отдельно и совместно, интенсифицирует образование алитовой фазы, а температура завершения клинкерообразования во всех синтезированных клинкерах составляет $1380-1400^{\circ}C$, так как уже при этой температуре происходит полное усвоение свободной извести сырьевых смесей, а конечное ее содержание варьирует в них от 0,25 до 0,50% . В то же время в эталонных без добавочных клинкерах. при этой температуре, остается не усвоенной до 1,6-2,0% свободной извести, а температура завершения клинкерообразования составляет $1420-1430^{\circ}C$ Определение количественного состава исходных и синтезируемых минеральных фаз основывалось на зависимости интенсивности дифракционных отражений от содержания фазы в виде линейных и интегральных максимумов, и от их содержания в исследуемом многофазовом поликристаллическом образце. При температуре $1400^{\circ}C$ клинкеров, выявлена зависимость влияния добавляемых отходов на фазообразование клинкерных минералов (рис.1).

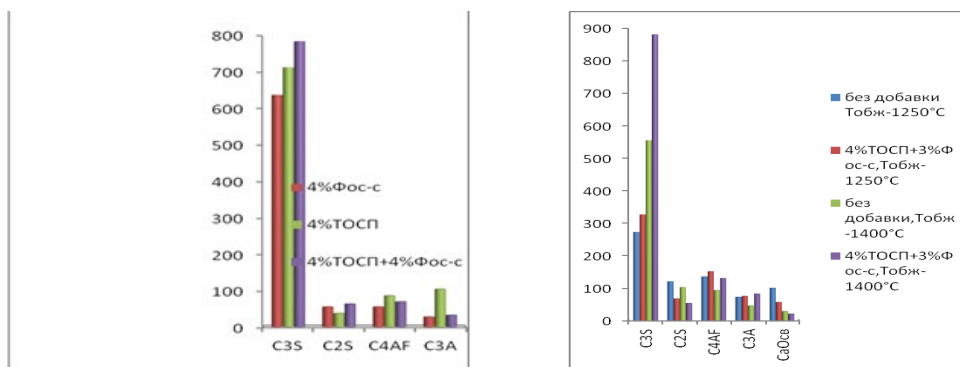


Рис.1. Диаграммы зависимости интенсивности основных дифракционных максимумов минеральных фаз в цементных клинкерах на основе хвоста МОФ: а) от температуры обжига б) от количества и вида добавленного отхода при $T_{обж}$ - 1400 °С

Установлено что, применяемые отходы в большей мере интенсифицируют алитообразование, так как возрастает интенсивность дифракционных максимумов этой фазы с $d=0,278$; $0,274$; $0,260$ нм, последовательно увеличиваясь от добавки фосфогипса, к добавке ТОСП. достигая максимума при совместном. На диаграмме интенсивности дифракционных максимумов синтезированных их применении в соотношении 3%+4%. Напротив выявлено меньшее влияние добавок на фазообразование остальных клинкерных фаз, так интенсивности максимумов второй по количеству фазы белита с $d=0,287$; $0,228$; $0,192$ нм, почти одинаковы во всех исследуемых клинкерах, с незначительным увеличением этой фазы в клинкере с совместным применением отходов (рис.2б).

Сравнительный анализ влияния комплексной добавки ТОСП и фосфогипса в цементных смесях и бездобавочных в интервале температур обжига 1000 -1400°C, рентгенофазовым количественным методом, выявил различия в кинетике и механизме клинкерообразования. Так интенсивность основного пика алитовой фазы $d=0,278$ нм, в активированном клинкере с отходом МОФ, последовательно увеличивается от 340 до 885 условных единиц, при изменении температуры обжига от 1250 до 1400°C. В тоже время дифракционные максимумы алита бездобавочного цементного клинкера с хвостами МОФ достигают лишь величины 550 условных единиц, что подтверждает предположение о высоком интенсифицирующем влиянии комплексно применяемых отходов на фазообразование минералов клинкера (рис.2а).

Та же закономерность отмечается и при механизме новообразования основной минеральной фазы твердофазного синтеза - двухкальциевого силиката-(βC_2S) при $T_{обж}$ -1000°C, величина интенсивности основных дифракционных максимумов которого соответствует $d=0,262$; $0,260$ нм. Величина этих максимумов равна 206 и 195 условным единицам для цементных смесей с совместной добавкой 3% фосфогипса+ 4% ТОСП, а для без добавочных 193 и 134 условным единицам соответственно. Интенсивность образования белитовой фазы в цементных смесях с

комплексной добавкой при этой температуре на 10-15% выше чем в смесях без добавок.

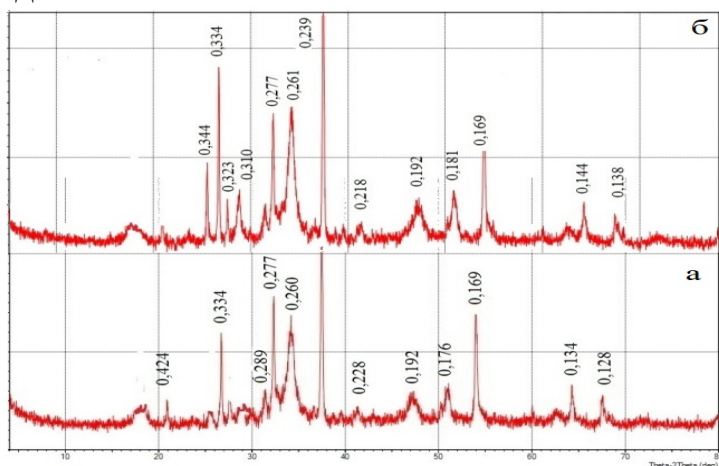


Рис. 2. Рентгенограммы цементной сырьевой смеси с флотоотходом МОФ активированной комплексной добавкой, при
а) $T_{\text{обж}}=1000^{\circ}\text{C}$,
б) $T_{\text{обж}}=1400^{\circ}\text{C}$

Рентгенофазовым методом изучено интенсифицирующее воздействие добавок твердых отходов в качестве минерализаторов клинкерообразования в цементных сырьевых смесях с использованием хвостов флотации МОФ и СОФ, как на стадии твердофазного синтеза так и на стадии образования жидкой фазы. Применение этих отходов снижает температуру завершения синтеза портландцементных клинкеров на 50-70 °с, за счет ускорения процесса декарбонизации и снижения температуры начала появления жидкой фазы.

В четвертой главе диссертации «Особенности физико-химических фазовых превращений, происходящих при спекании пористого материала с использованием флотоотходов» приведены результаты изучения возможности получения пористого материала на основе использования техногенных продуктов: флотоотходов Алмалыкского ГМК, необогащенного каолина и отходов фосфогипса и твердого отхода содового производства (ТОСП) и изучения влияния их физико-химических свойств на механизм и закономерности минералообразования и спекания синтезируемого пористого силикатного материала характеристику вспучивания обжигаемой шихты, является одним из основных критериев получения легковесного пористого заполнителя (табл.4). Определение влияния температур тепловой обработки и состава сырьевой шихты, на вспучивание гранул проводилась на основе сырьевой шихты, где основной компонент- флотоотходы, количество которых в шихте составляло 75-85%, и каолин. При постановке опытов изучалось, как отдельное влияние компонентов шихты и неорганических добавок на кинетику поризации сырьевых гранул, так и их комплексное влияние.

Проведенными исследованиями установлено, что сырьевые смеси с флотоотходом МОФ обладают более высокой способностью к вспучиванию по сравнению с смесями на основе флотоотхода СОФ.

Так оптимальная температура вспучивания 1120°C, соответствует пробе 4 с флотоотходом МОФ, в то время как для аналогичной по составу шихты с отходом СОФ она составляет 1145°C.

Таблица 4

**Составы изучаемых сырьевых шихт для получения пористого
силикатного заполнителя в %**

№ Шихты	Флотоотход МОФ	Флотоотход СОФ	Серый каолин	ТОСП	Фосфогипс	Уголь
Составы проб	75-95	75-95	10-20	10-30	10-30	6-8
1	80	80	14			6
2	80	80	14	25		6
3	80	80	14		30	6
4	80	80	14	25	30	6

Сравнительный анализ влияния составов проб на такие технологические свойства пористого материала, как интервал вспучивания, коэффициент вспучивания, объемная масса показал, что, применение добавок отходов фосфогипса и ТОСП положительно сказывается на перечисленных технологических свойствах (табл.5).

Таблица 5

Вспучиваемость шихт на основе флотоотходов

Состав Шихты	Оптимальная температура вспучивания, °С		Минимальная объемная масса обожженных гранул, г/см ³		Коэффициент вспучивания		Интервал вспучивания, °С	
	МОФ	СОФ	МОФ	СОФ	МОФ	СОФ	МОФ	СОФ
Наименование отхода								
1	1150	1175	1,55	1,75	1,87	1,55	60	55
2	1130	1148	1,40	1,80	2,04	1,73	75	65
3	1136	1150	1,45	1,75	2,12	1,75	70	60
4	1120	1145	1,38	1,65	2,16	1,85	75	65

В табл.5. отражены технологические параметры полученного легковеса, синтезированного на основе шихт с флотоотходами МОФ и СОФ, отражающие интенсифицирующее влияние неорганических добавок ТОСП и фосфогипса на оптимальную температуру обжига, объемную массу, коэффициент вспучивания, интервал вспучивания.

Минимальная объемная масса оптимального состава шихты -проба №4 с добавкой 30%ТОСП и фосфогипса, приближается к 1,35-1,65, а коэффициент вспучивания увеличивается до 1,85-2,16, кроме того, температура синтеза снижается на 25 -35°С.

Процесс раннего образования стеклофазы в ходе комплексного влияния восстановления железа, разложения хлоридов щелочных металлов отхода ТОСП и диссоциации сульфата кальция фосфогипса, позволяют снизить температуру обжига в образцах и заметно повысить поризацию легковеса. Дополнительному образованию пор в материале также способствует

выделение оксида углерода при выгорании добавляемого угля. Кроме того, надо отметить, что хотя оптимальная температура синтеза и объемная масса пористого материала с использованием отхода СОФ, уступает подобным показателям в пробах на основе флотоотхода МОФ, по своим технологическим параметрам он соответствует требованиям ГОСТ32496-2013 к получению пористого легковеса. По требованиям кажущаяся объемная масса легковеса из аглопорита находится в пределах 1,30-1,40 г/см³, а температура его получения в пределах 1100-1300°С. Оптимизация технологических параметров производства пористосиликатных изделий является важнейшим звеном в организации производства качественной продукции с низкой себестоимостью. Как известно, различные отходы химической промышленности и минеральные добавки оказывают существенное влияние на технологические процессы, и, прежде всего, на температуру обжига. С целью выявления их влияния на температурный режим обжига легковеса и дальнейшей оптимизации этого процесса, были проведены исследования на основе пробы 1. В качестве добавок изучались твердый отход содового производства и фосфогипс в разном их количестве.

Проведенные эксперименты позволили установить, что при увеличении концентрации добавок в шихте происходит снижение температуры спекания (табл. 6).

Таблица 6

Влияние неорганических добавок на температуру спекания оптимальной шихты: флотоотход -80%, каолин-14%, уголь-6%

Доля добавки сверх 100% шихты	Температура спекания шихты, °С					
	ТОСП		Фосфогипс		Совместное их использование	
	МОФ	СОФ	МОФ	СОФ	МОФ	СОФ
БД	1148	1165	1148	1165	1148	1165
10	1140	1160	1145	1160	1135	1155
20	1132	1150	1140	1155	1128	1150
30	1127	1145	1130	1150	1120	1145
40	1130	1150	1135	1150	1125	1148

Из полученных данных следует, что возможен интервал снижения температуры обжига в районе 25°С за счет добавки в исходное сырье отходов-плавней. Следует отметить, что отход содового производства превосходит фосфогипс по влиянию на снижение температуры спекания. Так при добавлении к сырьевой шихте добавки ТОСП в количестве 25-30% от массы, прогнозируется снижение температуры обжига на 15-20°С, а от такого же количества фосфогипса на 12-15°С. Но оптимальным является совместное применение интенсифицирующих снижение температуры синтеза, добавок ТОСП и фосфогипса в количествах 25-30 %. В целом полученные зависимости позволяют сделать вывод об эффективности использования рассмотренных добавок.

Физико-химическими методами анализа: рентгенофазовым, дифференциально-термическим и петрографическим, выявлены закономерности влияния компонентов и интенсифицирующих добавок на механизм минералообразования при спекании изучаемых шихт.

Термический анализ шихты № 4 с оптимальной добавкой отходов ТОСП и фосфогипс показал, что при температуре 120-125°C начинает выделяться физически связанная влага, что подтверждается эндоэффектом на термограмме (рис.3).

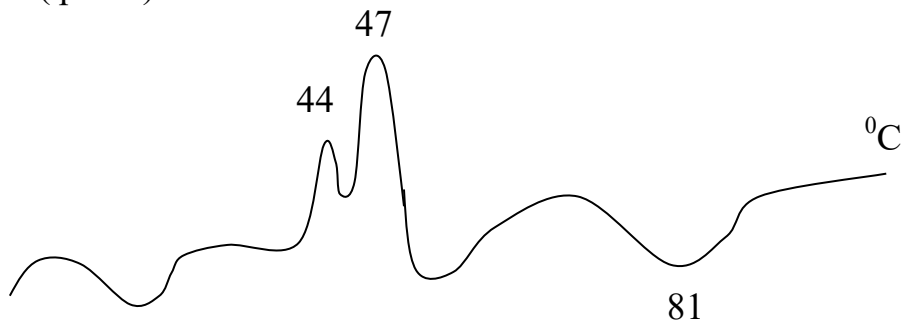


Рис. 3 Термограмма образца № 4 с совместной добавкой отходов фосфогипса и ТОСП

Температурный интервал 450-485°C характеризуется экзотермическим эффектом присущим переходу кварца из α в β – модификацию. Примерно при этой же температуре начинается выделение кристаллически связанной воды, находящейся в связанном состоянии в минералах мусковите и биотите содержащихся в слюдах и каолините. При температурах 810-820°C, наблюдается эндоэффект соответствующий декарбонизации карбонатной составляющей и частичному разрушению полевых шпатов.

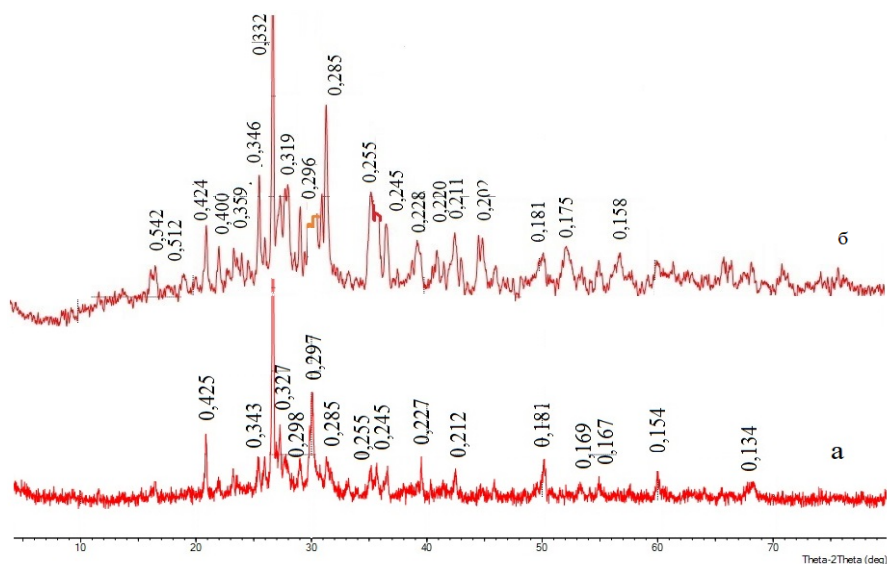


Рис.4. Рентгенограммы проб а) без добавок, б) с совместной добавкой фосфогипса и ТОСП при Тобж- 1100° С

При 1050-1100°C на рентгенограмме с этой пробой регистрируется кристаллы низкоосновных соединений типа геленита с $d= 0,285; 0,243; 0,175$ нм и диопсида с $d=0,300; 0,252; 0,174$ нм. Также отмечаются характерные

интенсивные линии муллита с $d = 0,270; 0,339; 0,540$ нм и химическим составом изменяющимся от $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ до $2Al_2O_3 \cdot SiO_2$, присутствие линий с $d = 0,251; 0,270; 0,365$ нм обусловлено гематитом, линии с $d = 0,202; 0,313; 0,403$ нм кристобалитом являющимся высокотемпературной полиморфной модификацией кварца, анортитом ($CaAl_2Si_2O_8$) с $d = 0,196; 0,224; 0,242; 0,321; 0,375$ нм, кварцем с $d = 0,213; 0,228; 0,246; 0,334; 0,426$ нм (рис.4). Известно что, кристаллические фазы мелилит и геленита в силикатных материалах, отвечают за механическую прочность и огнеупорность

Петрографически подтверждаются результаты рентгенофазового анализа, на (рис.5.) представлены не прореагировавшие зерна кварца и полевого шпата, а также возможно сульфата кальция окаймленные стеклофазой с новообразованиями представляющими микрозернистые агрегаты с размером зерен 2-5 мкм и $N_{пр} - 1,665$, геленита- $Ca_2Al(Si_2O_7)$., мервенита- $Ca_3Mg(SiO_4)_2$, муллита- $Al_8[(O,OH,F)(Si_2Al)O_4]_4$.

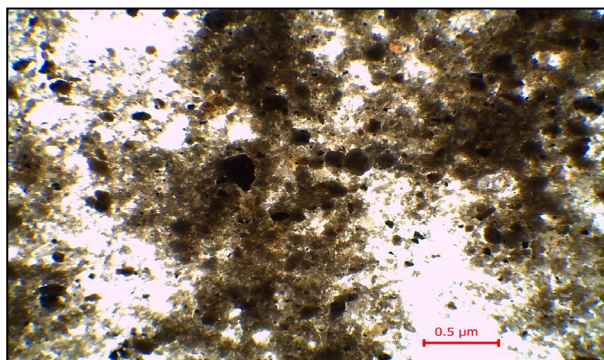


Рис.5. Петрографический снимок пробы №4

В пятой главе диссертации «Влияние фосфогипса и щелочного отхода на кинетику и термодинамику процессов возгонки остаточных металлов при получении силикатных материалов с использованием флотоотходов» приведены результаты исследования по изучению влияния комплексных факторов, на закономерности попутной возгонки остаточных металлов при получении портландцементного клинкера и пористого силикатного материала. Методом математического и графического моделирования рассчитаны термодинамические и кинетические параметры возгонки металлов Au, Ag, Pb, Cu и др., происходящие при высокотемпературном обжиге сырьевых смесей для получения вышеуказанных материалов.

Так как основной задачей проведенных исследований являлось изучение влияния физико-химическими методами техногенных неорганических отходов на кинетику и фазовые превращения минералов клинкера и пористого силикатного материала с использованием в качестве алюмосиликатного сырьевого компонента отходов свинцово и меднообогатительных фабрик Алмалыкского горно-металлургического комбината (АГМК), возник вопрос о необходимости установить закономерности влияния добавляемых минерализаторов - твердого отхода производства соды и фосфогипса на процессы попутной возгонки и

доизвлечения остаточных металлов содержащихся в цементных сырьевых смесях с флототходами МОФ и СОФ (табл.7).

Таблица 7

Содержание остаточных металлов в использованных флотоотходах МОФ и СОФ

Наименование флотоотхода	Количество извлекаемых металлов гр./ т.							
	Cu	Pb	Au	Ag	Rb	Se	Tl	Cd
МОФ	2430	346	0,40	1,85	186	7,80	1,90	0,61
СОФ	420	2280	0,04	1,60	45	5,00	0.95	1,87

Одним из перспективных методов переработки упорных концентратов в горнометаллургической отрасли, является метод возгонки извлекаемых металлов в виде хлоридов, получивший название метода хлоридовозгонки. Количество извлеченных в процессе обжига металлов, определялось масс-спектроскопическим методом по оставшемуся после обжига его количеству в синтезированных материалах.

Изучена зависимость количества извлекаемых металлов от таких технологических факторов как температура и время обжига, а также количество активных добавок- фосфогипса и ТОСП при синтезе цементных клинкеров с отходами МОФ, СОФ. (рис.6).

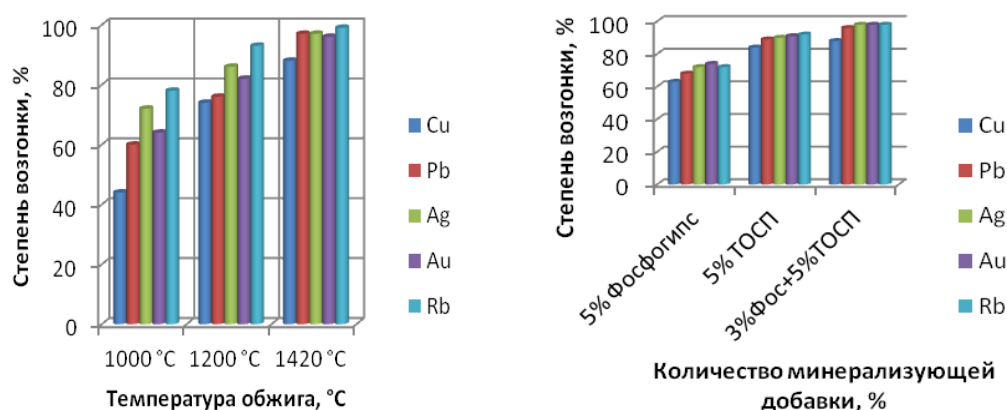


Рис.6. Зависимость количества извлекаемых металлов при синтезе цементного клинкера с КН=0,89 и n-2,38 на основе отхода МОФ а) $T_{обж}$ -1000-1420 при τ - 20 мин., и добавке 3%фос-са+4%ТОСП; от б) примененной добавки и $T_{обж}$ -1400 °С и τ - 20 мин

В ходе экспериментов установлена прямая зависимость возгонки ряда металлов при синтезе цементных клинкеров, от количества и состава добавок, температуры и времени обжига. Оптимальное количество совместной добавки отходов, для максимального извлечения металлов: Cu, Pb, Au, Ag, Rb, Se, Tl, Cd, составило 2-5% фосфогипса или ТОСП, но лучшие результаты получены при совместном их использовании в количестве 3-4%. При оптимальной температуре и времени обжига, которые составляют $T_{обж}$ -1400 °С и τ - 20-30 минут, с количеством добавленных отходов 3%фосфогипса и 4% ТОСП извлекается 94-97% металлов, и лишь

количество извлеченной меди составляло 88-89%. Следует отметить, что влияние добавок на процесс возгонки указанных хлорируемых металлов избирательно, ряд металлов содержащихся в отходах оказались не подвержены влиянию этих интенсификаторов.

Была изучена зависимость указанных выше технологических факторов и на процесс возгонки металлов в сырьевых силикатных смесях при получении пористого материала, и установлено, что оптимальной является T обжига 1110-1130 °С и время выдержки 20-30 мин (рис.7).

Возгонка металлов оказалась возможна благодаря интенсифицирующему влиянию твердого отхода содового производства содержащего в своем минералогическом составе 12-16% CaCl_2 , 8-12% NaCl и 15-18% NaOH и фосфогипса состоящего на 97% из $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

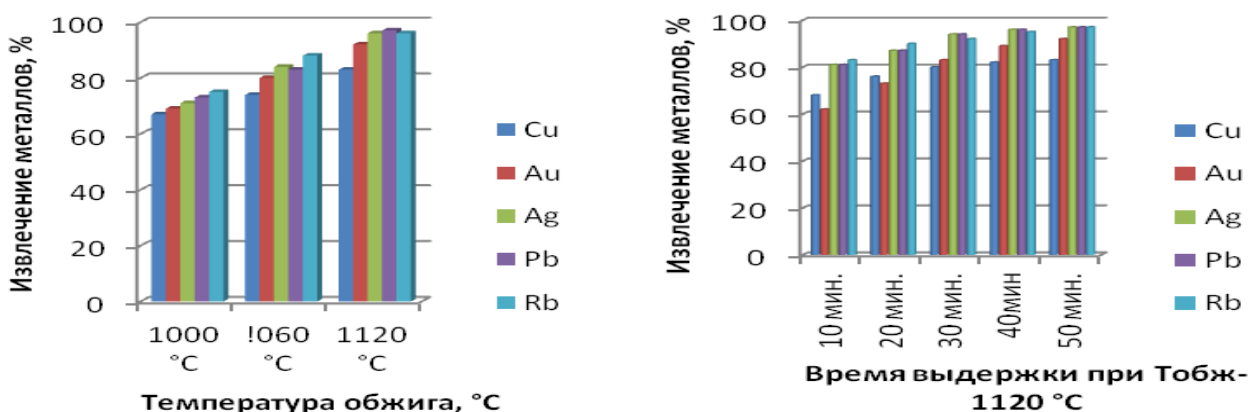


Рис.7. Зависимость количества возгоняемых металлов при синтезе пористого материала на основе отхода МОФ и добавке 30% фосфогипса+25% ТОСП от

а) $T_{\text{обж}}$ при t - 20 мин.; от б) времени обжига при $T_{\text{обж}}$ -1120 °С

Поэтому было необходимо методом математического моделирования изучить их влияние на термодинамику и кинетику процесса хлорирования и возгонку хлоридов металлов из сырьевых смесей портландцементного клинкера и пористого материала. С применением уравнений Аррениуса и Колмогорова, установлены зависимости константы скорости K происходящих при этом химических реакций хлорирования от температуры и времени обжига:

$$k(T) = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

Уравнения являются основными уравнениями химической кинетики, а энергия активации – важной количественной характеристикой реакционной способности веществ.

Обработка результатов показала, зависимость степени извлечения металлов от температуры и времени обжига, так повышение температуры обжига существенно влияет на скорость процесса возгонки металлов, если для смеси с отходом МОФ при температуре обжига 1000 °С $K_{\text{ср}} = 2,65 - 8,68 \cdot 10^{-2}$ соответственно для меди $K_{\text{ср}} = 2,65 \cdot 10^{-2}$ а для рубидия $K_{\text{ср}} = 8,68 \cdot 10^{-2}$, то при температуре обжига 1400 °С скорость возгонки всех металлов возрастает в десятки раз до $K_{\text{ср}} = 1,15 - 1,78 \cdot 10^{-1}$, а для смесей с отходом СОФ

при температуре обжига $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ $K_{\text{ср}}=3,95 \cdot 10^{-3}$ для кадмия а для рубидия $K_{\text{ср}}=2,65 \cdot 10^{-2}$, при изменении температуры обжига $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость возгонки всех металлов возрастает в десятки раз до $K_{\text{ср}}=1,27 - 1,48 \cdot 10^{-1}$.

По рассчитанной Δa процесса возгонки металлов можно судить в какой области происходит процесс возгонки того или иного из изучаемых металлов. Параллельное сравнение результатов математических и графических методов расчета энергии активации возгонки металлов при обжиге цементной сырьевой смеси на основе отхода МОФ с совместной добавкой 4%ТОСП и 3%фосфогипса, позволило выяснить, что процесс возгонки лимитируется диффузионной областью для рубидия и таллия; для золота $\Delta a= 40,325$ кДж / (моль·град) и серебра $\Delta a= 37,375$ кДж / (моль·град) процесс проходит в переходной области, а для возгонки свинца $\Delta a= 57,326$ кДж / (моль·град) и меди $\Delta a= 61,234$ кДж / (моль·град) процесс лимитируется кинетической областью прохождения реакций.

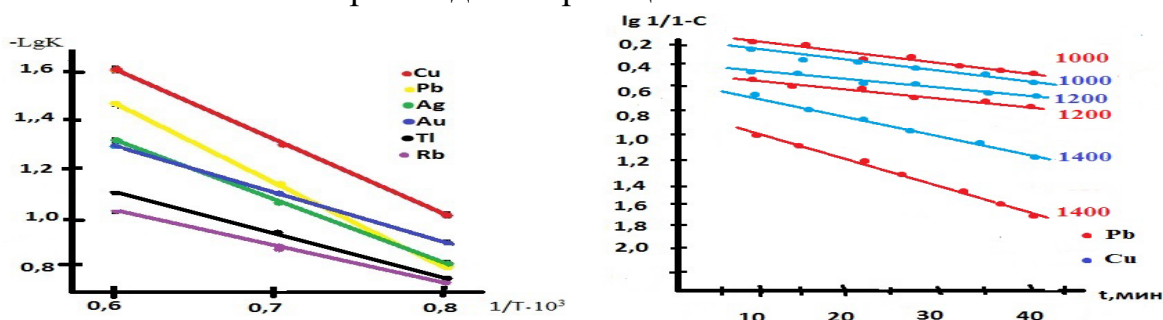


Рис.8. Возгонки металлов из цементной смеси на основе МОФ:
а) Зависимость $\lg K$ от обратной абсолютной температуры;
б) Зависимость $\lg 1/1-G$ от времени и температуры обжига, при возгонке Cu и Pb

Результаты экспериментальных исследований возгонки металлов из цементной смеси на основе МОФ, отражены графически, как зависимость $\lg k$ от $1/T$ (рис.8а.), экспериментальные точки при этом хорошо ложатся в виде прямых линий, а по тангенсу угла наклона этих кривых, определены эмпирические энергии активации, которые совпадают по величинам с рассчитанными значениями математическим путем по разности констант скорости при разных температурах обжига.

Кинетические кривые процесса возгонки в цементных смесях хорошо описываются уравнением первого порядка Ерофеева- Колмогорова:

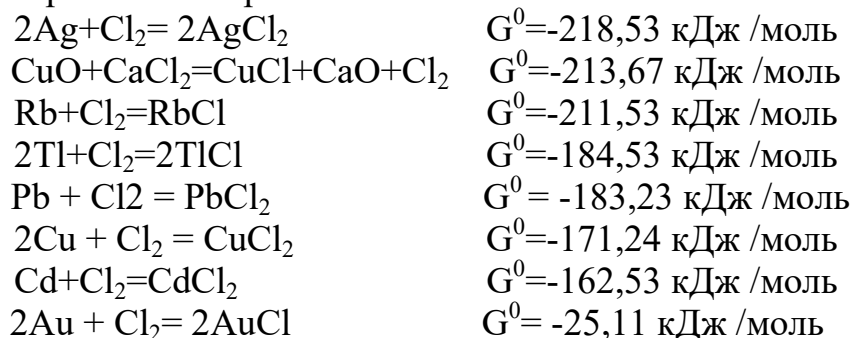
$$dG/dt = k(1 - G),$$

На графике зависимости $\lg 1/(1 - G)$ от времени, после преобразования уравнения Колмогорова-Ерофеева (рис.8б) полученные кинетические кривые хорошо линеаризуются и отражают зависимость логарифма извлеченных меди и свинца от времени обжига, при изменении температуры обжига от $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полученные прямые имеют отрицательный наклон, равный $k / 2,303$, исходя из обработки этих кривых, были рассчитаны значения констант скоростей в исследуемом интервале температур.

Термодинамический подход имеет чрезвычайно важное значение при рассмотрении ряда процессов, в частности процессов в системе твердое –

жидкое – газ, соответствующим прохождению реакций хлорирования и возгонки металлов при синтезе изученных силикатных материалов.

Важнейшими термодинамическими характеристиками (функциями) описывающими процесс прохождения реакций являются энергия активации E_a , энергия Гиббса- ΔG^0 , энтропия- S^0 и энтальпия- ΔH^0 . Математической обработкой данных определены их величины для элементарных химических реакций хлорирования извлекаемых металлов при синтезе цементных клинкеров и пористых материалов:



В соответствии со значением стандартных энтальпии, энтропии и энергии Гиббса рассчитанными для соответствующих уравнений, установлена последовательность отношения к хлорированию металлов, возгоняемых в процессе синтеза цементного клинкера и пористого силикатного материала, в следующем порядке:



Анализ исследуемых реакций выявил, что при изменении температуры, энергия Гиббса изменяет знак, в реакциях при хлоридовозгонке Cu, Au- процесс является обратимым, в тоже время в реакциях хлорирования Pb, Ag, Rb, Cd, Tl знак энергии Гиббса при повышении температуры обжига не изменяется, а следовательно процесс этих реакций необратим (табл. 8).

Таблица 8

Рассчитанные термодинамические функции, описывающие химические реакции хлоридовозгонки извлекаемых металлов

Уравнение химической реакции	Энергия Гиббса, ΔG^0 , кДж/моль			Энергия активации, E_a		Энтропия, S^0 Дж/(мольК)	Энтальпия ΔH^0 кДж/моль
	Температура обжига, K^0						
	298	1393	1673	кДж/моль			
				1393	1673		
$Pb + Cl_2 = PbCl_2$	-183	-214	-222	60,5	57,3	-28,12	-175,41
$2Ag + Cl_2 = 2AgCl$	-218	-91,6	-58,6	74,7	37,3	-116,4	-253,25
$2Au + Cl_2 = 2AuCl$	-25,1	135,2	177,1	46,9	40,3	-147,43	-68,81
$Cu + Cl_2 = CuCl_2$	-171	-10,9	30,33	59,4	61,2	-147,91	-215,63
$CuO + CaCl_2 = CuCl + CaO + Cl_2$	-213	-234	-241	65,7	65,8	19,37	-208,21
$Rb + Cl_2 = RbCl$	-211	-157	-144	31,1	29,4	-49,63	-226,62
$2Tl + Cl_2 = 2TlCl$	-184	-359	-444	71,2	57,9	160,31	-136,82
$Cd + Cl_2 = CdCl_2$	-162	-50,2	-21,7	88,9	86,8	-104,98	-195,34

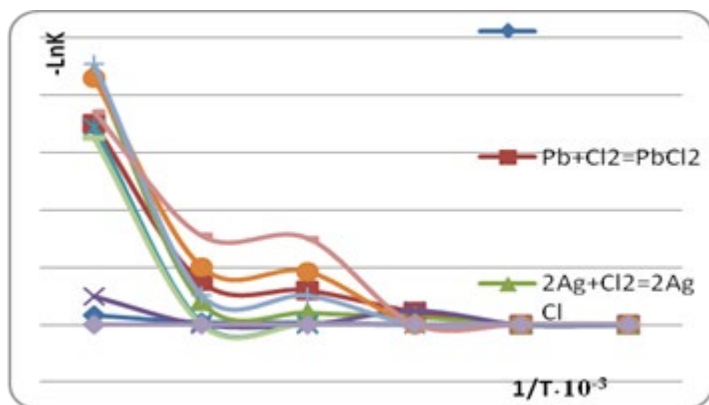


Рис.8 -Зависимость $\ln K$ равновесия химических реакций от обратной величины температуры обжига

Установлено, что скорость протекания, степень, а также селективность процесса возгонки металлов при синтезе силикатных материалов, определяются в основном температурой, продолжительностью процесса обжига, количеством добавляемых отходов, реакционной способностью металлов к связыванию в легколетучие соединения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении диссертационной работы получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Изучены химико-минералогические составы, физико-химических характеристик сырьевых и вторичных ресурсов, в частности Шавазайский известняк, флотоотходов свинцообогатительной (СОФ) и меднообогатительной (МОФ) фабрик Алмалыкского ГМК, фосфогипс СП «Алмалык-Максам» и твердый отход (ТОСП) Кунградского содового завода, а также синтезированных образцов на их основе с помощью современных физико-химических методов анализа и традиционных исследований силикатной технологии.

2. Впервые установлены особенности интенсифицирующего влияния использованных отходов фосфогипса и ТОСП на кинетику и механизм структурообразований кристаллических фаз клинкерных минералов с использованием флотоотходов МОФ и СОФ. Выявлено влияние проектированных составов и температуры обработки на фазовые превращения клинкерных минералов в сырьевых смесях в твердом состоянии. Показано влияние использованных отходов на повышение степени декарбонизации, минералообразование и снижение температуры завершения фазообразования на 50-70°C.

3. Установлены процессы кинетики и термодинамических явлений в портландцементных сырьевых шихтах с применением в качестве алюмосиликатного сырья отходов флотации МОФ и СОФ АГМК.

4. Показано, что комплексное использование отходов ТОСП и фосфогипса в составах сырьевых смесей интенсифицирует скорости процесса декарбонизации в 2 раза и снижает энергию активации от 160-165 кДж/моль до 140-145 кДж/ моль.

5. Обоснована возможности получения пористого силикатного материала с использованием в качестве основного сырьевого компонента флотоотходов МОФ и СОФ. Определено влияние состава компонентов сырьевой шихты и процессов обжига в интервале температур 1100-1200°C на механизм и кинетику процесса вспучивания и твердофазных превращений, происходящих при их спекании. Доказано, что использованные неорганические добавки, увеличивают температурный интервал вспучивания и снижают температуру завершения процесса спекания пористого материала на 30-50°C.

6. Установлено, что использованные неорганические отходы химической промышленности обладают ярко выраженным интенсифицирующим действием на возгонку остаточных металлов, содержащихся в сырьевых смесях портландцементного клинкера и пористого силикатного материала.

7. Вычислены методами математического и графического моделирования основные кинетические параметры и термодинамические характеристики процесса возгонки остаточных металлов, константы скорости, энергии активации и другие физико-химические характеристики, которые описывают происходящие процессы при высокотемпературном синтезе.

8. Разработаны составы сырьевых смесей с использованием нетрадиционных сырьевых материалов в качестве алюмосиликатного компонентов (флотоотходы МОФ и СОФ) и определены оптимальные количества добавки неорганических отходов, являющегося интенсификаторами клинкерообразования и спекания, а также возгонки извлекаемых остаточных металлов.

9. Показана реальная возможность разработки технологии получения пористого материала на основе флотоотходов АГМК и химической промышленности, с попутной возгонкой до 90-98% остаточных благородных, редкоземельных и цветных металлов, содержащихся в использованных сырьевых составах и предложена принципиальная технологическая схема получения пористого силикатного материала с попутной возгонкой остаточных металлов.

10. Показано, что полученные научные результаты могут быть использованы в качестве справочного материала по физико-химическому исследованию фазовых превращений и термодинамических процессов, происходящих при синтезе портландцементного клинкера с попутной возгонкой остаточных металлов на основе энерго- и ресурсосберегающей технологии их производства, которая способствует актуальным проблемам экономики и экологии.

**ON-TIME SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC
DEGREE DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 AT INSTITUTE OF
GENERAL AND INORGANICAL CHEMISTRY**

INSTITUTE OF GENERAL AND INORGANICAL CHEMISTRY

NIMCHIK ALEKSEY GRIGORYEVICH

**PHYSICO-CHEMICAL AND THERMODYNAMIC PROCESSES OF
USING SOLID WASTE AND THEIR INFLUENCE ON THE KINETICS OF
CLINKER FORMATION AND EMISSION OF RESIDUAL METALS**

02.00.15 - Technology of silicate and refractory non-metallic materials

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

Tashkent-2021

The dissertation subject of Doctor of Science (DSc) is registered at Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number B2020.4.DSc/K99B2020

Dissertation was carried out at the Institute of General and Inorganic Chemistry.
The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) is placed on web-page to address of the scientific council website ionx.uz and on the website of «ZiyoNet» Information and educational portal www.ziynet.uz.

Research supervisor:

Kadyrova Zulayho Raimovna
doctor of chemical sciences, professor

Official opponents:

Sharipov Xasan Turapovich
doctor of chemical sciences, professor

Yunusov Mirjalil Yusupovich
doctor of technical sciences, professor

Leading organization:

Talipov Nigmatulla Xamidovich
doctor of technical sciences
Almalyk branch of the National Research Technological University "MISIS"

The defense will take place 21 December 2021 at 14⁰⁰ o'clock at the meeting of on-time scientific Council No.DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 at General and Inorganic Chemistry Institute (Address: 100170, Tashkent city, Mirzo Ulug'bek district, Mirzo Ulug'bek street, 77-a. Tel.: (+99 871) 262-56-60, fax: (+99 871) 262-79-90, e-mail: ionxanruz@mail.ru.

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the General and Inorganic Chemistry, (is registered under № 20). Address: 100170, Tashkent city, Mirzo Ulug'bek street, 77-a. Tel./fax: (+99871) 262-56-60, (+99871) 262-79-90).

Abstract of dissertation sent out on 7 December 2021 y.
(mailing report №20 from 7 December 2021 y.)



B.S.Zakirov
Chairman of the on-time scientific Council awarding scientific degrees, doctor of chemical sciences, professor

D.S.Salikhanova
Chairman of the on-time scientific Council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

U.K.Akhmedov.
Chairman of scientific seminar at the on-time scientific Council awarding scientific degrees, doctor of chemical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

The aim of the research is to determine the physicochemical and thermodynamic processes of using solid waste and their effect on the kinetics of clinker formation and the sublimation of residual metals during the production of Portland cement clinker and porous silicate materials.

The objects of research are limestones of Shavazsai, kaolin of Angren deposits, flotation waste of copper and lead concentrating factories, slags after additional extraction of copper from Almalyk MMC, phosphogypsum "Ammophos-Maxam", solid waste from the Kungrad soda plant, as well as prototypes of cement clinker and silicate cement and silicate material.

The scientific novelty of the research is as follows:

the influence of phosphogypsum and solid waste of soda production on the mechanism and kinetics of mineral formation of Portland cement clinker with the use of flotation wastes has been determined;

the features of the intensifying effect of phosphogypsum and TOSP on the kinetics of phase transformations of Portland cement raw mixtures based on flotation wastes have been established;

the influence of inorganic additives on the increase in the degree of decarbonization and mineral formation, as well as a decrease in the temperature of the completion of phase formation by 50-70°C is shown;

for the first time substantiated the possibility of obtaining a porous silicate material using as the main raw material component of the flotation waste MOP with associated sublimation of non-ferrous metals;

revealed the influence of the composition of the components of the raw material charge and the processes of roasting on the mechanism of solid-phase transformations occurring during agglomeration;

the intensifying effect of inorganic wastes of the chemical industry on the sublimation of metals contained in the raw mixtures of Portland cement clinker and porous silicate material has been established;

the main kinetic and thermodynamic characteristics of the process of sublimation of metals, in particular the rate constants, activation energies and other thermodynamic characteristics describing the processes occurring during high-temperature synthesis, have been calculated by methods of mathematical modeling.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained on the study of physicochemical and thermodynamic processes of using solid waste and their influence on the kinetics of clinker formation, as well as the sublimation of residual metals, the following have been identified:

during the high-temperature synthesis of Portland cement clinkers and porous silicate material were used for comparative analysis in the applied project FA-A13-139 on the topic: "Energy and resource-saving technology of using waste from tungsten ore in the production additional cement" (Reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. 4/1255-2791 dated October 12, 2021). The results made it possible to obtain scientifically grounded fundamental

information on the physicochemical and thermodynamic processes of using solid waste and their influence on the kinetics of clinker formation and the sublimation of residual metals;

the developed composition for the production of Portland cement clinker using the flotation waste SOF and MOF is included in the “List of promising developments introduced at Akhangarancement JSC in 2022-2023”. (Reference of “Ahangarancement” JSC No. 1 / AGC-727 / 2-21 dated July 07, 2021). The result of the introduction of the developed compositions makes it possible to produce Portland cement clinker using AGMK's flotation waste;

the developed composition for the production of porous silicate material with the use of SOF and MOF flotation wastes is included in the “List of promising developments introduced in the Bekabad-ogneupor JV in 2022-2023”. (Reference JV “Bekabad-refractory” No.155 dated October 19, 2021). The result of the introduction of the developed compositions makes it possible to produce a porous silicate filler using flotation waste from AGMK and waste from the Kungrad soda plant.

The structure and volume of the thesis. The structure of the dissertation consists of an introduction, six chapters, conclusion, the list of references, applications. The volume of the dissertation is 190 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS
I бўлим (I часть; part I)

1. Nimchik A.G., Usmanov H.L., Kadyrova Z.R. Properties of clinkers and cements, obtained on the basis of flotation of waste of mining processing enterprises // European Science Review. -2018. -№9-10. -P.264-268. (05.00.00 №3)
2. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Изучение кинетики взаимодействий CaCO_3 с флотоотходами горнообогатительных производств в твердой фазе // Универсум. Химия и биология. -2019. - №8(62), -С. 37-40. (02.00.00 №2)
3. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Топокинетика процесса декарбонизации карбонатного компонента силикатных системах на основе кремнеземсодержащих флотоотходов // Универсум. Химия и биология. -2019.- №10(64), -С. 50-54. (02.00.00 №2)
4. Умаров Ф.Ш., Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Термографическое исследование процессов гидратации цемента с глинистыми сланцами // Универсум. Химия и биология.-2019. -№11(65), - С. 14-20. (02.00.00 №2)
5. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Физико-химические процессы получения аглопорита из производственных отходов Узбекистана // Универсум. Химия и биология. -2019. -№11(65),- С. 39-46. (02.00.00 №2)
6. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Изучение влияния отходов химической промышленности на возможность возгонки металлов в портландцементных сырьевых смесях // Универсум. Химия и биология. - 2020. -№2(68), -С. 62-67. (02.00.00 №2)
7. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Изучение влияния неорганических отходов на процесс декарбонизации в портландцементных смесях с использованием кремнеземсодержащих флотоотходов // Узбекский химический журнал, -2020, -№6, - С.41-46. (02.00.00 №6)
8. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Влияние щелочного отхода производства капролактама на физико-химические свойства портландцементного клинкера // Композиционные материалы. Ташкент. - 2020. -№6, -С.29-31. (02.00.00 №4)
9. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Изучение возможности получения пористого силикатного материала с использованием отходов горнообогатительных производств // Композиционные материалы. Ташкент. -2020. -№6, -С.106-109. (02.00.00 №4).
10. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Влияние отходов химических производств на процессы минералообразования в портландцементном клинкере. // Цемент и его применение. -М. -2020, -№3,- С. 96-99. (02.00.00 №29)

11. Nimchik A.G., Usmanov H.L., Kadyrova Z.R. Features of The Processes of Clinker Formation When Using Solid Waste From Caprolactic Production As A Mineralizer // International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis. -2021, -Vol.4. P.1695-1700. (CrossRef (35), SJIF (23))

II бўлим (II часть; part II)

12. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Рациональное использование флотационных отходов в производстве строительных материалов. / Труды XXII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова. «Проблемы геологии и освоения недр» Томск. -2018, -Том 2,-С. 459- 461.
13. Nimchik A.G., Usmanov H.L., Kadyrova Z.R. Waste from chemical industries in the production of cement clinker / Abstracts of IV Internarional Scientific and Practical Conference, «World Science: Problems, Prospects and Innovations», Toronto, -2020, P. 120-122.
14. Nimchik A.G., Usmanov H.L., Kadyrova Z.R. Study of possibility of extracting metals when obtaining porous silicate material / Abstracts of IV Internarional Scientific and Practical Conference, «World Science: Problems, Prospects and Innovations», Toronto, -2020, -P. 123-125.
15. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Термодинамические характеристики процесса возгонки металлов при обжиге портландцементного клинкера и аглопорита. /Abstracts of II Internarional Scientific and Practical Conference, «European Scientific Discussions» , Rome, -2020, P. 200-203.
16. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Ниязова Ш.М. Утилизация флотоотходов-перспектива улучшения экологии промышленных регионов. / Мавзусидаги республика илмий-амалий конференцияси «Фан, таълим ва ишлаб чикариш интеграцияси асосида архитектура-курилиш сохасини ривожлантириш муаммолари» Нукус, -2019. -С.93-95.
17. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л. Возможность производства портландцементного клинкера с использованием отходов химической и металлургической промышленности. “Mahalliy xomashyolar va ikkilamchi resurslar asosidagi innovatsion texnologiyalar” materiallar to’plami. Urganch, -2021-yil, 2-jild, - С. 208-210
18. Ниязова Ш.М., Хомидов Ф.Г., Нимчик А.Г., Усманов Х.Л. Физико-механические свойства цементов, содержащих флотоотходы/ Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. Шухова, Белгород. -2021, -С. 3102-3106.
19. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Процессы минералообразования в портландцементных клинкерах на основе флотационных отходов. «Иновацион курилиш материаллари ишлаб чикаришни ривожлантиришнинг долзарб муаммолари ва ечимлари» мавз. рес. онлайн анж. мат. тўплами. Тошкент, 2020, с. 46-48.
20. Нимчик А.Г. Получение и изучение свойств клинкеров и цементов на основе отходов горнообогатительных производств. «Иновацион

қурилиш материаллари ишлаб чиқаришни ривожлантиришнинг долзарб муаммолари ва ечимлари» мавз. рес. онлайн анж. мат. тўплами. Тошкент, 2020, с.248-249.

21. Нимчик А.Г., Усманов Х.Л., Кадырова З.Р. Интенсификация процесса фазообразования портландцементных смесей с использованием флотоотходов. “Result of modern scientific research and development” IX international scientific AND practical conference. Spain, 2021, P.159-161.

Авореферат «Ўзбекистон кимёси» журнали тахририятида тахрирдан
ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро
мувофиқлаштирилди.

Бичими: 84x60 1/16. «Times New Roman» гарнитураси.

Рақамли босма усулда босилди.

Шартли босма табоғи: 4. Адади 100. Буюртма № 70/21.

Гувоҳнома № 851684.

«Тирограф» МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.

Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.