

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

---

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ**

**РУЗИЕВ НЕМАТ РУЗИЕВИЧ**

**НООРГАНИК ТЕХНОГЕН ЧИҚИНДИЛАРДАН КОМПЛЕКС  
Фойдаланиб, сульфотемирли клинкерлар олишнинг  
ИЛМИЙ АСОСЛАРИ ВА ЭНЕРГИЯ-, РЕСУРС ТЕЖАМКОР  
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**02.00.13 – Ноорганик моддалар ва улар асосидаги материаллар технологияси  
02.00.15- Силикат ва қийин эрийдиган нometалл материаллар технологияси**

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

**Тошкент – 2021**

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

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

**Content of the abstract of dissertation doctor of science (DSc)**

**Рузиев Немат Рузиевич**

Ноорганик техноген чиқиндилардан комплекс фойдаланиб, сульфотемирли клинкерлар олишнинг илмий асослари ва энергияресурстежамкор технологиясини ишлаб чиқиш.....3

**Рузиев Немат Рузиевич**

Разработка научных основ энерго- и, ресурсосберегающей технологии получения сульфожелезистых клинкеров с комплексным использованием техногенных отходов неорганического происхождения..... 29

**Ruziyev Nemat Ruziyevich**

Development of scientific foundations and energy-resource-saving technologies for the production of composite materials for multifunctional purposes.....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**

**РУЗИЕВ НЕМАТ РУЗИЕВИЧ**

**НООРГАНИК ТЕХНОГЕН ЧИҚИНДИЛАРДАН КОМПЛЕКС  
Фойдаланиб, сульфотемирли клинкерлар олишнинг  
ИЛМИЙ АСОСЛАРИ ВА ЭНЕРГИЯ-, РЕСУРС ТЕЖАМКОР  
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**02.00.13 – Ноорганик моддалар ва улар асосидаги материаллар технологияси  
02.00.15- Силикат ва қийин эрийдиган нometалл материаллар технологияси**

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

**Тошкент – 2021**

Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.3.DSc/T451 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация ЎЗР ФА Умумий ва ноорганик кимё институтида бажарилган.  
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида [www.ionx.uz](http://www.ionx.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот-таълим порталида ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчилар:**

**Негматов Соғибжон Садыкович**  
техника фанлари доктори, профессор,  
Ўзбекистон Республикаси ФА академиги

**Искандарова Мастура**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оponentлар:**

**Сейтгазаров Атаназар Рейпназарович**  
техника фанлари доктори

**Реймов Ахмед Мамбеткаримович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Юнусов Миржалил Юсунович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:**

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

Диссертация химояси Умумий ва ноорганик кимё институти ҳузуридаги илмий даража берувчи DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 рақамли Илмий кенгашнинг «7» декабрь 2021 йил соат 10<sup>00</sup> да ўтадиган мажлисида бўлади (Манзил: 100170, Тошкент ш., М.Улугбек кўчаси 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60, факс (99871) 262-79-90, e-mail: [ionxanruz@mail.ru](mailto:ionxanruz@mail.ru)).

Диссертация билан Умумий ва ноорганик кимё институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (15 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100170, Тошкент ш., М.Улугбек кўчаси 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60, e-mail: [ionxanruz@mail.ru](mailto:ionxanruz@mail.ru)).

Диссертация автореферати 2021 йил «23» ноябрь куни тарқатилди.  
(2021 йил «23»ноябрдаги №15 рақамли реестр баённомаси



**Б.С. Закиров**  
Илмий даражалар берувчи бир марталик  
илмий кенгаш раиси, к.ф.д., проф.

**Д.С. Салиханова**  
илмий даражалар берувчи бир марталик  
илмий кенгаш котиби, т.ф.д., проф.

**Ш.С. Намазов**  
Илмий даражалар берувчи бир марталик  
илмий кенгаш котибдаги илмий семинар  
раиси ўринбосари, академик

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда қурилиш материаллари саноати, жумладан, цемент ишлаб чиқаришда энергия ва ресурстежамкор замонавий технологияларни жорий қилиш, паст ҳароратда қуйдириладиган махсус клинкерларни пишириш ва улар асосида юқори эксплуатация хоссаларига эга цементлар ишлаб чиқариш ва бу мақсадларда маълум даражада ишлов босқичидан ўтган иккиламчи минерал хомашёлардан фойдаланишга катта эътибор қаратилмоқда. Шу жиҳатдан цемент ишлаб чиқариш ҳажмини кўпайтириш қурилиш материаллари ишлаб чиқариш саноатининг устувор вазифаларидан биридир. Бу ўринда цемент сифатини яхшилаш ва технологик жараёнларни такомиллаштириш, маҳсулот таннархини арзонлаштириш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади.

Дунёда, ёқилғи-энергетика ресурслари баҳосининг, бинобарин цемент қийматининг доимий ортиб боришини инобатга олган ҳолда, паст ҳароратларда пишириб олинadиган клинкер ва улар асосидаги цементларни олиш тезимлари ишланмаларини тадқиқ этиш борасида илмий изланишлар олиб борилмоқда. Бу борада, таркибида пишириш ҳароратини пасайтиришга хизмат қиладиган қўшимчалари бор бўлган хомашёларни излаш ва уларни клинкер ишлаб чиқаришда қўллаш мумкинлигини текшириш, маълум даражада ишлов босқичидан ўтган металлургия, кимё, тоғ-кон маъданларини бойитиш саноатлари чиқиндиларидан клинкернинг пишириш ҳароратини пасайтиришдаги хусусиятларини ўрганиш, янги турдаги табиий ва техноген хомашёлар асосида паст ҳароратда қуйдириладиган клинкерларни олишнинг илмий ва технологик асосларини ишлаб чиқиш, янги таркибли махсус цементларнинг физик-механик, физик-кимёвий ва қурилиш-техник хусусиятларини аниқлашга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда қурилиш индустрияси ва бошқа саноат тармоқларининг жадал ривожланиши, қурилиш материаллари ва буюмлари, жумладан цемент ва цементбетон ишлаб чиқариш ҳажмининг ортиши, уларнинг сифат кўрсаткичларини яхшилаш ва таннархини пасайтириш бўйича муайян натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «ишлаб чиқариш соҳаларини ривожлантириш, саноатни модернизация ва диверсификация қилиш, амалиётда кам сарфли энергиятежамкор усулларни қўллаш, цемент ишлаб чиқариш саноатини ривожлантириш, импорт ўрнини алмаштирувчи ва экспортбоп маҳсулотларни тайёрлаш»<sup>1</sup> бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада, жумладан ноорганик чиқиндилари асосида сульфотемир клинкерлар олиш ва улардан фойдаланиб арзон ва юқори сифатли цементлар ишлаб чиқаришга йўналтирилган илмий-тадқиқотлар муҳим аҳамият касб этади.

---

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

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда бешта устувор йўналишлар бўйича ривожлантириш Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони ва 2018 йил 4 майдаги ПҚ-3696-сон «Цемент ички бозирини стабиллаштиришнинг қўшимча чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2019 йил 23 майдаги ПҚ-4335-сон «Қурилиш материаллари саноатини жадал ривожлантиришга оид қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги, 2020 йил 26-майдаги ПҚ-4731-сон «Олмалик КМК» АЖ фойдали қазилма конларида қимматбаҳо металллар ишлаб чиқаришни купайтиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг асосий устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технология ривожланишининг VII. «Кимё технологиялари ва нанотехнологиялар» устувор йўналишига мувофиқ ҳолда бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи<sup>2</sup>.**

Ноорганик саноат чиқиндилари асосида сульфотемир клинкерлар олиш технологияларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, шу жумладан Jamcem Consulting Cement Industry (Буюк Британия), CNBM Engineering Co Ltd (Хитой), Белгород давлат технологик университети, Россия кимё-технология университети ва Цемент илмий-изланиш институти (Россия), Жанубий Қозоғистон Давлат университети (Қозоғистон), Aslan Çimento AŞ (Турция), Gambarotta Gschwendt (Италия), Whitehopleman (Англия), CNBM Engineering Co Ltd (Хитой), Тошкент кимё-технология институти, Умумий ва ноорганик кимё институтларида (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Таркибида сульфоалюминат ва сульфоферрит минераллари бўлган паст ҳароратларда клинкер олишни такомиллаштиришга оид олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан қуйидаги илмий натижалар олинган: клинкер сифатини ва шу билан цемент хоссаларини яхшилашга йўналтирилган янги русумдаги жиҳозлар яратилган (CNBM Engineering Co Ltd, Хитой); электротермофосфорли тошқол миқдори юқори бўлган қўшимчали ва сульфатбардош цементлар ишлаб чиқариш технологиялари ишлаб чиқилган (Жанубий Қозоғистон Давлат университети, Қозоғистон); мустаҳкамлиги бўйича жаҳон стандартлари талабларига жавоб берувчи юқори маркали цементларнинг таркиблари ишлаб чиқилган («Евроцемент групп», Россия); юқори сифатли манзарали цементлар ишлаб чиқариш технологиялари такомиллаштирилган (Cement Manufacturers Association of

---

<sup>2</sup>Диссертация мавзуси бўйича чет эл илмий тадқиқотлари тавсифи <http://www.nist.gov>, [www.ukgu.kz/ru](http://www.ukgu.kz/ru), <http://www.cmaindia.org/>, [www.heidelbergcement.com/en](http://www.heidelbergcement.com/en), <https://cembureau.eu>, <https://www.muctr.ru>, [www.ultratech.com/](http://www.ultratech.com/), <https://www.susu.ru/ru>, <https://www.vdzone.de/>, [www.whitehopleman.com/](http://www.whitehopleman.com/), <https://www.dalmiabharat.com/>, [www.cnbmengineering.cm/](http://www.cnbmengineering.cm/), [www.gambarotta.it/](http://www.gambarotta.it/), [www.bwfgroup.de/](http://www.bwfgroup.de/), [www.sanghiment.com/](http://www.sanghiment.com/), [www.aslancimento.com.tr/](http://www.aslancimento.com.tr/) ва бошқа ҳаволалар.

India, Хиндистон); гибрид қўшимчали композицион цементлар ишлаб чиқарилган (Aslan Çimento AŞ, Туркия).

Дунёда цемент саноатини янада ривожлантириш бўйича қатор, жумладан қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: табиий хомашё ресурсларини тежаш, ишлаб чиқаришга минерал техноген чиқиндиларни қамраб олиш, клинкерни куйдириш ҳароратини пасайтириш орқали энергия ва ресурстежамкорликни таъминлаш, ишлаб чиқариш хажмини ошириш, таннархни пасайтириш, махсус цемент турлари технологияларини ўзлаштириш.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Сульфоминерал таркибли клинкерларни паст ҳароратларда олиш технологиясини яратишда бир қатор олимлар, хусусан, В.К. Классен, Б.Э. Юдович, В.В.Тимашев, Т.В. Кузнецова, В.К Ларионов, А.П. Осокин, И.П. Зозуля, С.А. Зубехин, Ю.Р. Кривобородов, С.Л.Литвер, Л.В.Никитина, З.Б.Энтин (Россия), S.R.Tan, A.J. Howard, I.D. Birchall (Буюк Британия), В.Л. Иваницкий, Е.Т. Бережненко (Украина), Т.А. Атакузиев, М.И. Искандарова, С.А.Ходжаев, Д.К.Адилов, А.Мусурманкулов (Ўзбекистон), Н.В.Ротыч, Б.Т. Ассакунова (Қирғизистон), W. Kurdowsri, С.М. George, F.R. Sorrentino (Бразилия) ва бошқалар ўз илмий тадқиқотлар олиб борганлар.

Олиб борилган илмий тадқиқотлар натижасида сульфоферрит клинкер ва крентлар олишнинг хомашё базаси кенгайтирилган; цемент тошидаги «кристалл марказлари»ни ҳосил қилиш жараёни такомиллаштирилган, юқори мустаҳкамликка, совуққа ва атмосфера таъсирига чидамли цементларнинг таркиби аниқланган, сульфатбардош, кенгаювчи ва зўриқувчи цементларнинг оптимал турлари ишлаб чиқилган; қўшимчали цементлар ишлаб чиқаришда вулқон тоғ жинсларидан фаол минерал қўшимча сифатида қўлланилиши таклиф этилган.

Шу билан бирга, сульфоферрит клинкер ва улар асосида махсус цементларни олиш бўйича: пўлат эритиш тошқоллари асосида олинган клинкерларнинг муқобил параметрлари аниқлаш; сульфатли хомашёларни паст ҳароратларда куйдиришда ҳосил бўладиган сульфоклинкерларнинг янги таркиблари аниқлаш; сульфоалюминат, сульфоферрит ва сульфосиликатларнинг сульфоцементлар гидратацияси ва қотиши жараёнидаги ўзаро таъсир механизми илмий асослаш; газбетон ва газблоклар учун юқори маркали цементларнинг структурасини аниқлаш; янги турдаги композицион цементлар ишлаб чиқаришнинг кам босқичли ва энергиятежамкор технологиясини ишлаб чиқиш юрасида илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилаётган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Умумий ноорганик кимё институти илмий - тадқиқот ишлари режасига мувофиқ №Ф-3.16 «Сульфоалюминат - сульфоферрит, сульфоферрит - сульфосиликат, сульфоалюминат – сульфосиликат - сульфоферрит» системалари гидратацияси, фазавий боғланишлар механизми ва структура ҳосил қилиш жараёнларини тадқиқ қилиш асосида паст

ҳароратли сульфотемирцементлар олиш технологиясини яратиш; №ИТД-13-050 «Қурилиш, кимё ва бойитиш саноати чиқиндиларини комплекс қайта ишлатиш орқали цемент олишнинг энерго- ва ресурстежамкор технологияси» ва №ИК-09-08/2 «Олмалиқ КМК мис эритиш ва рух ишлаб чиқариш ва «Аммофос-Максам» АЖ чиқиндиларини паст ҳароратли коррозиябардош цементларга комплекс қайта ишлашни ишлаб чиқиш ва ўзлаштириш» мавзуларидаги амалий ва инновацион лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** кон - металлургия ва кимё саноати чиқиндиларидан комплекс фойдаланиб сульфоалюмотемир (САТ) клинкерлар ва улар асосидаги кўп функционал композицион боғловчи материалларни яратишнинг илмий асослари ва технологиясини яратишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

кальций сульфоферрит минералини синтез қилиш, гидратация жараёнида унинг фазавий таркиби ва структурасини тадқиқ қилиш;

икки компонентли  $C_4A_3\check{S}-C_4F_3\check{S}$  системаси гидратациясида ўзаро таъсир жараёнларини, гидратация жараёнида минерал ташкил этувчилари нисбатига қараб янги ҳосилалар, сульфоалюминат-сульфоферрит композитлари структурасининг шаклланиши ва унинг физик-механик хусусиятларини ўрганиш;

икки компонентли  $C_5S_2\check{S}-C_4F_3\check{S}$  системаси гидратациясида ўзаро таъсир жараёнларини, гидратация жараёнида минерал ташкил этувчилари нисбатига қараб янги ҳосилалар, сульфоферрит-сульфосиликат композитлари структурасининг шаклланиши ва унинг физик-механик хусусиятларини ўрганиш;

уч компонентли  $C_4A_3\check{S}-C_4F_3\check{S}-C_5S_2\check{S}$  системасида борадиган гидратация жараёнларини ўрганиш ва юқори мустаҳкамликга эга сульфо-алюмо-темирли композит шаклланиши қонуниятларини ўрнатиш;

$C_4A_3\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$  ва  $C_5S_2\check{S}$  минералларининг оптимал нисбатларини башорат қилиш хулосаларини бериш ва сульфо-алюмо-темирли клинкерларни синтез қилишда хомашё композициялари таркибларининг амалий тавсияларини ишлаб чиқиш;

янги хомашёлар асосидаги композицияларининг реакцияга киришишга мойиллигини ўрганиш, минераллар ҳосил бўлишининг ўзига ҳос томонларини, кимёвий-технологик параметрларини, жараённинг оптимал ҳароратини ва САТ клинкерлари структурасини куйдиришдаги шаклланиши аниқлаш;

паст ҳароратларда олинадиган САТ клинкерлари асосидаги цементлар физик-механик хусусиятларини аниқлаш ва маҳаллий табиий ва техноген хомашё ресурсларини қўллаб уларни олишнинг амалий тавсиялари ва меъёрий базасини яратиш;

портландцемент асосида САТ клинкер билан модификацияланган композицияли боғловчиларнинг самарали таркибларини ишлаб чиқиш ва уларнинг қурилиш-техник хусусиятларини ўрганиш;

саноатда паст ҳароратли САТ клинкери ва улар асосидаги цементларнинг тажриба-синов партиясини чиқариш ва синовдан ўтказиш;



махаллий минерал техноген чиқиндилардан комплекс фойдаланиб САТ клинкерлари ва улардан кўп функционал композицион боғловчи материалларни ишлаб чиқаришнинг экологик, технологик ва иқтисодий самарадорлигини асослаб бериш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$  ва  $C_5S_2\check{S}$  ларнинг турли нисбатларда олинган икки ва уч компонентли сульфоминерал композициялари, қўйи асосли сулфоалюмотемир хомашё композициялари, уларни паст ҳароратларда куйдиришдан олинган клинкерлар ва улар асосидаги кўп функционал композицияли боғловчи материаллар олинган.

**Тадқиқотнинг предмети**ни икки ва уч компонентли  $C_4A_3\check{S}$ - $C_4F_3\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$ - $C_5S_2\check{S}$ ,  $C_4A_3\check{S}$ - $C_4F_3\check{S}$ - $C_5S_2\check{S}$  системалар гидратациясида сульфоминерал композитлар ҳосил бўлиш билан борадиган минералларнинг ўзаро таъсир жараёнлари, сулфоалюмотемирли хомашё композицияларни паст ҳароратларда куйдиришда ўринли бўлган физик - кимёвий ўзгаришларнинг ўзига хос томонлари, паст ҳароратларда олинадиган САТ клинкерлари асосидаги цементлар гидратацияси ва қотишидан ҳосил бўлган конгломерат структурасининг шаклланиш гинезиси, ҳамда САТ клинкерлари билан модификацияланган портландцемент асосидаги кўп функционал композитларнинг шаклланиши ташкил этган.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишини бажаришда стандартлаштирилган физик-механик (ГОСТ 310.1-76, ГОСТ 310.4-85) ва физик-кимёвий (рентгенофазавий-ДРОН-2 дифрактометрида, ИК-спектрлар-«Spekord 75iR» спектрофотометрида, ДТА-МОМ фирмасининг Q-1500 дериватографида, электрон парамагнит резонанси-«Radiopon» фирмасининг SE/2543 радио-спектрофотометрида, минераллар ва цементных композитлар микроструктураси-ЭМВ-100БР электрон микроскопида ва SEM 255 M/EDAX 9900 сканирловчи электрон микроскопида) таҳлил усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

кальций сульфоферрит  $C_4F_3\check{S}$  гидротацияси ва структура ҳосил қилиш жараёнларини комплекс таҳлили орқали унинг мустаҳкамлиги ва янги ҳосилаларнинг морфологияси орасидаги боғлиқликлар илмий асосланган;

илк бор икки ва уч компонентли минерал системаларда шаклланаётган сульфоминерал композитларнинг мустаҳкамлик кўрсаткичларига турли комбинация ва нисбатларда олинган сулфоалюминат ( $C_4A_3\check{S}$ ), сульфосиликат ( $C_5S_2\check{S}$ ) ва сульфоферрит ( $C_4F_3\check{S}$ ) ларнинг ўзаро таъсир жараёнлари боғлиқликлари исботланган;

икки ва уч компонентли минерал системаларда турли комбинация ва нисбатларда олинган  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_5S_2\check{S}$   $C_4F_3\check{S}$  минералларининг гидратация жараёнини физик-кимёвий таҳлили асосида биринчи мартаба сулфоалюмотемирли клинкерларни олиш технологиясининг илмий асослари ишлаб чиқилган;

сулфоалюмотемирли хомашё композицияларини куйдириш жараёнида минераллар ҳосил бўлишининг кетма-кетлиги натижасида икки кальцийли феррит ( $C_2F$ ) нинг ҳосил бўлиши  $800^\circ\text{C}$  ҳароратда бошланиб,  $1100^\circ\text{C}$  да  $C_4F_3\check{S}$

нинг ҳосил бўлиб 1200-1250 °C ҳароратда  $C_2F$ ,  $C_2S$ ,  $SO_2$  ва  $CaO$  ларга парчаланиши исботланган;

САТ цементларнинг мустаҳкамлик кўрсаткичлари хомашё композитларининг ТК ва  $n_s$  кўрсаткичларига боғлиқликлари ТК=0,667 бўлганида 1200°C да куйдирилган клинкер асосидаги цементнинг мустаҳкамлиги ТК=0,8 бўлган клинкердан олинган цементнинг мустаҳкамлигидан юқори бўлиши,  $n_s$  кўрсаткичининг ортиши билан цемент тошининг гидравлик активлиги «400» ва «500» маркагача ортиб бориши асосланган;

портландцемент гидратация жараёнида САТ цементлар билан легирланиши йўли орқали юқори мустаҳкам, совуқ ва атмосфера ўзгаришлари таъсирига бардошли, кенгаювчи ва зўриқувчи хусусиятларга эга кўп функционал композит боғловчи материалларни олишнинг илмий асослари ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

хомашё сифатида кимё, металлургия ва қурилиш соҳалари чиқиндиларини комплекс қайта ишлаш орқали паст ҳароратларда олинадиган энергия ва ресерстежамкор САТ клинкерларни олиш технологияси яратилган;

САТ клинкери ва улар асосидаги табиий гипс тошини қотиш даврини бошқаришда қўлламайдиган цементларни олиш технологик тизими ишлаб чиқилган;

ЁЭР ларни иқтисод қилишни таъминлайдиган ва куйдириш печлари ва цемент тегирмонлари қувватини оширадиган, оддий портландцемент клинкерини куйдириш ҳароратидан 250-300 °C паст ҳароратларда пишираладиган САТ клинкерларини ишлаб чиқаришнинг энергиятежамкор омиллари исботланган;

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** олинган натижалар замонавий тадқиқот усулларини қўллаш билан асосланган ва тажриба-саноат синовлари билан тасдиқланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти икки ва уч компонентли сульфоминерал системалар гидротацияси жараёнида  $C_4F_3\check{S}$ ,  $C_4A_3\check{S}$  ва  $C_5S_2\check{S}$  ларнинг ўзаро боғлиқлик қонуниятлари аниқланганлиги, паст ҳароратли САТ клинкерларни сульфотемир хомашё композицияларнинг турли ТК ва  $n_s$  қийматларида юқоридаги минералларнинг оптимал комбинация ва нисбатларини тадқиқ қилиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти портландцемент клинкерини куйдириш ҳароратидан 250-300°C паст ҳароратларда пишираладиган САТ клинкерларини ишлаб чиқаришнинг технологияси ишлаб чиқилганлиги, хомашё сифатида кимё, металлургия ва қурилиш соҳалари чиқиндиларини комплекс қайта ишлатилиши, иссиқлик элтгичлари сарфининг 25-30% га камайтирилиши, куйдириш печлари ва цемент тегирмонлари қувватининг оширилиши ва 400-500 маркали махсус цементларни олишга хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Паст ҳароратли САТ клинкерларни ва улар асосидаги цементлар технологиясини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

сульфотемирли цемент олиш учун техник шарти «Ўзстандарт» агентлиги тамонидан тасдиқланган (Ts №00193350:2001). Мазкур техник шарт маҳсулотнинг сифати ва технологик жараёни назорат қилиш имконини берган;

САТ клинкери ва унинг асосидаги гипс қўшилмайдиган цементлар ишлаб чиқаришнинг паст ҳароратли технологияси «Олмалиқ кон металлургия комбинати» АЖнинг Жиззах цемент заводи бўлимида амалиётга жорий этилган («Олмалиқ КМК» АЖнинг 2021 йил 19 августдаги АА-006890-сон маълумотномаси). Натижада, клинкер куйдириш ҳароратини 300°С га камайтириш, табиий гипс тошинининг 100%, ёқилғи-энергетика ресурсларининг 25-30% иқтисодини таъминлаш имконини берган;

сульфоалюмотемирли цемент олиш технологияси «Навоий КМК» АЖнинг нинг «2022-2023 йилларда амалиётга жорий этиш бўйича истиқболли ишланмалар рўйхати»га киритилган («Навоий КМК» АЖ нинг 2021 йил 14 сентябрдаги № 03-02-11/8921-сонли маълумотномаси) Натижада, сульфотемирли цементлар тез қотувчанлиги, мустаҳкамлиги ва сув ўтказмайдиган цемент олиш бериш имконини беради.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 32 та республика, 9 та халқаро илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 52 та илмий иш чоп этилган. шундан 1 монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 10 та илмий мақола, жумладан, 8 та республика ва 2 та хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, етита боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 210 бетни ташкил этган.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида диссертация тадқиқотларининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, Ўзбекистон Республикасида фан ва технологиялар тараққиёти-нинг устувор йўналишларига мослиги, тадқиқотларнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, шунингдек, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий қилинганлиги, чоп этилган илмий ишлар ва диссертациянинг тузилиши ва ҳажми бўйича маълумотлар келтирилган.

**Диссертациянинг биринчи «Сульфферрит композицияли материалларни яратиш ва технологиясини ривожлантириш муаммоларининг ҳозирги ҳолати»** номли бобида кальций сульфферрит, унинг асосидаги клинкер, цемент ва композицияли боғловчилар синтези ва хусусиятлари ўрганиш борасидаги илмий-техник адабиёт ва патентлар шархи келтирилган.

Кўп фазали  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4$  ва  $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4$  системаларида термик ишлов беришда амалга ошадиган минерал ҳосил қилиш жараёнларининг ўзига ҳос томонларини тадқиқ қилиш борасидаги изланишларнинг аналитик таҳлили, бу борада бир қанча қарама-қарши фикрларнинг мавжуд эканлигини кўрсатди. Бир қанча муаллифларнинг фикрича, бу системаларга термик ишлов бериш натижасида ферритлар ва сульфалюминат ва кальций ферритнинг қаттиқ эритмалари ҳосил бўлади, сульфферрит умуман ҳосил бўлмайди. Бошқалари эса,  $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4$  системасида  $1100\text{-}1150^\circ\text{C}$  да сульфферрит ҳосил бўлишини таъкидлайдилар. Барча тадқиқотчиларнинг фикри фақат бир борада мос келади, яъни сульфалюминат клинкерларидаги кальций сульфферрит гидратациясининг маҳсули гидросульфферрит, гексогонал кальций гидроферрит ва темир оксиди гидрати эканлигида. Махсус адабиётларда  $\text{C}_4\text{F}_3\checkmark$  ва  $\text{C}_4\text{A}_3\checkmark$  учун алоҳида, ҳамда  $\text{C}_4\text{F}_3\checkmark$  с  $\text{C}_3\text{S}$  ва  $\text{C}_2\text{S}$  аралашмалари, ёки уларнинг кальций сульфалюмоферрит суюқланмасидан ҳосил бўлган қаттиқ эритмалари гидратация жараёнларига оид маълумотлар ёритилган.

**«Тадқиқот объекти ва усуллари танилашнинг асослари»** деб номланган иккинчи бобда объект характеристикаси, тадқиқот олиб боришнинг кимёвий, физик-кимёвий ва физик-механик усуллари ва ускуналари ёритилган. Тадқиқот объекти сифатида икки ва уч компонентла сульфминерал системаларида турли комбинация ва нисбатларда олинган сульфминераллар:  $\text{C}_4\text{A}_3\checkmark$  сульфалюминат,  $\text{C}_4\text{F}_3\checkmark$  сульфферрит,  $\text{C}_5\text{S}_2\checkmark$  кальций сульфосиликат, паст ҳароратда куйдириладиган сульфотемирли хомашёлар аралашмаси, улар асосидаги клинкерлар, цементлар ва оддий портландцемент клинкерини паст ҳароратларда куйдириладиган сульфотемирли цементлар (САТ) билан модификациялаб олинган кўп функционал композицияли боғловчи материаллар ҳизмат қилади.

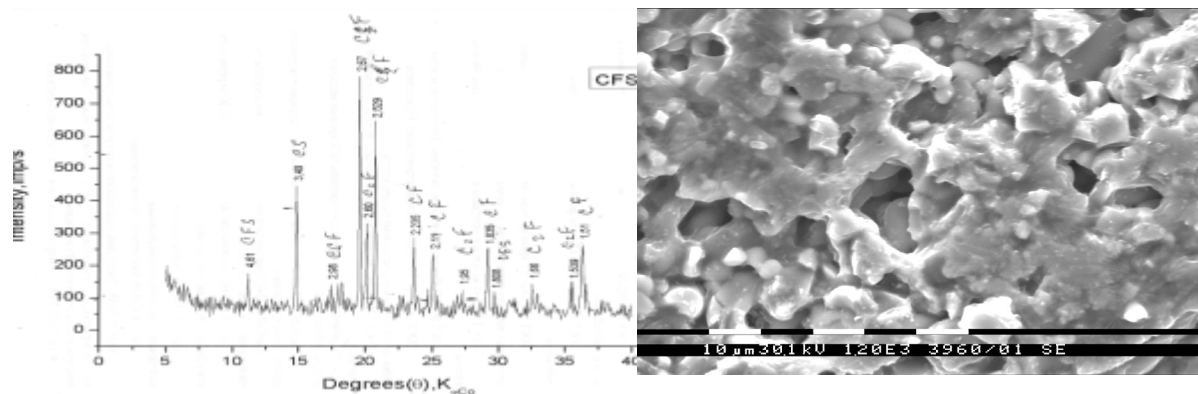
Паст ҳароратларда куйдириладиган САТ цементлар ва улар асосидаги композицияли боғловчиларни олиш технологияси яратишда бошланғич хомашё материаллари сифатида Кутермин ва Оҳангарон оҳактоши, «Олмалиқ КМК» АЖ нинг оҳак заводида ҳосил бўладиган оҳактошни саралаш чиқиндилари, Чимкўрғон кони гематит маъданлари, «Олмалиқ КМК» АЖ нинг чиқинди майдони тошқоли (ОЧМТ) ва мис эритиш тошқолларини (МЭТ) қайта ишлаш чиқиндилари, «Аммофос-Максам» АЖ фосфогипси, флюорит кумлари (1-жадвал) дан фойдаланилган. Сульфминераллар синтези силит печларида тоза кимёвий реактивларни ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) куйдириш ( $\text{C}_4\text{A}_3\checkmark\text{-}1300^\circ\text{C}$ ,  $\text{C}_5\text{S}_2\checkmark\text{-}1250^\circ\text{C}$ ,  $\text{C}_4\text{F}_3\checkmark\text{-}1200^\circ\text{C}$ ) орқали амалга оширилган.

## Хомашё материалларининг кимёвий таркиби

| Материал           | Миқдори, мас. %  |                                |                                |      |      |                  |                               |                 |      |
|--------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------------------------------|-----------------|------|
|                    | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | CaO  | R <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | ппп  |
| Оҳактош            | 3,54             | 1,54                           | 0,44                           | 1,60 | 50,4 | 0,33             | -                             | 0,1             | 42,0 |
| Фосфогипс          | 14,1             | 1,11                           | 0,69                           | 2,15 | 27,3 | 0,3              | 1,7                           | 35,3            | 17,4 |
| Гематит маъдани    | 40,5             | 7,04                           | 38,45                          | 0,73 | 3,17 | 2,36             | -                             | 1,54            | 6,8  |
| ОЧМТ               | 17,0             | 2,15                           | 71,14                          | 1,48 | 1,36 | 1,18             | -                             | 4,98            | -    |
| МЭТ                | 36,5             | 7,68                           | 48,07                          | 0,29 | 2,76 | 2,51             | -                             | 0,92            | 0,1  |
| Сараланган оҳактош | 6,58             | 2,50                           | 1,15                           | 0,80 | 48,7 | 0,36             | -                             | 0,33            | 39,5 |

Сульфоалюотемирли хомашё аралашмаларини куйдириш жараёнининг яқунланганлиги ва минераллар ҳосил бўлиши рентгенофазавий тадқиқ усули орқали назорат қилинган. Намуналар мустаҳкамлиги тамонлари ўлчами 1,41 см таркиби 1:0 бўлган кичик куб намуналарда аниқланган. Сульфотемирли хомашё композициялари таркиби ва улар асосидаги клинкерларнинг минералогик таркибини ҳисоблаш Т.А.Отақўзиев томонидан яратилган методика асосида, аввалдан берилган  $TK=0,667$ ;  $0,80$  ва  $n_s=1,0$ ;  $1,5$ ;  $2,0$  қийматларда амалга оширилган. Цементларнинг физик-механик кўрсаткичлари ГОСТ 310.1-76-310.3-76 ва ГОСТ 310.4-85 талабларига мувофиқ аниқланган. Сульфоминерал композициялар, клинкерлар ва цемент композицияларининг фазавий таркиблари рентгенофазавий, ДТА, ИК-спектроскопик ва электрон-микроскопик усуллар билан ўрганилган.

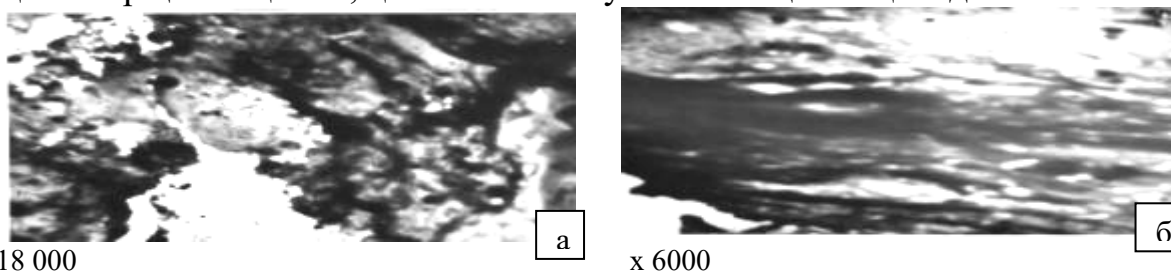
« $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$ ,  $C_5S_2\check{S}$ лардан ташкил топган сульфоминерал композицияларнинг гидратация боғлиқлари қонуниятларини ўрганиш орқали янги кам энергия талаб этувчи сульфаттаркибли цементлар технологиясининг илмий асосини яратиш» деб номланган учинчи бобда кальций сульфоферрит минерали ва унинг турли хил нисбатларда сульфоалюминат ва сульфосиликат композицияларида температура турғунлиги, физик - механик ва физик-кимёвий хусусиятлари ва уларнинг ўзаро турли морфологик кўрсаткичли сульфоминерал композициялар ҳосил бўлишини аниқлаш бўйича ўтказилган изланишлар натижалари келтирилган. Ўтказилган изланишлар натижасида паст ҳароратларда куйдириладиган сульфотемир клинкерлар олиш технологиясининг илмий асосларига оид, паст ҳароратларда сульфоалюотемир клинкерларни синтез қилиш мумкинлигини,  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_5S_2\check{S}$  ва  $C_4F_3\check{S}$  минералларининг қаттиқ эритма ҳолида эмас, балки автоном ҳолатда турғун ҳосил бўлишини изоҳловчи бир қатор боғлиқлик қонуниятлари аниқланган.  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  ҳароратда синтез қилинган сувсиз  $C_4F_3\check{S}$  дифрактограммасида унинг асосий  $d/n=(0,348; 0,265; 0,256; 0,252; 0,222\text{ nm})$  чизиқлари аниқланган (1-расм). Намуна синиқлари юзасининг рельефи қаватли-блок тузилишли эриган юзали шаклсиз масса кўринишида намоён бўлади. Орасида сирпаниш жўякли, йирик донали айрим худудлар ҳам кузатилади.  $C_4F_3\check{S}$  нинг айрим доналари турли хил йўналишга эга, қаватларда жойлашган блок кўринишидига четлари ноаниқ узун призмалардан иборат катта доналар ҳам учрайди.



**1-расм. 1150 °C ҳароратда синтез қилинган сувсиз  $C_4F_3S$  дифрактограммаси ва намуна синиқлари юзасининг электрон микросурати**

Гидратация активлиги бўйича  $C_4F_3S$ ,  $C_4A_3S$  ва  $C_5S_2S$  оралиғида ётади: унинг гидратация даражаси  $C_4A_3S$  га нисбатан 1,5 баробар суств ва  $C_5S_2S$  га нисбатан 4-5 баробар юқори.  $C_4F_3S$  гидратация даражасининг  $C_5S_2S$  га нисбатан суств эканлигини рентгенофазавий таҳлил натижалари ҳам тасдиқлайди: 28 кун ва 3 ой давомида сувда қотирилган  $C_4F_3S$  да кальций гидросульфферритдан ташқари дастлабки минералнинг ниҳоятда интенсив чизиқлари кузатилади, аммо шу давр ичида гидратланган  $C_4A_3S$  нинг интенсив чизиқлари ниҳоятда паст кўрсаткичга эга. Қотиш вақтининг узайиши билан  $C_4F_3S$  нинг гидратация даражаси ортиб боради, натижада қатламли ва поғонали кристалланадиган эттрингитнинг темирли аналоги миқдори ортиб боради.  $C_4F_3S$  нинг текис юзаси сув билан таъсирланиши натижасида бўқади, доналар орасидаги боғлиқлар бузилади ва 3 суткага бориб сфероид, юлдузча, бант ва бошқа шаклли, палахса тузилишли майда янги ҳосиллалар бўкган массадан кристаллана бошлайди (2-расм).

Айрим худудларда улар маълум йўналишга эга ва қотирилган минерал юзасида такрорланувчи кристалл структура ҳосил қиладилар. 3 ой мобайнида ушбу янги ҳосилалар ўлчамлари ва ҳажми катталашиб, бир-бирига киришиб ва қаватлар ҳосил қилиб, қаватли-блок тузилишни ҳосил қилади.



**2-расм. 3 сут (а) ва 28 сут (б) гидратланган  $C_4F_3S$  намуна синиғи рельефи**

Кристаллараро бўшлиқда ғоваклик ичига йўналган игнасимон ва толасимон кальций сульфферрит кристалларининг эркин ўсиши кузатилади, ғовакликларни тўлдириб ва зичлаштириб,  $C_4F_3S$  асосидаги сунъий конгломерат мустаҳкамлигини оширади. Ана шу маълумотларга асосланган ҳолда  $C_4F_3S$  нинг гидратация жараёнига ижобий таъсири, « $C_4A_3S + C_4F_3S$ », « $C_4F_3S + C_5S_2S$ » ва « $C_4A_3S + C_4F_3S + C_5S_2S$ » асосидаги сульфминерал композитлар қотишининг узок даврларида, айниқса улар асосида олинадиган ком-

позицияли боғловчи материалларнинг ишончли ишлатилишини таъминлашда муҳим бўлган, тузилишининг шаклланиши ва мустахкамлиги ортиши мумкинлиги башорат қилинди. Ушбу илмий гипотезани асослаш мақсадида икки ( $C_4A_3\check{S} + C_4F_3\check{S}$ », « $C_4F_3\check{S} + C_5S_2\check{S}$ ») ва уч компонентли (« $C_4A_3\check{S} + C_4F_3\check{S} + C_5S_2\check{S}$ ») система минералларининг гидратациясида ўзаро физик-кимёвий жараёнлар боришини тадқиқ қилиш бўйича изланишлар олиб борилди.

Тадқиқотларни олиб бориш учун қўйидаги нисбатдаги механик аралашмалар тузилди: (5÷40)%  $C_4A_3\check{S}$ , (95÷60) %  $C_4F_3\check{S}$ . Аниқланишича, таркибга 10-50%  $C_4A_3\check{S}$  киритилса,  $C_4F_3\check{S}$  нинг қотиш жараёни бошланғич ҳамда кейинги узоқ даврларда ҳам тезлашар экан. Намуналар мустахкамлиги,  $C_4A_3\check{S}$  миқдорига қараб, (1; 3; 7 и 28) суткада мос равишда  $C_4A_3\check{S}$  мустахкамлигидан (14÷100; 20÷140; 77÷255; 0÷143) % ва  $C_4F_3\check{S}$  мустахкамлигидан (77÷ 211; 80÷260; 119÷326; 47÷258) % юқори. Қотишнинг кейинги даврида (6 ой) бу кўрсаткичлар ҳам юқори ва  $C_4F_3\check{S}$  мустахкамлигидан (54-188) % зиёдрок, аммо  $C_4A_3\check{S}$  мустахкамлигига тенг ёки пастроқ (2-жадвал).

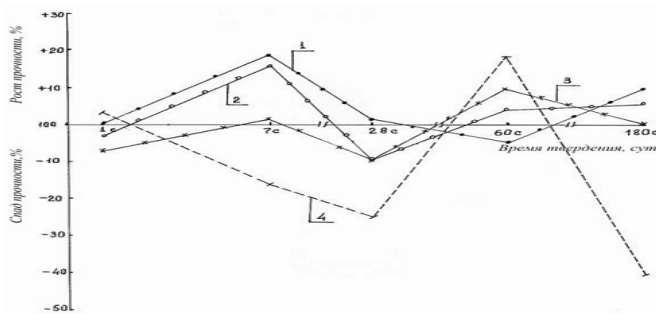
## 2-жадвал

### $C_4F_3\hat{S}$ мустахкамлик кўрсаткичларига $C_4A_3\hat{S}$ нинг таъсири

| Композиция таркиби, мас. % |                   | Сиқилишдаги мустахкамлик чегараси, МПа,сут. |    |    |    |    |     |
|----------------------------|-------------------|---|----|----|----|----|-----|
| $C_4A_3\check{S}$          | $C_4F_3\check{S}$ | 1   | 3  | 7  | 28 | 60 | 180 |
| 100                        | 0                 | 14  | 15 | 18 | 28 | 66 | 75  |
| 0                          | 100               | 9   | 10 | 15 | 19 | 28 | 26  |
| 5                          | 95                | 10  | 14 | 24 | 26 | 32 | 27  |
| 10                         | 90                | 16  | 18 | 32 | 28 | 38 | 40  |
| 20                         | 80                | 18  | 21 | 45 | 45 | 46 | 48  |
| 30                         | 70                | 20  | 32 | 53 | 35 | 42 | 48  |
| 40                         | 60                | 22  | 29 | 40 | 53 | 59 | 57  |
| 50                         | 50                | 28  | 36 | 64 | 68 | 69 | 75  |

$C_4F_3\check{S}$  миқдорининг ортиши  $C_4A_3\check{S}$  гидратацияси жараёнини секинлаштиришга олиб келади. Ушбу сульфоконпозиция қотишида микроструктура шаклланиши  $C_4A_3\check{S}$  қотишига ҳос қонуниятларга бўйсунди ва сульфоминерал заррачалири юзасига пастки қаватлардаги моддаларни чиқиши билан бо-ради. Шу билан бирга, гидратланаётган « $C_4A_3\check{S}+C_4F_3\check{S}+H_2O$ » системасининг асосий кристалл маҳсулотлари сульфоалюмотемир композит кристалл каркас скелет тузилишини ташкил этувчи паст ва юқорисульфат кальций гидросульфоалюминатлари ва уларнинг темирли ўрин алмашган аналоглари ҳисобланади.

$C_5S_2\check{S}$  таркибига 20%  $C_4F_3\check{S}$  киритилса, 28 суткагача бўлган даврда қотиш жараёнининг бирмунча пасайишига қарамай, қотишнинг кейинги даврларида намуналар мустахкамлигининг ортишига ижобий таъсир кўрсатади: таркибига 10-50%  $C_4F_3\check{S}$  бўлган 2 ойлик композиция мустахкамлиги тоза  $C_5S_2\check{S}$  мустахкамлигидан 3-17% юқори. 6 ойга келиб, таркибига 5-20%  $C_4F_3\check{S}$  бўлган композиция мустахкамлиги  $C_5S_2\check{S}$  мустахкамлиги 3-9% юқори (3-расм).  $C_4F_3\check{S}$  миқдорининг 30-50% гача кўтарилиши 6 ойдан сўнг  $C_5S_2\check{S}$  мустахкамлигини 24-49% га камайтиради.



**3-расм.  $C_5S_2\hat{S}$  мустахкамлигига нисбатан  $C_4F_3\hat{S}+C_5S_2\hat{S}$  композициясининг қотишида мустахкамлик ўзгариши**

Таркиблар:  $C_4F_3\hat{S}+C_5S_2\hat{S}$ , (мас. %):  
 1) 5+95; 2) 10+90; 3) 20+80; 4) 30+70

« $C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}+H_2O$ » системасида  $C_4F_3\check{S}$  қотиш жараёнини фаоллаштирувчи ва  $C_5S_2\check{S}$  нинг мустахкамлиги оширувчи сифатида намоён бўлади:  $C_4F_3\check{S}$  миқдорига қараб, ушбу композициянинг гидратация жараёни тоза  $C_5S_2\check{S}$  га нисбатан 1,1-1,5 баробар юқори. Сув билан таъсирлашганида кальций гидросульфферрит ва гидросиликатлар кристалланишини таъминловчи юқори структура ҳосил қилувчи хусусиятни намоён қилади: сув билан таъсирланиши биланок думалок  $C_5S_2\hat{S}$  доналари ва шаклсиз  $C_4F_3\hat{S}$  доналари бўкади ва 1 суткада дастлабки доналар юзасида ўлчамлари ўсиб борувчи майда бўртмалар ҳосил бўлади. 3 суткага бориб гидратация жараёни композициянинг қуйи қатламларигача боради, натижада, бўртмалардан ўсиб чиқадиган янги ҳосилалар ўлчамлари катталашиб, палахса тузилишли кристалл агрегатлари ташкил бўлади. Доналар бузилиб, кристаллар бири-бирида эрий бошлайди ва минерал композитнинг гидросиликат ва гидросульфферрит структураси шаклланади. Гидратация даврининг ортиши билан композиция доналари юзасининг тузилиши жиддий ўзгаришларга учрайди. Гидратациянинг 7 суткасига келиб, композициянинг янги қатламлари жараёнда иштирок эта бошлайди, бундан доналар ва гидратация маҳсулотлари юзасида талайгина янги бўртмалар пайдо бўлганлиги далолат беради (4-расм). Параллел жараёнларнинг бориши, яъни гидратация маҳсулотларининг пайдо бўлиши ва янги кристалл ҳосилаларнинг ўсиши, сульфферрит-силикат композитлар гидрат структурасининг зичланиши ва мустахкамланишига олиб келади.



**4-расм. 7 сут қотирилган сульфферрит ва сульфосиликат минерал композиция намунаси синиғи рельефи**

$C_4A_3\check{S}+C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$  сульфминерал композицияси қотиш тезлиги бўйича бошланғич даврда  $C_4A_3\check{S}$  ва  $C_4F_3\check{S}$  оралиғини эгаллайди (3-жадвал).

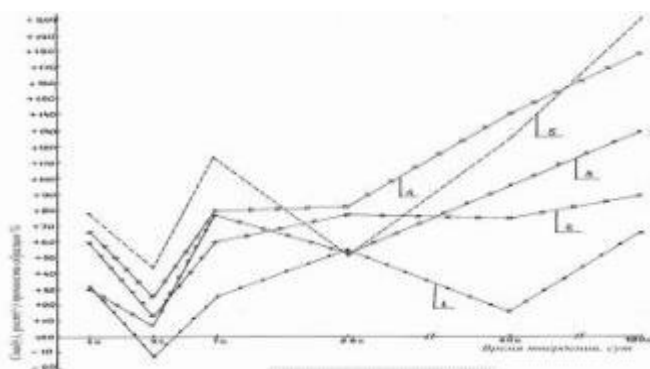


**$C_4A_3\check{S}$  -  $C_4F_3\check{S}$  -  $C_5S_2\check{S}$  сульфоконпозиция мустахкамлигининг  
сульфоминерал тури ва миқдориға боғлиқлиги**

| Композиция таркиби, мас.% |                   |                   | Сиқилишдаги мустахкамлик чегараси, МПа,<br>сут. |      |      |      |      |      |
|---------------------------|-------------------|-------------------|---|------|------|------|------|------|
| $C_4A_3\check{S}$         | $C_4F_3\check{S}$ | $C_5S_2\check{S}$ | 1   | 3    | 7    | 28   | 60   | 180  |
| 100                       | -                 | -                 | 14,0  | 15,0 | 18,0 | 28,0 | 66,0 | 75,0 |
| -                         | 100               | -                 | 9,0   | 10,0 | 15,0 | 19,0 | 28,0 | 26,0 |
| -                         | -                 | 100               | 12,0  | 12,0 | 16,0 | 22,0 | 25,0 | 56,0 |
| 5                         | 15                | 80                | 11,8  | 12,8 | 22,1 | 29,2 | 31,9 | 42,5 |
| 5                         | 25                | 70                | 14,2  | 16,6 | 23,8 | 33,2 | 47,9 | 48,6 |
| 5                         | 35                | 60                | 14,8  | 18,4 | 26,4 | 28,8 | 53,3 | 59,2 |
| 5                         | 45                | 50                | 11,4  | 15,6 | 27,8 | 32,1 | 58,2 | 69,8 |
| 10                        | 20                | 70                | 11,7  | 15,9 | 26,6 | 34,2 | 66,6 | 72,2 |
| 20                        | 30                | 50                | 11,0  | 16,1 | 28,2 | 36,8 | 55,9 | 74,6 |
| 20                        | 40                | 40                | 15,9  | 21,3 | 31,9 | 38,6 | 63,0 | 78,2 |
| 20                        | 50                | 30                | 15,9  | 21,3 | 26,6 | 34,8 | 68,0 | 78,8 |

7 суткага қадар қотиш жараёни тезлиги ва мустахкамликнинг ўсиши ортиб боради ва аралашмадаги минералларнинг нисбатига боғлиқ ҳолда 28 суткалик мустахкамликнинг  $C_4A_3\check{S}$  га нисбатан 3-32%;  $C_5S_2\check{S}$  га нисбатан 32-75,5%;  $C_4F_3\check{S}$  га нисбатан 50,5-169% юқорилиги билан характерланади. Ана шундай юқори кўрсаткичларни ушбу композициялар  $C_4F_3\check{S}$  и  $C_5S_2\check{S}$  га нисбатан 6 ойдан кейин ҳам намоён қилади,  $C_4A_3\check{S}$  га нисбатан эса миқдори кам ҳолларда мустахкамликнинг пасайиши кузатилади. Юқори мустахкамлик кўрсаткичларини  $C_4A_3\check{S}:C_4F_3\check{S}:C_5S_2\check{S}=1:2:2$  ва  $1:2,5:1,5$  нисбатли композициялар намоён қилади ва улар оптимал деб қабул қилинган (5-расм).

Таркибида  $C_4A_3\check{S}+C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$  бўлган сульфоконпозицияларнинг гидравлик активлиги тоза  $C_4F_3\check{S}$  ва  $C_5S_2\check{S}$  ларга нисбатан юқорирок. Бу системаларда қотиш жараёнининг дастлабки даврида сувни бириктириш  $C_4A_3\check{S}$  гидратациясидагига нисбатан сустроқ боради. 3 ва 7 суткага келиб жараён тезлашиб, гидратация маҳсулотлари  $C_4A_3\check{S}$  гидратациясидаги каби миқдордаги сувни бириктиради. 28 суткадан бошлаб, « $C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$ » композицияларининг қотиш жараёнида боғланган сув миқдори тоза  $C_4A_3\check{S}$  намуналарининг қотишида боғланган сув миқдориға нисбатан 6,0-8,3% га камаяди (4-жадвал).



**5-расм.  $C_4F_3\check{S}$  мустахкамлигига нисбатан  $C_4A_3\check{S}+C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$  минерал композиция қотишида мустахкамлигининг ўзгариши**

Таркиблар:  $C_4A_3\check{S}+C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$

(мас,%): 1) 5+15+80; 2) 5+25+70;

3) 5+35+60; 4) 10+20+70; 5) 20+40+40

**Гидратланган сульфоалюмотемир минерал композицияларда боғланган сув миқдори**

| Компонентлар нисбати, мас. % |                   |                   | Боғланган сув миқдори, % |      |      |       |       |
|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|------|------|-------|-------|
| $C_4A_3\check{S}$            | $C_4F_3\check{S}$ | $C_5S_2\check{S}$ | 1сут                     | 3сут | 7сут | 28сут | 90сут |
| 100                          | -                 | -                 | 11,8                     | 22,2 | 25,8 | 28,8  | 31,5  |
| -                            | 100               | -                 | 6,2                      | 14,6 | 16,6 | 20,4  | 25,8  |
| -                            | -                 | 100               | 2,2                      | 2,4  | 2,8  | 5,3   | 18,2  |
| 10                           | 20                | 70                | 12,0                     | 15,7 | 17,5 | 19,4  | 21,3  |
| 20                           | 30                | 50                | 10,7                     | 15,4 | 17,5 | 15,9  | 19,2  |
| 20                           | 40                | 40                | 10,8                     | 15,5 | 18,1 | 21,5  | 19,7  |
| 20                           | 50                | 30                | 10,9                     | 14,5 | 17,2 | 21,3  | 20,8  |

Рентгенофаза ва ИК-спектроскопия таҳлиллари натижасида  $C_4A_3\check{S}$ - $C_4F_3\check{S}$ - $C_5S_2\check{S}$ - $H_2O$  композицияси гидратациясининг бошланғич даврида асосий маҳсулот  $C_4A_3\check{S}$  ва  $C_4F_3\check{S}$  гидратларининг моносулфат шакли, портландит ва икки молекулали гипс эканлиги, 3 сутка ва кейинги даврга келиб эттрингит, унинг темир билан ўрин алмашган аналоги ва кальций гидросулфосиликатлари эканлиги аниқланган. Сульфоалюмотемир минерал композицияларининг гидратацияси босқичли бориши туфайли янги ҳосилалар кристалланиши кетма-кет бориб, узоқ вақт давомида уларнинг ўсиши ва бир-бирида эриши натижасида сульфоалюмотемир композитлари структурасининг зичлашиб бориши ва мустахкамлигининг ортишига олиб келади ва уларнинг мустахкамлиги айрим ҳолларда  $C_4A_3\check{S}$  кабилар мустахкамлигидан юқори бўлади.

Сульфоалюмотемир системалари гидратациясида микроструктура шаклланиши ва мустахкам сунъий конгломерат ҳосил бўлиши жараёнларини тадқиқ қилиш натижалари энергиятежамкор хомашё композициялар таркиблари ва САТ цемент ишлаб чиқариш технологиясини яратиш учун, реакцион хусусиятлари юқори бўлганлиги уфайли энергиятежамкорликни таъминловчи ва юқори сифатли клинкерларни нисбатан паст ҳароратларда (1150-1200 °С) ишлаб чиқариш, улар асосида анъанавий портландцементдан қолишмайдиган ва қурилиш-техник кўрсаткичлари бўйича ундан юқори бўлган цементлар олишда етарли даражада илмий база бўлиб хизмат қилади.

**«Махаллий табиий минераллар ва техноген хом-ашё ресурслари асосида сульфоалюмотемир клинкерлар ва цементлар олишининг энергиятежамкор технолгоиясини яратиш»** деб номланган тўртинчи бобда, уч хил сульфоминерал таркибли сульфокомпозициялар моделларининг физик-механик ва физик-кимёвий хусусиятларини таҳлил қилиш натижаларига асосланиб, турли хил махаллий табиий ва техноген материаллар асосидаги хомашё таркиблари ҳисоблаб чиқилган. Уларни паст ҳароратларда куйдириш орқали асосий минераллари кальций сульфоалюминат, сульфосиликат ва сульфферрит бўлган клинкерлар синтез қилинган. Паст ҳароратларда синтез қилинадиган сульфоалюмотемир (САТ) клинкерлари хомашё композициялари оҳактош, фосфогипс ва темир рудаси асосида  $TK=0,667$  ва  $0,8$ ;  $n_s=1,0$ ;  $1,5$ ;  $2,0$  учун ҳисобланган. Хомашё композицияларида  $TK$  ва  $n_s$  кўрсаткичларига қараб темир рудаси миқдори  $14,32-23,78\%$  ни, фосфогипс миқдори

16,16-33,68%ни, оҳактош миқдори 50,03-62,84%ни ташкил этади. Ушбу ҳомашё композициялари таркибида 13,14%гача  $Fe_2O_3$  ва 20,4 % гача  $SO_3$  мавжуд.

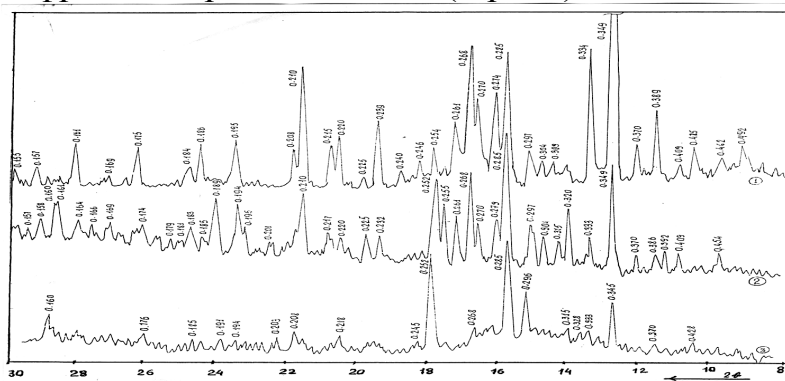
TK=0,667 ва 0,8 бўлган клинкерларда  $C_4A_3\check{S}$  ва  $C_4F_3\check{S}$  миқдори деярли фарқланмайди, аммо  $C_5S_2\check{S}$  миқдори бўйича катта фарқланади. TK=0,667 бўлганида  $C_5S_2\check{S}$  миқдори TK=0,8 бўлганидагидан 3-4% га кўпроқ.  $n_s$  катталашгани сари  $CaSO_4$  миқдори ортиб боради. Унинг САТ клинкерлари таркибдаги миқдори TK=0,8 бўлганида TK=0,667 дагидан юқорироқ (5-жадвал).

### 5-жадвал

#### Фосфогипс ва темир рудаси асосидаги САТ клинкерларининг ҳисобланган минералогик таркиби

| Кўрсаткичлар |       | Минераллар миқдори, мас.% |                   |                        |               |
|--------------|-------|---------------------------|-------------------|------------------------|---------------|
| TK           | $n_s$ | $C_4A_3\check{S}$         | $C_4F_3\check{S}$ | $C_5S_2\check{S}+C_2S$ | $CaSO_4$ орт. |
| 0,667        | 1,0   | 7,36                      | 19,55             | 73,0                   | 0,9           |
|              | 1,5   | 6,30                      | 17,76             | 68,72                  | 7,24          |
|              | 2,0   | 5,46                      | 14,53             | 63,44                  | 16,57         |
| 0,80         | 1,0   | 7,08                      | 19,53             | 70,12                  | 3,27          |
|              | 1,5   | 6,16                      | 16,11             | 64,60                  | 12,13         |
|              | 2,0   | 5,39                      | 13,14             | 59,80                  | 27,67         |

САТ ҳомашё композицияларини куйдириш жараёнида  $CaCO_3$  диссоциацияси ва компонентларнинг ўзаро таъсирланиши  $CaO_{эркин}$  ни тўлиқ боғлаш билан жадал боради ва минералларнинг ҳосил бўлиш жараёни 1150-1200 °C ҳароратда яқунланади. 700 °C ҳароратда куйдирилган, TK=0,667 ва  $n_s=1,0$  бўлган САТ ҳомашё композициялари дифрактограммаларида асосан бошланғич ҳомашё компонентлардаги минералларнинг интенсив дифракциялари аниқланган (6-расм).



6-расм. Куйдирилган TK=0,667 ва  $n_s=1,0$  бўлган САТ ҳомашё композициялари дифрактограммалари

$T_{куйд}$ , °C: 1000 (1); 1100 (2); 1200 (3).

Интенсивлиги катта бўлмаган  $d/n=(0,240$  ва  $0,269$  nm) чизиклар  $CaO$  ва  $C_2F$  ҳосил бўлиши билан  $CaCO_3$  нинг парчаланиши бошланганлигидан далолат беради. (800-900)°C ҳароратда  $CaO$  ҳосил бўла бошлайди  $d/n=(0,401$ ;  $0,282$ ;  $0,258$ ;  $0,256$  nm) чизиклари.  $CaCO_3$  нинг  $CaO_{эркин}$  ажралиши билан борадиган тўлиқ диссоциацияси ва унинг сульфотемир ҳомашё аралашмасидаги темирли, сульфатли ва алюминатли ташкил этувчилар билан бирикиши 1100 °C да боради, бундан дифрактограммаларда кальцит, ангидрит, гематит, геленитга ҳос чизикларнинг бўлмаслиги ва  $C_4F_3\check{S}$   $d/n=(0,268$ ;  $0,254$ ;  $0,188$  nm),  $C_5S_2$  ( $d/n=0,453$ ;  $0,346$ ;  $0,333$ ;  $0,331$ ;  $0,282$ ;  $0,260$  nm) ва  $C_4A_3\check{S}$   $d/n=0,374$  nm га ҳос интенсив дифракция чизикларининг пайдо

бўлиши далолат беради. Ҳароратнинг  $1200^{\circ}\text{C}$  гача кўтарилиши минералларнинг интенсивлик чизиқларини оширади.  $1200^{\circ}\text{C}$  дан юқори ҳароратларда  $\text{C}_4\text{F}_3\hat{\text{S}}$  ва  $\text{C}_5\text{S}_2\hat{\text{S}}$  қисман  $\text{C}_2\text{F}$ ,  $\text{C}\hat{\text{S}}$  ва  $\text{C}_2\text{S}$  ларгача парчаланеди. Минераллар ҳосил бўлишининг худди шундай тенденцияси  $\text{TK}=0,80$  ва  $n_s=1,0$  бўлган САТ ҳомашё аралашмаларини куйдиришда ҳам кузатилади.



**7-расм. САТ клинкерлари юзаси микросуратлари,  $\times 5300$**

Таркиб:  $\text{KH}=0,667$  ва  $n_s=1,0$  (а); 1,5 (б); 2,0 (в).  $T_{\text{куйд}}=1200^{\circ}\text{C}$

САТ клинкерлари синиқларининг рельеф тузилиши, аралашма  $\text{TK}$  ва  $n_s$  кўрсаткичларига боғлиқ ҳолда, ғоваклилик даражаси турлича бўлиши билан тавсифланади. Клинкер доналари юзасининг аксарияти эриган бўлиб, муайян геометрик шаклга эга эмас. Уларнинг  $\text{C}_4\text{F}_3\hat{\text{S}}$ ,  $\text{C}_2\text{F}$  ва  $\text{C}_5\text{S}_2\hat{\text{S}}$  ларга мансублиги эҳтимоли катта (7-расм). Ушбу доналар орасидаги бўшлиқликларда  $\text{C}_2\text{S}$  и  $\text{C}_4\text{A}_3\hat{\text{S}}$  ларга мансуб думалоқ шаклли доналар жойлашган. Ғовакликлар пайдо бўлишига кальций сульфат диссоциациясида  $\text{SO}_3$  нинг ажралиши, клинкернинг сульфоферрит ва сульфосиликат ташкил этувчиларининг  $1200^{\circ}\text{C}$  ҳароратда парчаланиши сабаб бўлиб, сульфоалмотемир ҳомашё аралашмаларини куйдириш ҳароратини яна  $50^{\circ}\text{C}$  га пасайтириш имкони борлигини кўрсатади.

САТ цементларнинг мустаҳкамлиги клинкернинг  $\text{TK}$ ,  $n_s$  кўрсаткичи ва куйдириш ҳароратига тўғри пропорционалдир:  $1200^{\circ}\text{C}$  ҳароратда  $\text{TK}=0,067$ ;  $n_s=1,5$  ва 2,0 шароитда синтез қилинган цементлар  $n_s=1,0$  шароитидагига нисбатан юқорироқ мустаҳкамликни намоён қилади (6-жадвал).

**6-жадвал**

**$1200^{\circ}\text{C}$  ҳароратда синтез қилинган клинкерлар асосидаги САТ цементларнинг физик-механик кўрсаткичлари (1,41x1,41x1,41cm ўлчамли кублар, таркиби 1:0)**

| Кўрсаткичлар |       | Тишланиш даври, соат-мин |       | Сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси, МПа, (сут): |      |      |              |       |
|--------------|-------|--------------------------|-------|--|------|------|--------------|-------|
| TK           | $n_s$ | боши                     | охири | 1  | 3    | 7    | 28           | 90    |
| 0,667        | 1,0   | 0-58                     | 1-56  | 8,4  | 20,0 | 38,0 | 72,0         | 102,0 |
|              | 1,5   | 1-10                     | 1-59  | 10,2   | 28,0 | 44,0 | <b>95,0</b>  | 108,0 |
|              | 2,0   | 1-42                     | 2-02  | 14,2   | 29,0 | 54,0 | <b>122,0</b> | 142,0 |
| 0,80         | 1,0   | 1-08                     | 1-58  | 8,2  | 16,0 | 30,0 | 58,0         | 84,0  |
|              | 1,5   | 1-42                     | 2-05  | 8,8  | 22,0 | 34,0 | 71,0         | 98,0  |
|              | 2,0   | 1-46                     | 2-05  | 9,6  | 26,0 | 40,0 | <b>92,0</b>  | 116,0 |
| ПЦ-0,92      |       | 2-53                     | 6-02  | 9,8  | 21,9 | 31,6 | 66,1         | 78,0  |

Шу билан бирга уларнинг мустаҳкамлиги анъанавий портландцемент (ПЦ) га нисбатан 35-85% юқори.  $\text{TK}$  нинг 0,8 гача кўтарилиши САТ цемент мустаҳкамлигини пасайтиради, айниқса  $n_s=1,0$  бўлганида,  $n_s=1,5$  ва 2,0

бўлганида  $TK=0,667$  бўлган САТ цемент мустахкамлигидан паст бўлишига қарамай, 3 суткадан 3 ой гача ораликда оддий ПЦ мустахкамлигидан сезиларли даражада (24-47%) юқори. Куйдириш ҳароратининг  $1250^{\circ}C$  гача кўтарилиши  $TK=0,667$  бўлган САТ цемент мустахкамлигини  $n_s$  нинг барча кўрсаткичларида бирмунча пасайтиради, аммо мустахкамлик юқори ҳароратли портландцементга нисбатан юқорироқ.  $TK=0,8$  бўлган САТ цемент мустахкамлиги  $n_s$  нинг барча кўрсаткичларида кескин пасаяди. Олинган натижаларга асосланган ҳолда, САТ клинкер ва цементлар олишда оптимал параметрлар  $TK=0,667$ ;  $n_s=1,5 - 2,0$ ; куйдириш ҳарорати  $1150-1200^{\circ}C$  деб қабул қилиниши мумкин. Оҳактош, фосфогипс ва темир рудаси асосида тузилган уч компонентли ҳомашё композициясидан юқорида кўрсатилган технологик параметрларни инобатга олган САТ цементлар маркази 400-500 бўлишини кафолатлайди.

САТ клинкерларини синтез қилиш учун оҳак заводи чиқиндисини оҳактошни саралаш қолдиғи, қайта ишланган мис эритиш тошқоллари (ҚИМЭТ) ва «Аммофос-Максам» АЖ фосфогипсидан ташкил топган ҳомашё композициялари  $TK=0,667$  ва  $0,8$ ;  $n_s=1,0;1,5;2,0$  учун ҳисобланган. Бунда ҳомашё композицияларидаги ҚИМЭТ нинг миқдори 9,6-17,6% ни; фосфогипсининг миқдори 25,63-42,16% ни, оҳактошни саралаш қолдиғининг миқдори 48,2-57,21% ни ташкил этади (7-жадвал).

7-жадвал

**САТ ҳом-ашё аралашмасида инградиентлар нисбати**

| TK    | $n_s$ | Аралашма компонентларининг миқдори, % |           |                           |
|-------|-------|---------------------------------------|-----------|---------------------------|
|       |       | ҚИМЭТ                                 | Фосфогипс | Оҳактошни саралаш қолдиғи |
| 0,667 | 1,0   | 17,16                                 | 25,63     | 57,21                     |
|       | 1,5   | 14,54                                 | 33,16     | 52,30                     |
|       | 2,0   | 9,9                                   | 51,1      | 39,0                      |
| 0,80  | 1,0   | 14,81                                 | 26,92     | 58,27                     |
|       | 1,5   | 10,85                                 | 40,82     | 48,33                     |
|       | 2,0   | 9,6                                   | 42,16     | 48,24                     |

TK кўрсаткичига қараб, САТ клинкерлардаги минералларнинг миқдори 8-жадвалда келтирилган ораликларда бўлади.

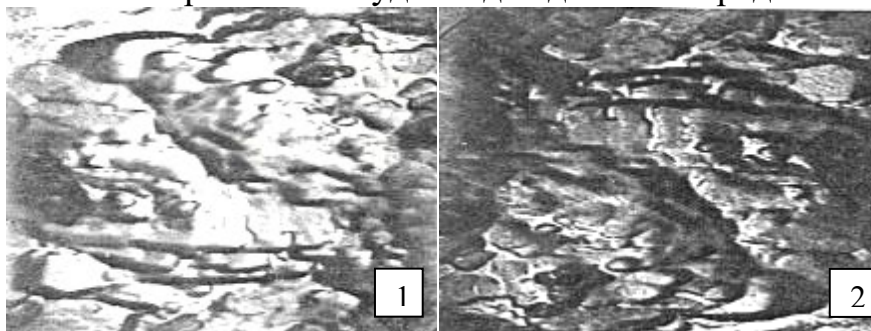
8-жадвал

**Қайта ишланган МЭЗ тошқоллари ва фосфогипс асосидаги САТ клинкерларининг минералогик таркиби**

| Кўрсаткичлар |       | Асосий минераллар миқдори, мас. %: |                   |                          |                     |
|--------------|-------|------------------------------------|-------------------|--------------------------|---------------------|
| TK           | $n_s$ | $C_4A_3\check{S}$                  | $C_4F_3\check{S}$ | $C_5S_2\check{S} + C_2S$ | $C\check{S}_{opt.}$ |
| 0,667        | 1,0   | 8,17                               | 20,23             | 78,40                    | -                   |
|              | 1,5   | 7,26                               | 17,39             | 76,96                    | 3,88                |
|              | 2,0   | 5,83                               | 11,67             | 74,04                    | 19,69               |
| 0,80         | 1,0   | 4,00                               | 18,00             | 76,00                    | -                   |
|              | 1,5   | 6,28                               | 12,68             | 71,08                    | 11,9                |
|              | 2,0   | 6,32                               | 11,88             | 72,72                    | 13,07               |

САТ ҳомашё композицияларининг реакцияга киришиш қобилиятини 800-1250 °С ҳарорат оралиғида ҳар 100 °С фарқ билан таҳлил қилинган. САТ клинкерларини синтез қилишнинг оптимал ҳарорати ТК=0,667 ва 0,8 бўлганида 1150 °С ни, ТК=0,9 ва 1,0 бўлганида 1200 °С ни ташкил этади. Минераллар ҳосил бўлиши жараёнининг кетма-кетлиги ва САТ клинкерлари фазавий таркибининг ТК ва  $n_s$  кўрсаткичларига қараб шаклланиши, қайта ишланган МЭЗ тошқоллари инградиент сифатида қўлланиладиган шу каби ҳомашё композицияларини куйдиришда ўринли бўлган қонуниятларга бўйсунди. Клинкерларнинг рентгенофазавий таҳлили олинган минералогик таркибларнинг ҳисобланган қиймаларга тўлиқ мос келишини тасдиқлайди. 1200 °С ҳароратда олинган ТК=0,8 ва  $n_s=2,0$  бўлган САТ клинкери синиқлари юзасинининг электрон-микроскопик таҳлили уларнинг эриган майда думалоқ  $C_4F_3\check{S}$  доналаридан ташкил топганлигини, уларда сульффоалюминат доналари эриганлигини ва хаотик жойлашган чўзинчоқ  $C_5S_2\check{S}$  доналарининг четлари эриганлигини кўрсатди. Баъзан бу доналар блокларда жойлашса, баъзан доира бўйича жойлашади (8-расм).

Рельефнинг умумий ғадир-будирликлари САТ ҳомашё аралашмасини куйдириш жараёнида  $C_4F_3\check{S}$  ва  $C_5S_2\check{S}$  ларнинг қисман  $C_2F$ ,  $C_2S$  ва  $C\check{S}$  ларга парчаланишида  $SO_2$  нинг ажралиши натижасида ҳосил бўладиган кўпгина ғовакликларнинг мавжудлигидан далолат беради.



**8-расм. ТК=0,667 ва  $n_s=1,5$  бўлган 1150 (1) ва 1200°С (2) ҳароратда куйдирил-ган САТ клинкер-лари синиқларининг рельефи, х 1300**

Таркиби 1:3 бўлган САТ цемент намуналари сувда қотирилганида 3 суткага қадар мустаҳкамлик маркасининг 75% ни жамлай олади, бу эса уларни тез қотувчи цементлар туркумига киритишга асос беради, шунингдек, қанчалик ТК ва  $n_s$  кўрсаткичлари юқори бўлса, цемент тоши мустаҳкамликни шу қадар жадалроқ жамлай олади. ТК=0,8;  $n_s=1,5$  ва 2,0 бўлганида 28 суткалик мустаҳкамлик кўрсаткичи мос равишда 52,12 ва 54,36 МПа ни ташкил этди (9-жадвал).

**9-жадвал**

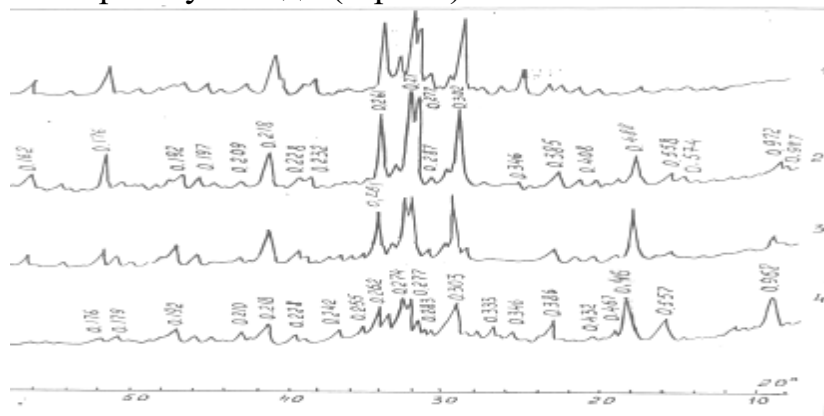
**САТ цементларнинг физик-механик кўрсаткичлари**

| Кўрсаткичлар  |       | Тишланиш даври, соат-мин. |       | Сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси, МПа, (сут) |      |       |      |
|---------------|-------|---------------------------|-------|---|------|-------|------|
| ТК            | $n_s$ | боши                      | охири | 3   | 7    | 28    | 90   |
| 0,667         | 1,5   | 2-32                      | 6-08  | 31,8  | 36,6 | 45,75 | 56,5 |
|               | 2,0   | 2-04                      | 5-42  | 33,2  | 36,8 | 47,22 | 58,7 |
| 0,80          | 1,5   | 2-38                      | 5-38  | 36,4  | 38,6 | 52,12 | 60,6 |
|               | 2,0   | 2-19                      | 5-03  | 39,6  | 42,8 | 54,36 | 61,7 |
| 0,92 ПЦ М-400 |       | 3-50                      | 4-50  |   | 28,6 | 40,4  | 44,2 |

Вақт ўтиши билан САТ цементлар гидратацияси ва қотиши секинлашади: 3 ойгача бўлган мустахкамлик ўсиши  $TK=0,667$ ;  $n_s=1,5$  ва 2,0 бўлганида мос равишда 10,75 - 11,48 МПа,  $TK=0,80$ ;  $n_s=1,5$  ва 2,0 бўлганида эса мос равишда 8,48 ва 6,54 МПа ни ташкил этди. Синтез қилинган клинкерлар асосида олинган цементларнинг ўртача мустахкамлиги,  $TK$  ва  $n_s$  кўрсаткичларига боғлиқ ҳолда, 58,0 МПа ни ташкил этди.

**«САТ цементлар қотишида гидратация жараёнлари ва сульфокөмпозитлар шаклланишининг физик-кимёвий тахлили»** деб номланган бешинчи бобда САТ цементлар қотишида гидратация жараёнлари, тошнинг фазавий таркиби ва микроструктура гинезисини ўрганиш натижалари келтирилган. Олинган натижалар унинг юқори физик-механик кўрсаткичларга эришиш сабабларини асослаб беради.

Аниқланишича, сув билан 10 минут таъсирланиш натижасида САТ цементлар диаграммасида интенсивлиги катта бўлмаган  $d/n=(0,731; 0,482; 0,301; 0,246; 0,231; 0,217; 0,206; 0,186; 0,182 \text{ nm})$  чизиклар, эҳтимол, кальций гидросульфөфөритнинг юқорисульфат турига мансуб бўлган, ҳосил бўлади.  $CaSO_4$  нинг  $d/n=0,345 \text{ nm}$  чизиклари юқори активликни намоён қилиб, 16 соатгача интенсивлик ўзгаришлари катта эмас. Қотишнинг 1 суткасида кейин дифрактограммада эттрингитга мансуб  $d/n=(0,592; 0,382 \text{ nm})$ , 7 суткага келиб интенсивлиги сезиларли даражада ошидиган, чизиклар пайдо бўлади. 28 суткага келиб, асосий фаза сифатида  $3CA \cdot 3CS \cdot 32H$  ва  $3CF \cdot 3CS \cdot 32H$  намоён бўлади,  $Ca(OH)_2$  кузатилмайди, ҳамда  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  чизиклари интенсивлиги сезиларли бўлмайди (9-расм).



**9-расм. Сувда 1(1), 3(2), 7(3), 28 (6) сутка қотган САТ цементлар дифрактограммаси**

Интенсивлиги паст  $d/n=(0,378; 0,366 \text{ nm})$  ва сезиларли даражада кучли  $d/n=0,347 \text{ nm}$  чизикларининг мавжудлиги «цемент-сув» системасида, гидратация жараёни тугалланмаганлини кўрсатувчи, сувсиз  $C_4F_3S$  и  $CaSO_4$  ларнинг борлигидан далолат беради. САТ цементлар гидратация жараёнларининг бундай кетма-кет бориши хусусиятлари шаклланаётган сульфөалюмотемир көмпозитларнинг доимий зичланиши ва мустахкамланиб боришини таъминлайди. Аввалида бир-бири билан бирикиб кетган САТ цемент доналарининг текис юзаси, сув билан қотирилганидан сўнг, сувни адсорбциялаб бир-биридан ажрала бошлади ва бўкади, натижада 7 суткага келиб синиклар юзаси палахсасимон гидратация махсулотлари билан тўла қопланади (10-расм).



**10-расм. Сувда қотган сульфоалюмотемир композит синиғи юзасининг рельефи, а-14сут; б-21сут; в-28сут**

САТ цементлар тошининг рельеф юзаси 14 суткага келиб, эттрингит ва унинг темир билан ўрин алмашган аналогларининг игнасимон ва призматик кристаллари ҳисобига, етарли даражада зичликга эга бўлади, улар 21 суткага келиб юзаси ғадир-будирликлар ва рельефли чеккаларга эга бўлган йирик агрегатларгача ўсадиган, ҳамда 28 суткага келиб кристалл ўсимталар ва кристалллараро худудини гидратация махсулотлари (гидросульфферрит, гидросиликат ва гидросульфосиликатлар) эгаллаган кристаллогидрат блокларини ҳосил қилади. Юқорида келтирилган гидрат бирикмалар, кристалл сузилишининг бир оилага мансублиги туфайли, зич жойлашадилар ва сульфоалюмотемир композит микроструктураси зичлашиб, блок-қаватли характерга эга бўлади, мустахкамланади ва шу сабабли юқори мустахкамлик кўрсаткичлари ва бошқа муҳим хусусиятларни намоён қилади.

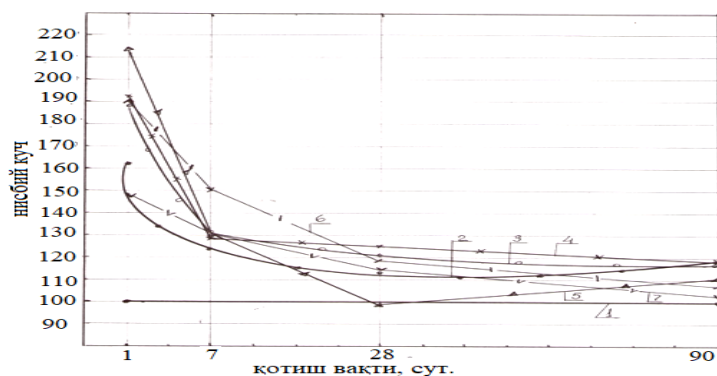
**«Оддий портландцемент асосида САТ цементлар билан модификацияланган кўп функционал хусусиятли композицияли боғловчи материаллар таркибини ишлаб чиқиш»** деб номланган олтинчи бобда САТ клинкерларнинг портландцемент физик-механик ва физик-кимёвий хусусиятларига таъсири, портландцементларни турли хил тўлдирувчи ва САТ цемент гидратацияси орқали легирлаш йўли билан самарали композицияли боғловчи материаллар таркиби ва олиш технологияси, уларнинг рационал қўлланиш сахаларини аниқлаш борасида изланишлар олиб борилган. 95-75% оддий ПЦ клинкери ва 5-25%  $TK=0,667$  ва  $p_s=1,5$  бўлган САТ клинкерини биргаликда майдалаш тез қотиши ва мустахкамликга жадал эришиши билан форқланадиган, бошланғич даврда мустахкамлик кўрсаткичлари оддий ПЦ га нисбатан 1-2 баробар юқори бўлган, композицияли боғловчи материаллар олиш имконини беради. Эҳтимол бу, уларнинг таркибида катта миқдорда  $CaSO_4$  (3,88-19,69%) борлиги, ўз навбатида унинг  $C_4A_3\check{S}$  и  $C_4F_3\check{S}$  билан таъсирланиши натижасида ва портландцемент қотишида ажралиб чиқадиган  $Ca(OH)_2$  ни жадал боғлаши, шаклланиётган боғловчи композит кристалл панжараси бўлиб ҳизмат қиладиган ва мустахкамликни оширувчи эттрингит и ферриэттрингитни ҳосил қилиши билан боғлиқдир. Энг юқори мустахкамлик кўрсаткичига эга композицияли боғловчи материаллар  $TK=0,8$  ва  $p_s=1,5$  ва 2,0 бўлган САТ клинкерини қўллашда қайд этилган: улар мустахкамлигининг 1 суткадан кейин ПЦ-Д0 га нисбатан 2,2-2,6 баробар юқори бўлиши, уларда  $C_4A_3\check{S}$  ва боғланмаган  $C\check{S}$  миқдорининг кўплиги билан изоҳланиши мумкин (10-жадвал).



**Композицияли боғловчи материаллар мустахкамлигининг ПЦ ва САТ клинкер миқдорига боғлиқлиги**

| Композиция таркиби, % |              | Мустахкамлик чегараси, МПа |     |     |     |                   |      |      |      |
|-----------------------|--------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------------------|------|------|------|
| ПЦ клинкери           | САТ клинкери | эгилишда, (сут):           |     |     |     | сиқилишда, (сут): |      |      |      |
|                       |              | 1                          | 7   | 28  | 90  | 1                 | 7    | 28   | 90   |
| 100                   | 0            | 3,2                        | 6,3 | 7,4 | 7,6 | 10,0              | 29,4 | 42,6 | 48,8 |
| 95                    | 5            | 3,8                        | 6,7 | 7,9 | 7,9 | 16,2              | 36,6 | 48,5 | 58,0 |
| 90                    | 10           | 4,0                        | 6,8 | 8,2 | 7,6 | 18,8              | 38,9 | 52,1 | 57,2 |
| 85                    | 15           | 3,4                        | 6,2 | 7,5 | 7,2 | 19,3              | 38,1 | 53,2 | 58,0 |
| 80                    | 20           | 3,6                        | 6,0 | 7,4 | 7,6 | 20,3              | 37,8 | 54,3 | 55,3 |
| 75                    | 25           | 3,6                        | 5,8 | 7,6 | 7,4 | 21,4              | 38,3 | 42,4 | 53,8 |
| 70                    | 30           | 3,8                        | 5,8 | 7,9 | 7,9 | 18,9              | 44,5 | 50,5 | 52,2 |
| 50                    | 50           | 4,0                        | 5,7 | 7,6 | 7,8 | 15,8              | 38,7 | 48,6 | 50,0 |

Узоқ вақт қотишда композицияли боғловчи материал мустахкамлиги САТ клинкер миқдорига боғлиқ: унинг миқдори 5-15% бўлганида эгилишдаги мустахкамлиги сезиларли жаражада катта бўлиб, унинг миқдори кўпайса (15-25%) - эгилишдаги мустахкамликни оддий портландцемент кўрсаткичлари билан таққослаш мумкин. Модификацияланган композицияли боғловчи намуналари, ҳатто САТ клинкери миқдори юқори бўлганида ҳам (30-50%), сиқилишда портландцемент намуналарига нисбатан юқори мустахкамликга эга, бинобарин, САТ клинкери миқдори юқори бўлишига қарамай 1-7 суткада қотиш жараёнлари тезлашади ва намуналар оддий портландцементга нисбатан 1,5-2, баробар катта мустахкамликни намоён қиладилар (11-расм).



**11-расм. САТ клинкери 1-5%; 2-10%; 3-15%; 4-25%; 5-30%; 6-50% бўлган композицияли боғловчи материаллар мустахкамлигининг ўзгариши.**

СаО миқдорини аниқлаш натижалари портландцементдан ажраладиган Са(ОН)<sub>2</sub> ни кальций гидросульфоалюминат ва гидросульфоферрит типидagi бирикмаларга тезда бириктириб олиниши билан тушунтирилади. Бошланғич даврда (6 соатгача), таркибида САТ клинкери 50% бўлган цемент композициялари намуналарининг суёқ фазасидаги СаО миқдори кўшимчасиз портландцементга нисбатан 3-9 маротаба камроқ бўлади. 1 суткадан бошлаб 28 суткагача бўлган даврда портландцементдан ажраладиган СаО миқдори композицияли боғловчига нисбатан 1,2-1,5 маротаба кўпроқ бўлади. Вақт ўтиши билан намуналар мустахкамлигининг пасайиши кузатилмайди ва улар портландцементга нисбатан 10-18% га юқорироқ. Демак, оддий портландцемент таркибига 5-35% САТ цемент киритилиши, уларни 28

суткадаги мустахкамлиги бўйича оддий портландцементга нисбатан мустахкамлиги, шаклланаётган боғловчи композитнинг гидратация ва структура ҳосил қилиш жараёнлари жадаллашувини белгилайдиган портланд- ва САТ цемент минералларининг биргаликдаги таъсири туфайли 25-35% юқори бўлган, юқоримустахкам цементлар тоифасига ўтишига олиб келади.

Кўриб чиқиладиган цемент композицияларининг мустахкамлиги САТ цементнинг ТК ва  $n_s$  кўрсаткичларига боғлиқ: барқарор юқори мустахкамликга ТК=0,80;  $n_s=1,0$  ва 2,0 бўлган САТ цемент қўлланилганида эришилган. Бундай композицияларнинг мустахкамлиги 1 сутка қотирилганидан сўнг портландцемент мустахкамлигига нисбатан 2,2-2,6 баробар каттароқ бўлади, 28 суткага келиб бу фарқ 1,3-1,4 баробарни ташкил этади.

Оддий портландцементга 10% САТ клинкери киритилиши унга кенгаювчанлик хусусиятини беради: 3 суткада чизиқли кенгайиш кўрсаткичи 0,19% га , 14 суткагача бу ўзгариш атиги 0,02% ни ташкил этиб, кейинчалик 3 ой мобайнида ўзгаришсиз қолади. САТ клинкери миқдори 30% бўлганида чизиқли кенгайиш кўрсаткичи 3 суткада 0,27% ни ташкил этади ва 28 суткагача барқарорлашади. ПЦ ва САТ клинкери нисбати 1:1 бўлганида юқори даражадиги кенгайишга эришилган: 3 суткада 0,35%; 28 суткада 0,40% ва бу кўрсаткич 3 ойгача барқарор сақланади. Таклиф этиладиган композицияли боғловчилар юқори сувўтказмаслик кўрсаткичларига ҳам эга – 7 суткадан сўнг 20 ати босимга чидамли; музлашга чидамлилиги – 200 цикл (мустахкамлик пасайиши 12%); 3% ли  $Na_2SO_4$  даги сульфатбардошлиги -  $K_{C_{180}}=1,34-1,42$ ; атмосфера турғунлиги – 100 цикл.

**«Меърий база яратиш, саноат-тажриба шароитида САТ клинкерларини ишлаб чиқариш ва улар асосидаги боғловчи композицияларни қўллаш»** деб номланган еттинчи бобда САТ клинкерларини тажриба шароитларида ишлаб чиқариш учун МТХ яратиш, турли шароитларда САТ клинкерлари ва улар асосидаги композицияли боғловчиларнинг тажриба партияларини ишлаб чиқариш ва синаш, саноат-тажриба шароитларида ишлаб чиқилган технологияларни жорий қилиш бўйича тавсиялар ва саноат миқёсида уларни жорий қилиш ва ишлатишнинг техник-иқтисодий асослашга иод натижалар жамлаштирган.

САТ клинкерларининг тажриба-саноат синовлари ТК=0,667 ва  $n_s=1,5$  бўлган оҳақтошни саралаш қолдиғи, Аммофос-Максам АЖ фосфогипси, «Олмалиқ КМК» АЖ қайта ишланган мис эритиш тошқолларидан ташкил топган ҳомашё аралашмаларини 1150°C ҳароратда куйдириш йўли билан Олмалиқ КМК оҳақ цехида ўтказилди. САТ цемент партиялари ГОСТ 310.4-85 га мос равишда «СТРОМ» ИИваСМ нинг аккредитланган синов лабораториясида текширувдан ўтказилган. Қиёслаш учун «Кизилкумцемент» АЖ нинг ПЦ-Д20 М400 портландцементи олинган. САТ цементлари ПЦ га нисбатан тез тишланишади (боши 58 мин ÷ 1 соат 5 мин, охири 2 соат ÷ 2 соат 28 мин) ва 28 суткадан сўнг активлиги 47,5-50,6 МПа бўлиб, «400» ва «500» маркага мос келади. САТ клинкери ва турли хил тўлдирувчилар (флюорит

қуми ва МЭЗ нинг қайта ишланган мис эритиш тошқоллари) билан модификацияланган ПЦ асосидаги композицияли боғловчилар синовлари «Навоий КМК» АЖ нинг ер ости объектларида ҳосил булган бушликларни торкретлаш ва фильтрацияга қарши экранлар ҳосил қилишда ва гидрометаллургия цехларида мустаҳкам, ишколанишга ва кислотага бардошли, сув ўтказмайдиган саноат поллари конструкцияларини курилишида ҳам синаб курилди.

## ХУЛОСА

1. Илмий-техник адабиёт ва патент маълумотлари таҳлили асосида кальций сульфогерритнинг  $800-1150^{\circ}\text{C}$  температура оралиғида ҳосил бўлиши ва унинг алюминат-, сульфат- ва темир тутувчи модель композицияларининг синтезида кальций сулфоалюминат билан қаттиқ эритмалар ҳосил қилмасдан мустақил ҳолда мавжуд бўлиши назарий ва тажриба йўли билан асослаб бериш имконини беради.

2. « $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4$ » системасини куйдиришда минераллар ҳосил бўлиши жараёнининг кинетикаси,  $\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}$  нинг температура турғунлиги, унинг физик-механик ва физик-кимёвий хусусиятлари аниқланди.  $\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}$  нинг гидратация даражаси  $\text{C}_4\text{A}_3\check{\text{S}}$  га нисбатан 1,5 баробар суств ва  $\text{C}_5\text{S}_2\check{\text{S}}$  га нисбатан 4-5 баробар юқори ва гидратация активлиги бўйича у ана шу икки сульфоминерал оралиғида ётишини кўрсатган.

3. Икки ( $\text{C}_4\text{A}_3\check{\text{S}}+\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}$ ;  $\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}+\text{C}_5\text{S}_2\check{\text{S}}$ ) ва уч компонентли ( $\text{C}_4\text{A}_3\check{\text{S}}+\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}+\text{C}_5\text{S}_2\check{\text{S}}$ ) сульфоминерал системалар гидратациясида сульфоминералларнинг уч тури орасидаги ўзига ҳос кимёвий боғлиқликлар аниқланган, ушбу композициялар қотишида ҳосил бўладиган янги ҳосилаларнинг фазавий таркиби, сульфоминерал композитлар тузилишининг гинезиси ва физик-механик хусусиятларини таҳлил қилиш асосида «таркиб-структура-мустаҳкамлик» корреляция боғлиқликлари аниқланган.

4. Сулфоалюмотемир минерал боғловчиларининг гидравлик активлиги «Оҳангаронцемент» АЖ нинг ПЦ400-Д0 портландцементига нисбатан юқорироқ бўлишига асосланиб, цементларнинг юқори гидравлик активлигини таъминлайдиган  $\text{C}_4\text{A}_3\check{\text{S}}$ ,  $\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}$  ва  $\text{C}_5\text{S}_2\check{\text{S}}$  ларнинг оптимал комбинациялари ва нисбатлари бўйича башорат қилинган хулосалар билан изоҳланган.

5. Махаллий минерал (оҳактош, темир рудаси) ва техноген (фосфогипс, қайта ишланган мис эритиш тошқоллари, оҳактошни саралаш қолдиғи) ҳомашё ресурслари асосида энергиятежамкор сульфотемир ҳомашё таркиблари ва сулфоалюмотемир клинкерлари ва улар асосидаги цементлар олишнинг технологияси ишлаб чиқиш имконини берган.

6. Табиий (оҳактош, гематит маъдани) ҳамда техноген (оҳактошни саралаш қолдиғи, қайта ишланган мис эритиш тошқоллари, фосфогипс) ҳомашё ресурслари асосида сульфотемир ҳомашё композициялари шаклланиши кимё-технологик параметрларининг оптимал кўрсаткичлари ( $\text{TK}=0,667$ ;  $n_s=1,5-2,0$ ), улардан САТ клинкерларини синтез қилишда куйдиришнинг оптимал ҳароратлари ( $1150-1200^{\circ}\text{C}$ ) аниқланди.

7. САТ клинкерлари ва улар асосида 400-500 маркали, таркибида ташланиш даврини растловчи табиий гипс тоши бўлмаган, сульфоалюмотемир цементлар олишнинг паст ҳароратли энергия ва ресурстежамкор технологиялари яратилган.

8. 1 тонна САТ клинкери ва улар асосидаги цементлар ишлаб чиқаришда сарфланадиган материаллар меъёри белгиланди, сульфотемир цементлар ишлаб чиқаришда талаб этиладиган ҳомашё компонентларини ҳисоблаш йўриқномаси (ТЙ 00193350 – 02: 2021) ишлаб чиқилган.

9. САТ клинкерлари ва улар асосида цементлар олишнинг блок-схемаси ишлаб чиқилди, «Узстандарт» Агентлигида сульфоалюмотемир цемент учун Ts № 00193350:2001 «Сульфотемир цементлар. Техник шартлар» рўйхатдан ўтказилган.

10. Олмалиқ КМК охак цеҳи базасида сульфоалюмотемир клинкер ва улар асосидаги цементларнинг тажриба-саноат партияси ишлаб чиқарилди, САТ цемент партиялари ЎзР ФА УНКИ даги «СТРОМ» ИИваСМ нинг аккредитланган синов лабораториясида текширувдан ўтказилган.

11. Лаборатория изланишлари ва тажриба-саноат текшируви натижаларини инобатга олган ҳолда, САТ клинкерлари ва улар асосида кўп функционал цементлар олишнинг паст ҳароратли технологияси, республикамизнинг уларни ишлаб чиқаришга мос ҳомашё базаси бўлган корхоналарда, жорий қилишга тавсия этиш имконини берган.

12. САТ клинкерлари ва улар асосида кўп функционал цементлар олишнинг паст ҳароратли технологиясининг иқтисодий самарадорлиги аниқланди. Яъни юқори реакцион сифатга эга техноген чиқиндилардан олинган клинкерлар асосида САТ цементнинг таннархи портландцементга нисбатан 167502.75 сўмга арзон бўлмоқда. Агар йилига 100 минг тонна САТ цемент ишлаб чиқарилса, бу кўрсаткич 17 млрд. сўм иқтисодий самарани бериши аниқланган.

**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**

**РУЗИЕВ НЕМАТ РУЗИЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ЭНЕРГО- И  
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ  
СУЛЬФОЖЕЛЕЗИСТЫХ КЛИНКЕРОВ С КОМПЛЕКСНЫМ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ  
НЕОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

**02.00.13-Технология неорганических веществ и материалы на их основе  
02.00.15-Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов**

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

**Ташкент – 2021**

Тема диссертации доктора наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2021.3.DSc/G451.

Докторская диссертация выполнена в Институте общей и неорганической химии  
Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу [www.iohx.uz](http://www.iohx.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziyounet» по адресу [www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <b>Научные консультанты:</b>  | <b>Негматов Сойибжон Садыкович</b><br>доктор технических наук, профессор, академик<br>АН Республики Узбекистан |
|                               | <b>Искандарова Мастура</b><br>доктор технических наук, профессор   |
| <b>Официальные оппоненты:</b> | <b>Сейтназаров Атаназар Рейнназарович</b><br>доктор технических наук   |
|                               | <b>Реймов Ахмед Мамбеткаримович</b><br>доктор технических наук, профессор                                      |
|                               | <b>Юнусов Миржалил Юсуфович</b><br>доктор технических наук, профессор  |
| <b>Ведущая организация:</b>   | <b>Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» Алматыкский филиал</b>                   |

Защита состоится «7» декабря 2021 г. в «10<sup>00</sup>» часов на заседании Научного совета DSc.02.30.12.2019.K/G35.01 при Институте общей и неорганической химии по адресу: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90; e-mail: [iohxanru@mail.ru](mailto:iohxanru@mail.ru)

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института общей и неорганической химии за № 15, с которой можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре (100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а). Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90.

Автореферат диссертации разослан «23» ноября 2021 года  
(реестр протокола рассылки № 15 от «23» ноября 2021 года).



**Б.С. Закиров**  
Председатель разового научного совета  
по присуждению научной степени, д.х.н., проф.

**Д.С. Салиханова**  
Ученый секретарь разового научного совета  
по присуждению учёных степеней, д.т.н., проф.

**Ш.С. Намазов**  
Председатель научного семинара при разовом научном  
совете по присуждению учёных степеней, академик

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире промышленности строительных материалов, в частности, при производстве цемента, освоение современных технологий обеспечивающих экономию энергии и ресурсов, обжиг специальных видов низкотемпературных клинкеров и на их основе - производство цементов с высокими эксплуатационными свойствами и для этого по возможности использовать вторичные минеральные сырьевые материалы, прошедшие определенную стадию предварительной обработки уделяется особое внимание. В этой связи, одним из приоритетных задач производства строительных материалов является увеличение объема производства цемента. При этом, улучшение качества цемента и технологических процессов, снижение стоимости продукции имеет особое значение.

В мире, с учетом постоянного роста цен на топливно-энергетические ресурсы, следовательно и стоимости портландцемента, проводятся научно-исследовательские работы, направленные на разработку низкообжиговых технологий получения специальных видов клинкера и цементов на его основе. В связи с этим, особое внимание уделяется поиску и определению пригодности к применению в клинкерном производстве сырьевых материалов, имеющих в своем составе соединения, способствующие снизить температуру обжига, исследованию способностей отходов металлургической, химической, горно-обогатительной промышленности, прошедших предварительную обработку, снижать температуру обжига клинкера, разработке научных и технологических основ получения низкотемпературных клинкеров на основе новых видов природных и техногенных сырьевых материалов, исследованию физико-механических, физико-химических и строительно-технических свойств специальных видов цемента нового состава.

В нашей республике, интенсивное развитие строительной индустрии и других отраслей промышленности, диктует необходимость увеличения объема производства строительных материалов и изделий, в том числе цемента и цементобетона, улучшение их качества и снижение себестоимости. В Стратегии действий по развитию Республики Узбекистан определены задачи в направлении – «Разработка секторов производства, модернизация и диверсификация промышленности, использование недорогих энергетик, развитие цементных производственных отраслей, производство импортного замещения и экспортных продуктов»<sup>1</sup>.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-3696 от 4 мая 2018 года «О дополнительных мерах по стабильному обеспечению внутреннего рынка цементом», № ПП-4335 «О дополнительных мерах по ускоренному развитию промышленности

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий дальнейшего развитию Республики Узбекистан»

строительных материалов» от 23 мая 2019 года, », ПП№4731 от 26 мая 2020 года «О дополнительных мерах по расширению производства драгоценных металлов на базе месторождений АО «Алмалыкский ГМК», а также других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

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

**Обзор иностранных научных исследований по теме диссертации<sup>1</sup>.** Научные исследования, направленные по разработке технологии получения сульфатированных клинкеров на основе неорганических промышленных отходов, осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе Jamcem Consulting Cement Industry (Великобритания), CNBM Engineering Co Ltd (Китай), Белгородском технологическом университете (БГТУ, Россия), Национальном Техническом Университете (НТУ, Украина), Российском химико-технологическом университете Д.И. Менделеев (РХТУ, Россия), в Научно-исследовательском институте цемента (НИИЦемент Россия) и получены следующие научно-практические результаты.

В результате научных исследований, проведенных в мировых ведущих центрах по совершенствованию получения клинкеров, содержащих в своем составе сульфоалюминат и сульфоферритных минералов, образующихся при низкой температуре получен ряд научных результатов, в том числе: разработаны новые типы оборудования, направленный на улучшение качества клинкера и, соответственно, свойств цемента (CNBM Engineering Co Ltd, Китай); разработаны технологии производства добавочных и сульфатостойких цементов с высоким содержанием электротермофосфорных шлаков (Южно-Казахстанский Государственный университет, Казахстан); разработаны составы высокомарочных цементов, соответствующих по прочностям требованиям мировых стандартов («Евроцемент групп», Россия); усовершенствованы технологии производства высококачественных декоративных цементов (Cement Manufacturers Association of India, Индия); произведены композиционные цементы с гибридными добавками (Aslan Çimento AŞ, Турция).

В настоящее время в цементной промышленности проводятся научные исследования в направлении: всемерно экономии природных сырьевых ресурсов вовлечением в производственный процесс техногенных отходов минерального происхождения, обеспечению энерго- и ресурсосбережения путем снижения температуры обжига клинкера, увеличению объема

---

<sup>2</sup> Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации <http://www.nist.gov>, [www.ukgu.kz/ru](http://www.ukgu.kz/ru), <http://www.cmaindia.org/>, [www.heidelbergcement.com/en](http://www.heidelbergcement.com/en), <https://cembureau.eu>, <https://www.muctr.ru>, [www.ultratech.com/](http://www.ultratech.com/), <https://www.susu.ru/ru>, <https://www.vdzonline.de/>, [www.whitehopleman.com/](http://www.whitehopleman.com/), <https://www.dalmiabharat.com/>, [www.cnbmengineering.cm/](http://www.cnbmengineering.cm/), [www.gambarotta.it/](http://www.gambarotta.it/), [www.bwfgroup.de/](http://www.bwfgroup.de/), [www.sanghiment.com/](http://www.sanghiment.com/), [www.aslancimento.com.tr/](http://www.aslancimento.com.tr/) и других источников.



производства, снижения себестоимости, освоению технологий производства специальных видов цемента.

**Степень изученности проблемы.** Научно-исследовательские работы по получению клинкеров, содержащих в своем составе сульфатированных минералов, интенсивно развивались в 70-90 годы XX-века в считанных странах мира, в том числе, Jamcem Consulting Cement Industry (Великобритания), Krosaki AMR S.A.U. ва Refractaria S.A. (Испания), Bricking Solutions Inc. (АКШ), Scantech International Pty Ltd (Австралия), Aslan Çimento AŞ (Турция), Gambarotta Gschwendt (Италия), CNBM Engineering Co Ltd (Хитой), Украинском техническом университете (Украина), Белгородском технологи-ческом университете, НИИЦемент и Российском химико-технологическом университете (Россия), Южно-Казахстанском Государственном университете-те (Казахстан), Киргизском Государственном университете строительства, транспорта и архитектуры (Киргизистан), Ташкентском химико-технологическом институте и Институте общей и неорганической химии (Узбекистан). Несмотря на то, что в период последних 10-15 лет такие исследования несколько замедлились. Однако, из-за того, что потребность в цементах, получаемых при низкой температуре с высокими физико-механическими и строительно-техническими свойствами сильно возросла, на сегодняшний день научные исследования в этом направлении получили свое дальнейшее развитие (ИОНХ ФА РУз, ГУП «Фан ва траккиёт»).

В создание технологии получения сульфатированных клинкеров низкотемпературного обжига большой вклад внесли многие ученые, как В.К. Классен, Б. Э. Юдович, В.В. Тимашев, Т.В. Кузнецова, В.К. Ларионов, А.П. Осокин, И.П. Зозулев, С.А. Зубехин В.А., Ю.А. Кривобородов, С.Л. Литвер, Л.В. Никитина, З.Б. Энтин (Россия), S.R. Tan, A.J. Howard, I.D. Birchall (Великобритания), В.Л. Иваницкий Е.Т. Береженко, (Украина), Т.А. Атакузиев, М.И. Искандарова, С.А. Ходжаев, Д.К. Адилов, А. Мусурманкулов Б.Т. (Узбекистан), Н.В. Ротыч, Б.Т. Ассакунова (Киргизия), W. Kurdowski, С.М. George, F.R. Sorrentino (Бразилия).

Вместе с тем, в настоящее время в области расширения сырьевой базы для получения сульфоферритных клинкеров и крентов из них, т.е. путем их использования в качестве «кристаллических затравок» для разработки специальных видов быстротвердеющих, высокопрочных, морозо- и атмосферостойких, сульфатоустойчивых, расширяющихся и напрягающих цементов известны научные исследования А. Таеб, Т. Roppelt, А.В. Голубничий, С. Тонгбо, S. Faghihi, S. Zheng-lun, Е.Н. Потапова., А.И. Бойкова, Л.В. Грищенко, С.В. Самченко, И.Ю. Бурлов, Л.А. Суворова, G. Möscher, В. Lothenbach, F. Winneteld, Чанг Вон Мо, А.А. Гребенюк, А.А. Рогова, А.А. Салей, Д.А. Зорин, В.П. Рязин, В.Б. Игнатъев, И.С. Пушкарев, О.С. Наумов, Е. С. Макарова, А. А. Пономаренко, И.Н. Афолина, В.А. Кулик и др.

Необходимо отметить, в результате проведенных научных исследований по получению сульфоферритных клинкеров и специальных видов на их основе определены оптимальные технологические показатели и разработаны

нормативно-технические документы для их промышленного внедрения. Однако, до настоящего времени отсутствуют научно обоснованные данные по исследованию механизма взаимовлияния трех основных минералов, образующихся при низкотемпературном обжиге сульфатированных сырьевых композиций, присутствующих в составе сульфоклинкеро-сульфоалюмината, сульфодерригита и сульфосиликата, в процессе гидратации и твердения сульфощементов, не изучены зависимость физико-механических свойств искусственного конгломерата от формирования его структурных особенностей, практические возможности управления свойствами сульфощементов от химического состава используемых сырьевых материалов и содержания сульфодерригитов, синтезированных на их основе. Данная диссертация является научным исследованием, посвященным решению указанных проблем.

**Связь исследования с научно-исследовательскими планами научно-исследовательского учреждения, в котором была выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом исследований Института общей и неорганической химии в рамках государственных проектов Ф-3.16 «Разработка низкотемпературной технологии получения сульфодерригитожелезистых цементов путем исследования кинетики гидратации, механизма, фазового взаимодействия и структурообразования в системах сульфодерригит-сульфодерригит, сульфодерригит-сульфосиликат, сульфодерригит-сульфосиликат-сульфодерригит» (2003-2007 гг.); ИТД-13-050 «Энерго- и ресурсосберегающая технология получения цемента с комплексной переработкой отходов строительной, химической и горно-обогатительной промышленности» (2009-2011 гг.) и ИК-09-08/2 «Разработка и освоение комплексной переработки отходов медеплавильного и цинкового производств Алмалыкского ГМК и АО «Аммофос-Максам» на низкотемпературные коррозионноустойчивые цементы» (2009-2010 гг.)

**Целью исследования** является разработка научных основ энерго-, ресурсосберегающей технологии сульфодерригитожелезистых клинкеров с комплексным использованием отходов горно-металлургической и химической промышленности.

**Задачи исследования:**

синтез минерала сульфодерригита кальция и исследование формирования его фазового состава и структуры в процессе его гидратации;

исследование процессов взаимовлияния при гидратации двухкомпонентной системы  $C_4A_3\check{S}-C_4F_3\check{S}$ , кинетику новообразований, формирование структуры сульфодерригитно-сульфодерригитного композита и его физико-механических свойств в зависимости от соотношения минеральных ингредиентов;

исследование процессов взаимовлияния при гидратации двухкомпонентной системы  $C_5S_2\check{S}-C_4F_3\check{S}$ , кинетику новообразований, формирование структуры сульфодерригит-сульфосиликатного композита и его физико-механических свойств в зависимости от соотношения минеральных ингредиентов;

исследование процессов гидратации, протекающих в трехкомпонентной минеральной системе  $C_4A_3\check{S}-C_4F_3\check{S}-C_5S_2\check{S}$  и установление закономерностей

формирования сульфо-алюмо-железистого композита с высокой механической прочностью.

выдача прогнозных заключений по оптимальному соотношению минералов  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$  и  $C_5S_2\check{S}$  и разработка практических рекомендаций по составам сырьевых композиций для синтеза сульфоалюможелезистых клинкеров;

исследование реакционной способности сырьевых композиций на основе новых видов сырьевых материалов, определение химико-технологических параметров, особенностей минералообразования, оптимальной температуры процесса и формирование структуры САЖ клинкеров при обжиге;

определение физико-механических свойств цементов на основе низкотемпературных САЖ клинкеров и разработка практических рекомендаций и нормативной базы для организации технологического процесса их производства с использованием местных природных и техногенных сырьевых ресурсов;

разработка эффективных составов композиционных вяжущих материалов многофункционального назначения на основе портландцемента, модифицированного САЖ клинкерами и исследование их строительно-технических свойств;

проведение выпуска и испытание опытно-промышленной партии низкотемпературного САЖ клинкера и цементов на его основе;

обоснование экологической, технологической и экономической эффективности технологий получения САЖ клинкеров с комплексным использованием местных минеральных техногенных отходов и изготовления композиционных вяжущих материалов многофункционального назначения из них.

**Объектами исследования** являются двух- и трехкомпонентные сульфо-минеральные композиции, составленные в различных комбинациях  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$  и  $C_5S_2\check{S}$ , низкоосновные сульфоалюможелезистые сырьевые композиции, клинкеры, полученные путем их низкотемпературного обжига и композиционных вяжущих материалов многофункционального назначения на их основе.

**Предметом исследования** являются исследование процессов взаимодействия минералов при гидратации двух- и трехкомпонентных систем  $C_4A_3\check{S}$ - $C_4F_3\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$ - $C_5S_2\check{S}$ ,  $C_4A_3\check{S}$ - $C_4F_3\check{S}$ - $C_5S_2\check{S}$  с образованием сульфоминеральных композитов, особенностей физико-химических превращений, протекающих при низкотемпературном обжиге сульфоалюможелезистых сырьевых композиций, генезиса формирования структуры искусственного конгломерата при гидратации и твердении цементов на основе низкотемпературных САЖ клинкеров, а также формирования многофункционального композита на основе портландцемента, модифицированного САЖ клинкерами.

**Методы исследования.** Диссертационная работа выполнена с применением стандартных методов физико-механического (ГОСТ 310.1-76, ГОСТ 310.4-85) и физико-химического (рентгенофазовый- на дифрактометре ДРОН-2, ИК-спектры- на спектрофотометре «Spekord 75iR»), ДТА- на дериватографе Q-1500 фирмы МОМ, электронный парамагнитный резонанс–радиоспектрофотометр SE/2543 фирмы «Radiopon», микроструктура минеральных и

цементных композитов- на электронном микроскопе ЭМВ-100БР и на сканирующем электронном микроскопе SEM 255 M/EDAX 9900 да) исследования.

**Научная новизна** заключается в следующем:

впервые путем комплексного исследования процесса гидратации и структурообразования установлена сульфферрита кальция  $C_4F_3\check{S}$  установлена взаимосвязь его прочности с морфологией новообразований;

впервые установлено влияние процессов взаимного влияния сульфалюмината ( $C_4A_3\check{S}$ ), сульфосиликата ( $C_5S_2\check{S}$ ) и сульфферрита ( $C_4F_3\check{S}$ ) в двух- и трехкомпонентных минеральных системах, составленных при различных их комбинациях и соотношениях, на показатели прочности формирующихся сульфоминеральных композитов;

путем физико-химического исследования процессов гидратации, протекающих в двух- и трехкомпонентных системах при различных комбинациях и соотношениях минералов  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_5S_2\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$ , впервые разработаны научные основы низкотемпературной технологии получения сульфалюможелезистых клинкеров;

установлена последовательность минералообразования в процессе обжига сульфалюможелезистых сырьевых композиций. Вопреки известным данным, установлено, что образование двухкальциевого феррита ( $C_2F$ ) начинается при 800 °С,  $C_4F_3\check{S}$  при - 1100 °С, а при 1200-1250 °С последний разлагается на  $C_2F$ ,  $C_2S$ ,  $SO_2$  и  $CaO$ ;

установлено, что показатели прочности САЖ цементов непосредственно зависят от значений КН и  $n_5$  сырьевых композиций: при КН=0,667 прочность цемента на основе клинкера, обожженного при 1200 °С выше, чем у цемента из клинкера с КН=0,8, с увеличением значения  $n_5$  повышается также гидравлическая активность цементного камня до марки «400» и «500».

установлена возможность получения многофункциональных композиционных вяжущих материалов с высокой прочностью, стойкостью воздействиям мороза, атмосферных колебаний, обладающих свойством расширяться и напрягаться путем легирования портландцемента в процессе его гидратации САЖ цементами.

**Практические результаты исследований** заключается в следующем:

разработана энерго- и ресурсосберегающая технология получения низкотемпературных САЖ клинкеров путем комплексной переработки в качестве сырья отходов химической, металлургической и строительной отраслей;

технологическая схема получения САЖ клинкера и цемента на его основе, исключая применение природного гипсового камня как регулятора сроков его схватывания;

доказаны энергосберегающие факторы при производстве САЖ клинкеров за счет снижения температуры обжига на 250-300°С по сравнению с температурой обжига портландцементного клинкера, что обеспечивает экономию затрат ТЭР на повышение производительности печей и цементных мельниц.

**Достоверность результатов исследований** полученные результаты обоснованы применением современных методов исследований и опытно-промышленных испытаний.

**Научная и практическая значимость результатов исследований.** Научная значимость результатов исследования заключается в том, что установленные закономерности взаимосвязи  $C_4F_3\check{S}$  с  $C_4A_3\check{S}$  и  $C_5S_2\check{S}$  в процессе гидратации двух- и трехкомпонентных сульфоминеральных систем, результаты исследований формирования физико-механических свойств и структуры цементов, получаемых на основе низкотемпературных САЖ клинкеров из сульфожелезистых сырьевых композиций при различных значениях  $KH$  и  $n_s$ , с учетом оптимальных комбинаций и соотношений указанных минералов, вносит определенный вклад в науку о «Химической технологии вяжущих материалов» и «Композиционные материалы», ранее не известными новыми теоретическими и научно-практическими результатами.

Практическая значимость результатов исследований служит в разработке технологии, обеспечивающей получение клинкера при температуре обжига на 250-300 °С ниже, чем температура обжига портландцементного клинкера, экономию природных сырьевых ресурсов за счет комплексной переработкой техногенных отходов химической, металлургической и строительной отраслей, снижение затрат теплоносителя на 25-30%, повышение производительности вращающихся печей и цементных мельниц и получение специальных видов цемента марок 400-500.

**Внедрение результатов исследования.** На основе результатов исследований по разработке низкотемпературной технологии получения САЖ клинкеров и цементов на их основе:

разработан Стандарт организации на сульфожелезистые цементы (Ts № 00193350:2001 «Цементы сульфожелезистые. Технические условия») и зарегистрирован в Агентстве «Узстандарт». В результате появилась возможность организации опытно-промышленного производства и контроля качества САЖ клинкеров и безгипсовых цементов на их основе;

низкотемпературная технология производства клинкера САТ и безгипсовых цементов на его основе внедрена на Джизакском цементном заводе ОАО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (Справка АО «Алмалыкский ГМК» №АА-006890 от 19 августа 2021 года). В результате снижение температуры обжига клинкера до 300оС позволило обеспечить 100% экономию природного гипсового камня, 25-30% топливно-энергетических ресурсов;

опытно-промышленной партии САЖ цемента включены в перспективные планы и программы по реализации крупных инвестиционных проектов АО «Навоийский ГМК» (Справка АО «Навоий НМК» №03-02-11/8921 от 14 сентября 2021 года). Это даёт возможность удешевления и повышения эксплуатационных качеств бетонных работ.

**Апробация результатов исследований.** Основные результаты данного исследования обсуждались на 32 Республиканских, 8 зарубежных конференциях и симпозиумах.

**Публикация результатов исследований.** По теме и материалам диссертации опубликовано 52 научных работ, в том числе 1 монография, 10 научных статей, из них 8 в республиканских и 2 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации 210 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлен объект и предмет исследования, соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан, характеристика объектов, методики и применяемая аппаратура, изложены научная новизна и практическая значимость результатов работы, обоснована их достоверность, сведения об апробации, публикации и внедрении результатов работы и о структуре диссертации.

**В первой главе «Современное состояние проблемы разработки и развития технологии сульфферритных композиционных материалов»** приведен анализ информации по данным научно-технической литературы и патентных источников по синтезу и исследованию свойств сульфферрита кальция, клинкеров, цементов и композиционных вяжущих на их основе.

Аналитический обзор источников информации по исследованию особенностей минералообразовательных процессов, протекающих при термической обработке многофазной системы  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4$  и  $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4$ , выявил противоречивые мнения по этому вопросу. Одни авторы считают, что продуктами синтеза при обжиге этих систем являются ферриты и твердые растворы сульфоалюмината и сульфферрита кальция, а сульфферрит вообще не образуется. Другие же утверждают, что при  $1100\text{-}1150^\circ\text{C}$  сульфферрит образуется в системе  $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4$ . Мнения исследователей совпадают только в том плане, что продуктами гидратации сульфферрита кальция в сульфоалюмоферритных клинкерах являются гидросульфферриты, гексагональный гидроферрит кальция и гидрат окиси железа.

В специальной литературе освещены данные по характерным особенностям процессов гидратации либо  $\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}$  и  $\text{C}_4\text{A}_3\check{\text{S}}$  в отдельности, а также смеси  $\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}$  с  $\text{C}_3\text{S}$  и  $\text{C}_2\text{S}$ , либо их твердых растворов, образующихся из расплава - сульфоалюмоферритов кальция.

**Во второй главе «Обоснование выбора объектов и методика выполнения исследований»** приведены характеристики объектов, описаны методы и аппаратура, примененная для выполнения химических, физико-химических и физико-механических исследований.

Объектами исследований явились 2-х и 3-х компонентные сульфоминеральные системы, составленные при различных сочетаниях и соотношениях сульфоминералов: сульфоалюмината  $\text{C}_4\text{A}_3\check{\text{S}}$ , сульфферрита  $\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}$  и сульфо-

силиката кальция  $C_5S_2\check{S}$ ; низкотермичныесульфожелезистые сырьевые смеси, клинкеры, цементы из них и композиционные вяжущие материалы многофункционального назначения на рядовой клинкерной матрице, модифицированнойсульфожелезистым (САЖ) цементом низкотемпературного обжига.

В качестве исходных сырьевых материалов при разработке низкотемпературной технологии получения САЖ цементов и композиционных вяжущих на их основе использованы известняки Кутерминского и Ахангаранского месторождений, отсев известняка, образующегося в качестве отхода производства извести на известковом заводе АО «Алмалыкский ГМК», гематитовая порода Чимкурганского месторождения, отвалы шлаки (ОШМП) и отход переработки шлаков МПЗ АО «Алмалыкский ГМК» (ОПШМП), фосфогипс АО «Аммофос-Максам», флюоритовые пески (табл.1). Синтез сульфоминералов осуществлен путем обжига в силитовой печи ( $C_4A_3\check{S}$ -1300<sup>0</sup>C,  $C_5S_2S$ -1250<sup>0</sup>C,  $C_4F_3S$ -1200<sup>0</sup>C) с использованием химически чистых реактивов:  $CaCO_3$ ,  $CaSO_4$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ . Кинетику минералообразования и завершенность процесса при обжиге сульфоалюможелезистых сырьевых композиций контролировали методом рентгенофазового анализа. Прочность образцов определялась на малых образцах-кубиках с размерами граней 1,41 см состава 1:0

**Таблица 1**

**Химический состав сырьевых материалов**

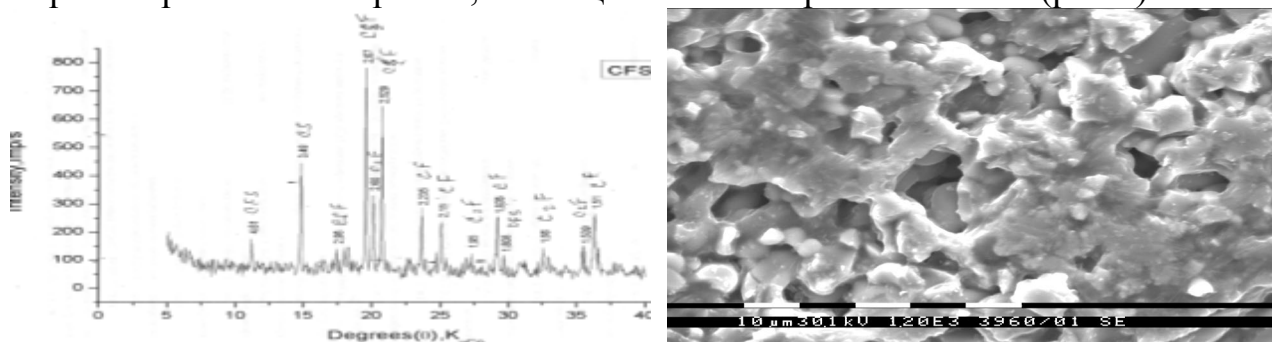
| Материал           | Содержание, масс. % |                                |                                |      |      |                  |                               |                 |      |
|--------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------------------------------|-----------------|------|
|                    | SiO <sub>2</sub>    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | CaO  | R <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | ппп  |
| Известняк          | 3,54                | 1,54                           | 0,44                           | 1,60 | 50,4 | 0,33             | -                             | 0,1             | 42,0 |
| Фосфогипс          | 14,1                | 1,11                           | 0,69                           | 2,15 | 27,3 | 0,3              | 1,7                           | 35,3            | 17,4 |
| Гематитовая порода | 40,5                | 7,04                           | 38,45                          | 0,73 | 3,17 | 2,36             | -                             | 1,54            | 6,8  |
| ОШМП               | 17,0                | 2,15                           | 71,14                          | 1,48 | 1,36 | 1,18             | -                             | 4,98            | -    |
| ОПШМП              | 36,5                | 7,68                           | 48,07                          | 0,29 | 2,76 | 2,51             | -                             | 0,92            | 0,1  |
| Отсев известняка   | 6,58                | 2,50                           | 1,15                           | 0,80 | 48,7 | 0,36             | -                             | 0,33            | 39,5 |

Расчет состава сульфожелезистых сырьевых композиций и определение химико-минералогического состава клинкеров на их основе производили по методике, разработанной Т.А. Атакузиевым, задаваясь значениями  $KH=0,667$ ;  $0,80$  и  $n_s=1,0$ ;  $1,5$ ;  $2,0$ . Физико-механические свойства цементов определены в соответствии с ГОСТ 310.1-76-310.3-76 и ГОСТ 310.4-85. Фазовый состав сульфоминеральных композиций, клинкеров и цементных композитов исследовали рентгенофазовым, ДТА, ИК-спектроскопическим и электронномикроскопическим методами.

В третьей главе «Создание научных основ энерго-, ресурсосберегающих технологии получения новых видов сульфатсодержащих композиционных вяжущих материалов путем выявления закономерностей гидратационного взаимодействия композиций минералов  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$ , и  $C_5S_2\check{S}$ » приведены результаты исследований по выявлению температурной устойчивости, физико-механических и физико-химических свойств минерала

сульфоферрита кальция и его композиций с сульфоалюминатом и сульфо- силикатом кальция при различных их комбинациях и установлению особенностей их взаимодействия при гидратации с образованием сульфо- минеральных композитов с различными морфологическими характеристиками. На основе проведенных исследований получен ряд закономерностей, составляющие научную основу технологии получения сульфожелезистых клинкеров низкотемпературного обжига, обосновывающие возможность синтеза сульфоалюможелезистых клинкеров при низких температурах, в которых минералы  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_5S_2\check{S}$  и  $C_4F_3\check{S}$  могут стабильно сосуществовать в автономном состоянии, а не в виде твердых растворов.

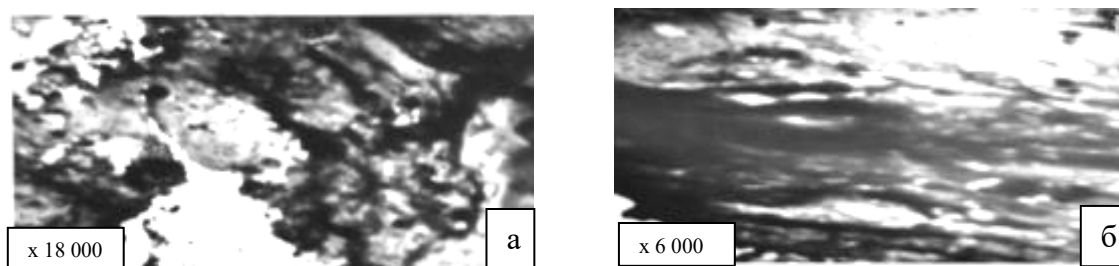
Дифрактограмма безводного  $C_4F_3\check{S}$ , синтезированного при  $1200^\circ\text{C}$  обнаруживает его основные линии при  $d/n=(0,348; 0,265; 0,256; 0,252; 0,222)$  nm (рис.1). Рельеф поверхности скола представлен бесформенной массой с оплавленной поверхностью слоисто-блочного строения. Некоторые участки состоят из крупных зерен, между которыми отмечены борозды скольжения. На отдельных участках зерна  $C_4F_3\check{S}$  имеют различную ориентацию, встречаются крупные зерна в виде блоков, имеющих форму удлиненных призм с размытыми краями, имеющих слоистое расположение (рис.1).



**Рисунок 1. Дифрактограмма и электронная микрофотография поверхности скола безводного  $C_4F_3\check{S}$ , синтезированного при  $1150^\circ\text{C}$**

По гидратационной активности  $C_4F_3\check{S}$  занимает промежуточное положение между  $C_4A_3\check{S}$  и  $C_5S_2\check{S}$ : степень его гидратации в 1,5 раза ниже, чем у  $C_4A_3\check{S}$  и 4-5 раз выше, чем у  $C_5S_2\check{S}$ . Об относительно низкой гидратационной способности  $C_4F_3\check{S}$ , чем  $C_4A_3\check{S}$ , свидетельствуют также данные рентгенофазового анализа: через 28 сут и 3 мес. затвердевшего в воде  $C_4F_3\check{S}$ , кроме отражений гидросульфоферрита кальция отмечены довольно интенсивные линии исходного минерала, тогда как к этому сроку линии гидратированного  $C_4A_3\check{S}$  имеют незначительную интенсивность. С возрастом твердения степень гидратации  $C_4F_3\check{S}$  повышается, в результате увеличивается количество железистого аналога этtringита, кристаллизация которого протекает послойно и ступенчато. При контакте с водой гладкая поверхность зерен  $C_4F_3\check{S}$  как бы набухает, спайность зерен нарушается и к 3 сут из набухшей массы начинают выкристаллизовываться мельчайшие новообразования чешуйчатого строения, имеющие форму сфероидов, звездочек, бантиков и т.д. (рис.2).





**Рисунок 2. Рельеф поверхности скола  $C_4F_3\check{S}$ , гидратированного 3 сут (А) и 28 сут (Б)**

На некоторых участках они имеют определенную ориентацию и, на поверхности затвердевающего минерала, образуют ритмично-кристаллическую структуру. К 3-ем мес., увеличиваясь в объеме и размере, срастаясь и наслаиваясь, эти новообразования образуют слоисто-блочную структуру. Вмежкристаллических порах происходит свободный рост игольчатых и волокнистых кристаллов гидросульфферритов кальция, которые растут от стенок пор во внутрь, заполняя поровое пространство и уплотняя, упрочняют искусственный конгломерат на основе  $C_4F_3\check{S}$ .

На основе этих данных было сделан прогноз о возможном благоприятном влиянии  $C_4F_3\check{S}$  на процесс гидратации, формирования структуры и прочности сульфоминеральных композиций на основе « $C_4A_3\check{S} + C_4F_3\check{S}$ », « $C_4F_3\check{S} + C_5S_2\check{S}$ » и « $C_4A_3\check{S} + C_4F_3\check{S} + C_5S_2\check{S}$ » в более поздние периоды твердения, что очень важно в обеспечении эксплуатационной надежности композиционных вяжущих материалов на их основе. Для научного обоснования этой гипотезы проводилось исследование по исследованию особенностей физико-химических процессов взаимодействия минералов при гидратации двух- ( $C_4A_3\check{S} + C_4F_3\check{S}$ ), « $C_4F_3\check{S} + C_5S_2\check{S}$ ») и трех компонентных (« $C_4A_3\check{S} + C_4F_3\check{S} + C_5S_2\check{S}$ ») систем.

Для проведения исследований составлены механические смеси соотношении: (5÷40)%  $C_4A_3\check{S}$ , (95÷60)%  $C_4F_3\check{S}$ . Установлено, что введение 10-50%  $C_4A_3\check{S}$  ускоряет процесс твердения  $C_4F_3\check{S}$  как в начальные сроки, так и в более поздние периоды твердения. Прочность образцов, в зависимости от дозы  $C_4A_3\check{S}$ , через (1; 3; 7 и 28) сут., соответственно, на (14÷100; 20÷140; 77÷255; 0÷143)% выше прочности  $C_4A_3\check{S}$  и на (77÷ 211; 80 ÷260; 119÷326; 47÷258)% -  $C_4F_3\check{S}$ . В более поздние сроки (через 6 мес.) эти показатели также высокие и на (54-188)% превосходят прочность  $C_4F_3\check{S}$ , но равны или несколько ниже прочности  $C_4A_3\check{S}$  (табл.2).

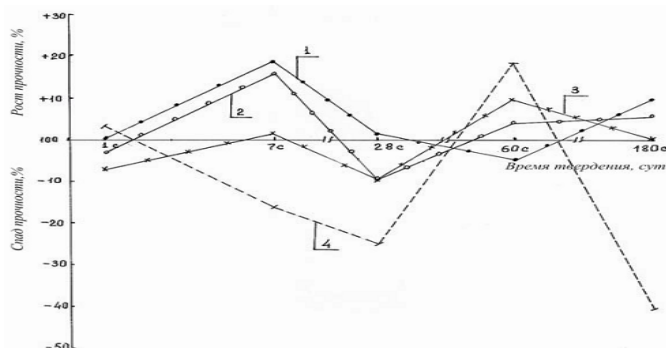
Повышение дозы  $C_4F_3\check{S}$  приводит к замедлению процесса гидратации  $C_4A_3\check{S}$ . Формирование микроструктуры при твердении данной сульфоконпозиции подчиняется законам, присущим для твердения  $C_4A_3\check{S}$ , и протекает послойно с выносом вещества из нижних слоев на поверхностный слой частиц сульфоминералов. При этом основными кристаллическими продуктами гидратирующей системы « $C_4A_3\check{S} + C_4F_3\check{S} + H_2O$ » являются низко- и высокосульфатные гидросульфалюминаты кальция и их железозамещенные аналоги, которые составляют кристаллический каркас скелетной структуры сульфалюможелезистого композита.

Таблица 2

Влияние  $C_4A_3\check{S}$  на показатели прочности  $C_4F_3\check{S}$ 

| Состав композиций, мас. % |                   | Предел прочности при сжатии, МПа, через, сут. |    |    |    |    |     |
|---------------------------|-------------------|---|----|----|----|----|-----|
| $C_4A_3\check{S}$         | $C_4F_3\check{S}$ | 1   | 3  | 7  | 28 | 60 | 180 |
| 100                       | 0                 | 14  | 15 | 18 | 28 | 66 | 75  |
| 0                         | 100               | 9   | 10 | 15 | 19 | 28 | 26  |
| 5                         | 95                | 10  | 14 | 24 | 26 | 32 | 27  |
| 10                        | 90                | 16  | 18 | 32 | 28 | 38 | 40  |
| 20                        | 80                | 18  | 21 | 45 | 45 | 46 | 48  |
| 30                        | 70                | 20  | 32 | 53 | 35 | 42 | 48  |
| 40                        | 60                | 22  | 29 | 40 | 53 | 59 | 57  |
| 50                        | 50                | 28  | 36 | 64 | 68 | 69 | 75  |

Введение до 20%  $C_4F_3\check{S}$  в состав  $C_5S_2\check{S}$ , хотя и несколько замедляет процесс его твердения до 28 сут., однако положительно влияет на набор прочности образцов в более поздние сроки твердения: к 2 месяцам прочность композиций, содержащих 10-50%  $C_4F_3\check{S}$  превышает показателей прочности чистого  $C_5S_2\check{S}$  на 3-17%. К 6 мес. прочность композиций, включающих 5-20%  $C_4F_3\check{S}$ , на 3-9% выше прочности  $C_5S_2\check{S}$  (рис.3). Увеличение содержания  $C_4F_3\check{S}$  до 30-50% к 6 мес снижает прочность  $C_5S_2\check{S}$  от 24 до 49%. В системе « $C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}+H_2O$ »  $C_4F_3\check{S}$  выступает в качестве активатора процесса твердения и набора прочности  $C_5S_2\check{S}$ : в зависимости от дозы  $C_4F_3\check{S}$  скорость гидратации этой композиции в 1,1-1,5 раза выше, чем чистого  $C_5S_2\check{S}$ .



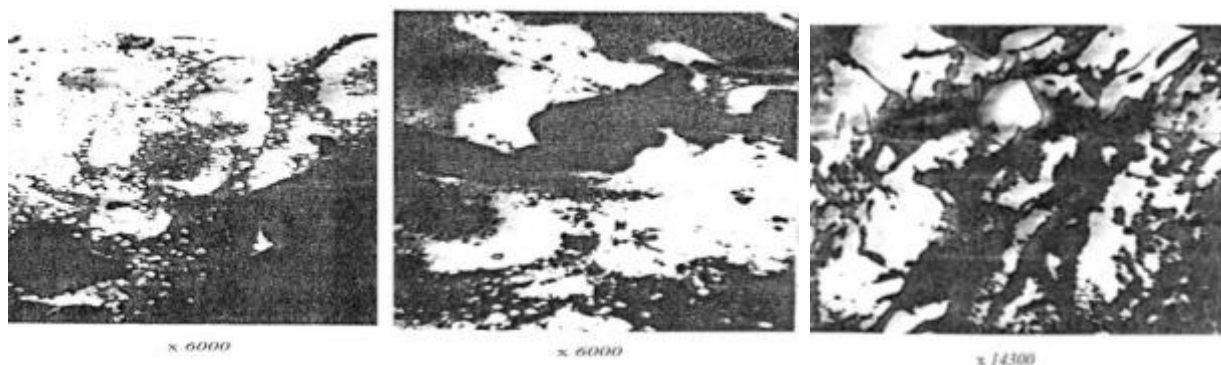
**Рис.3. Изменение прочности при твердении композиции  $C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$  в сравнении с прочностью  $C_5S_2\check{S}$**

Составы:  $C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$ , (мас.%):  
1) 5+95; 2) 10+90; 3) 20+80; 4) 30+70

При контакте с водой она проявляет достаточно высокую структурообразующую способность с кристаллизацией гидросульфферритов и гидросульфосиликатов кальция: сразу после затворения водой поверхность округлых зерен  $C_5S_2\check{S}$  и бесформенных зерен  $C_4F_3\check{S}$  как бы набухают и к 1 сут. на поверхности исходных зерен появляются мельчайшие бугорки роста, которые постепенно увеличиваются в размере. К 3 сут. процесс гидратации затрагивает более глубокие слои композиции, в результате, вырастающие из бугорков роста новообразования, увеличиваясь в размере, образуют кристаллоагрегаты в форме чешуек. Спайность зерен нарушается, кристаллы начинают растворяться друг в друге и формируется гидросиликатная и гидросульфферритная структура минерального композита. С возрастом гидратации структура поверхности зерен композиции претерпевает существенные изменения. К 7 сутки гидратация затрагивает новые слои

композиции, на что указывает появление на поверхности зерен и гидратных продуктов множества новых бугорков роста (рис.4).

Параллельное протекание процессов появления продуктов гидратации и срастания кристаллических новообразований приводит к уплотнению и упрочнению гидратной структуры сульфоферритно-силикатного композита.



**Рисунок 4. Рельеф поверхности скола затвердевшей в течение 7 сут. минеральной композиции из сульфоферрита и сульфосиликата**

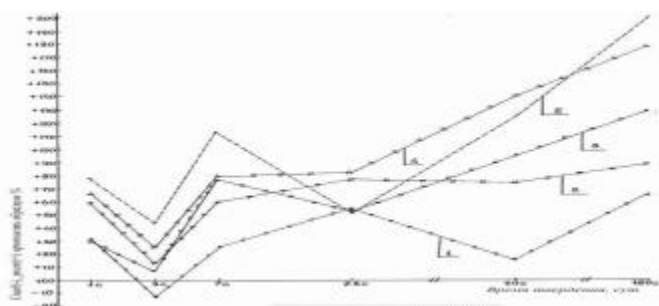
Сульфоминеральная композиция  $C_4A_3\check{S}+C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$  в начальные сроки по скорости твердения занимает промежуточное положение между  $C_4A_3\check{S}$  и  $C_4F_3\check{S}$  (табл. 3).

**Таблица 3**  
**Зависимость прочности сульфокomпозиций  $C_4A_3\check{S}$  -  $C_4F_3\check{S}$  -  $C_5S_2\check{S}$  от вида и дозы сульфоминералов**

| Состав композиций, масс.% |                   |                   | Предел прочности при сжатии, МПа через (сут): |      |      |      |      |      |
|---------------------------|-------------------|-------------------|---|------|------|------|------|------|
| $C_4A_3\check{S}$         | $C_4F_3\check{S}$ | $C_5S_2\check{S}$ | 1   | 3    | 7    | 28   | 60   | 180  |
| 100                       | -                 | -                 | 14,0  | 15,0 | 18,0 | 28,0 | 66,0 | 75,0 |
| -                         | 100               | -                 | 9,0   | 10,0 | 15,0 | 19,0 | 28,0 | 26,0 |
| -                         | -                 | 100               | 12,0  | 12,0 | 16,0 | 22,0 | 25,0 | 56,0 |
| 5                         | 15                | 80                | 11,8  | 12,8 | 22,1 | 29,2 | 31,9 | 42,5 |
| 5                         | 25                | 70                | 14,2  | 16,6 | 23,8 | 33,2 | 47,9 | 48,6 |
| 5                         | 35                | 60                | 14,8  | 18,4 | 26,4 | 28,8 | 53,3 | 59,2 |
| 5                         | 45                | 50                | 11,4  | 15,6 | 27,8 | 32,1 | 58,2 | 69,8 |
| 10                        | 20                | 70                | 11,7  | 15,9 | 26,6 | 34,2 | 66,6 | 72,2 |
| 20                        | 30                | 50                | 11,0  | 16,1 | 28,2 | 36,8 | 55,9 | 74,6 |
| 20                        | 40                | 40                | 15,9  | 21,3 | 31,9 | 38,6 | 63,0 | 78,2 |
| 20                        | 50                | 30                | 15,9  | 21,3 | 26,6 | 34,8 | 68,0 | 78,8 |

К 7 сут скорость процесса твердения и набора прочности возрастает и в зависимости от соотношения минералов в смеси, образцы характеризуются высокой прочностью, превосходящей к 28 сут прочность  $C_4A_3\check{S}$  – на 3-32%;  $C_5S_2\check{S}$  – на 32-75,5%;  $C_4F_3\check{S}$  - на 50,5-169%. Такие же высокие показатели прочности проявляют эти композиции через 6 мес, твердения по отношению к  $C_4F_3\check{S}$  и  $C_5S_2\check{S}$ , а по сравнению с  $C_4A_3\check{S}$ , при низком его содержании, отмечен некоторый спад прочности. Высокие показатели прочности

проявляют композиции с соотношением  $C_4A_3\check{S}:C_4F_3\check{S}:C_5S_2\check{S}=1:2:2$  и  $1:2,5:1,5$ , которые и приняты как оптимальные (рис.5).



**Рис. 5. Изменение прочности минеральной композиции  $C_4A_3\check{S} + C_4F_3\check{S} + C_5S_2\check{S}$  при твердении в сравнении с прочностью  $C_4F_3\check{S}$**

Состав:  $C_4A_3\check{S}+C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$  (мас. %):  
 1) 5+15+80; 2) 5+25+70;  
 3) 5+35+60; 4) 10+20+70; 5) 20+40+40

Гидратационная активность сульфоконпозиций, включающих  $C_4A_3\check{S}+C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$  выше, чем у чистых  $C_4F_3\check{S}$  и  $C_5S_2\check{S}$ . В первые сроки твердения связывание воды в этих системах идет медленнее, чем при гидратации  $C_4A_3\check{S}$ . К 3-м и 7-и сут. процесс ускоряется, в результате чего в гидратные продукты связывается столько же воды, сколько в гидратные новообразования  $C_4A_3\check{S}$ . Начиная с 28 сут количество связанной воды при твердении композиций « $C_4F_3\check{S}+C_5S_2\check{S}$ » по сравнению с ее количеством в гидратированных образцах чистого  $C_4A_3\check{S}$  уменьшается на 6,0-8,3% (табл.4).

**Таблица 4**

**Содержание связанной воды в гидратированных сульфоалюможелезистых минеральных композициях**

| Соотношение компонентов, мас. % |                   |                   | Содержание связанной воды в %, через: |      |      |       |       |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|------|------|-------|-------|
| $C_4A_3\check{S}$               | $C_4F_3\check{S}$ | $C_5S_2\check{S}$ | 1сут                                  | 3сут | 7сут | 28сут | 90сут |
| 100                             | -                 | -                 | 11,8                                  | 22,2 | 25,8 | 28,8  | 31,5  |
| -                               | 100               | -                 | 6,2                                   | 14,6 | 16,6 | 20,4  | 25,8  |
| -                               | -                 | 100               | 2,2                                   | 2,4  | 2,8  | 5,3   | 18,2  |
| 10                              | 20                | 70                | 12,0                                  | 15,7 | 17,5 | 19,4  | 21,3  |
| 20                              | 30                | 50                | 10,7                                  | 15,4 | 17,5 | 15,9  | 19,2  |
| 20                              | 40                | 40                | 10,8                                  | 15,5 | 18,1 | 21,5  | 19,7  |
| 20                              | 50                | 30                | 10,9                                  | 14,5 | 17,2 | 21,3  | 20,8  |

Рентгенофазовым и ИК-спектроскопическими методами установлено, что основными продуктами при гидратации композиции  $C_4A_3\check{S}-C_4F_3\check{S}-C_5S_2\check{S}-H_2O$  в ранние сроки являются гидраты  $C_4A_3\check{S}$  и  $C_4F_3\check{S}$  в моносльфатной форме, портландит и двуводный гипс, а к 3 сут и в дальнейшие сроки твердения — этtringит, его железозамещенный аналог и гидросульфосиликаты кальция. Благодаря ступенчатому характеру протекания процесса гидратации сульфо-алюмо-железистых минеральных композиций происходит постепенная кристаллизация гидратных новообразований с последующим их срастанием и растворением друг в друге в течение продолжительного времени, что приводит к постепенному уплотнению и упрочнению структуры сульфоалюможелезистого композита, и он приобретает высокую прочность, показатели которой в некоторых случаях превосходят таковых  $C_4A_3\check{S}$ .

Результаты исследований процессов формирования микроструктуры при гидратации сульфоалюмо-железистых систем с образованием прочного искусственного конгломерата служат достаточно убедительной научной

базой для разработки энергосберегающих составов сырьевых композиций и технологии получения САЖ цемента, производство которого обеспечить значительное энергосбережение за счет высокой их реакционной способности и получение клинкера высокого качества при относительно низкой температуре обжига клинкеров (1150-1200<sup>0</sup>С), цементы которого на их основе по прочности не будут уступать традиционному портландцементу, а по строительно-техническим свойствам существенно превосходят его.

В четвертой главе «**Разработка энерго-ресурсосберегающей технологии получения сульфоалюможелезистых клинкеров и композиционных вяжущих на базе местных минеральных и техногенных сырьевых ресурсов**», с учетом результатов исследований физико-механических и физико-химических свойств модельных составов сульфоконпозиций из трех сульфоминералов рассчитаны составы сырьевых композиций с использованием различных природных и техногенных местных сырьевых материалов. Путем их низкотемпературного обжига синтезированы клинкеры, основными минералами которых являются сульфоалюминат, сульфосиликат и сульфоферрит кальция.

Для синтеза низкотемпературных сульфоалюможелезистых (САЖ) клинкеров сырьевую композицию на основе известняка, фосфогипса и железистой руды рассчитывали при КН=0,667 и 0,8; n<sub>S</sub>=1,0; 1,5; 2,0. В зависимости от значений КН и n<sub>S</sub> сырьевой композиции, содержание железистой руды в них колеблется от 14,32 до 23,78%, фосфогипса - от 16,16 до 33,68%, известняка - от 50,03 до 62,84%. Химический состав клинкеров на основе указанных сырьевых композиций включает до 13,14% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и до 20,4 % SO<sub>3</sub>. По содержанию C<sub>4</sub>A<sub>3</sub>S̄ и C<sub>4</sub>F<sub>3</sub>S̄ клинкеры с КН=0,667 и 0,8 незначительно отличаются друг от друга, а по содержанию C<sub>5</sub>S<sub>2</sub>S̄ – отличие существенное. При КН=0,667 содержание C<sub>5</sub>S<sub>2</sub>S̄ на 3-4% больше, чем в клинкере с КН=0,8. С повышением n<sub>S</sub> увеличивается содержание CaSO<sub>4</sub>. Причем его содержание в САЖ клинкерах с КН=0,8 выше, чем с КН=0,667 (табл.5)

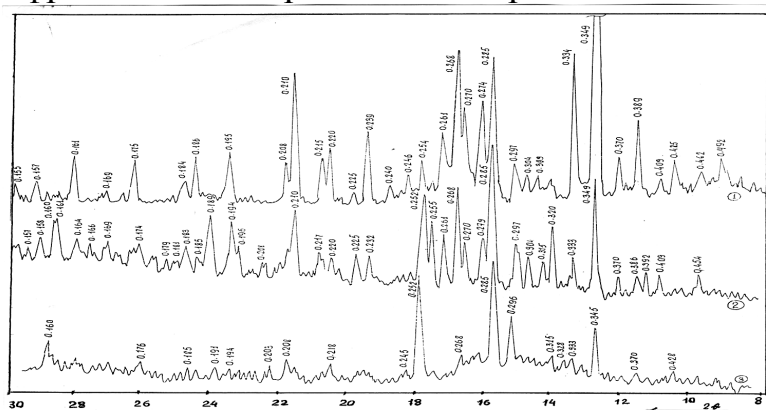
**Таблица 5**

**Расчетный минералогический состав САЖ клинкеров на основе фосфогипса и железистой руды**

| Значения величин |                | Содержание минералов, масс.%     |                                  |   |                       |
|------------------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|---|-----------------------|
| КН               | n <sub>S</sub> | C <sub>4</sub> A <sub>3</sub> S̄ | C <sub>4</sub> F <sub>3</sub> S̄ | C <sub>5</sub> S <sub>2</sub> S̄+C <sub>2</sub> S | CaSO <sub>4</sub> изб |
| 0,667            | 1,0            | 7,36                             | 19,55                            | 73,0  | 0,9                   |
|                  | 1,5            | 6,30                             | 17,76                            | 68,72   | 7,24                  |
|                  | 2,0            | 5,46                             | 14,53                            | 63,44   | 16,57                 |
| 0,80             | 1,0            | 7,08                             | 19,53                            | 70,12   | 3,27                  |
|                  | 1,5            | 6,16                             | 16,11                            | 64,60   | 12,13                 |
|                  | 2,0            | 5,39                             | 13,14                            | 59,80   | 27,67                 |

При обжиге САЖ сырьевых композиций процесс диссоциации CaCO<sub>3</sub> и взаимодействие компонентов протекает интенсивно с полным усвоением CaO<sub>св</sub> и завершением процесса минералообразования при температуре 1150-1200<sup>0</sup>С. Дифрактограммы спеков САЖ сырьевых смесей с КН=0,667, n<sub>S</sub>=1,0,

обожженных при  $700^{\circ}\text{C}$  обнаруживают в основном интенсивные дифракционные отражения минералов исходных компонентов (рис.6).



**Рис.6. Дифрактограммы продуктов обжига САЖ сырьевых композиций с  $\text{KH}=0,667$  и  $n_s=1,0$ .**

$T_{\text{обж}}, ^{\circ}\text{C}$ : 1000 (1);  
1100 (2);  
1200 (3).

Линия небольшой интенсивности с  $d/n=(0,240$  и  $0,269)$  nm свидетельствует о начале разложения  $\text{CaCO}_3$  с выделением  $\text{CaO}$  и образованием  $\text{C}_2\text{F}$ . При температуре  $(800-900)^{\circ}\text{C}$  начинает образовываться  $\text{CF}$  с  $d/n=(0,401; 0,282; 0,258; 0,256)$  nm. Полная диссоциация  $\text{CaCO}_3$  с выделением  $\text{CaO}_{\text{св}}$  и его взаимодействие с железо-, сульфат- и алюминатными составляющими сульфожелезистой сырьевой шихты происходит при температуре  $1100^{\circ}\text{C}$ , что подтверждается отсутствием на дифрактограмме характерных линий кальцита, ангидрита, гематита, геленита и появлением достаточно интенсивных отражений  $\text{C}_4\text{F}_3\text{S}$  с  $d/n=(0,268; 0,254; 0,188)$  nm,  $\text{C}_5\text{S}_2$  ( $d/n=0,453; 0,346; 0,333; 0,331; 0,282; 0,260$ ) nm и  $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$  с  $d/n=0,374$  nm. Повышение температуры до  $1200^{\circ}\text{C}$  незначительно увеличивает интенсивность линий минералов. При температуре выше  $1200^{\circ}\text{C}$   $\text{C}_4\text{F}_3\text{S}$  и  $\text{C}_5\text{S}_2$  частично разлагаются соответственно, на  $\text{C}_2\text{F}$ ,  $\text{CS}$  и  $\text{C}_2\text{S}$ . Такая же тенденция минералообразования отмечена при обжиге САЖ сырьевых смесей с  $\text{KH}=0,80$  и  $n_s=1,0$ . Рельеф поверхности скола САЖ клинкеров, в зависимости от значений  $\text{KH}$  и  $n_s$  шихты, характеризуется пористостью с различной степенью. В основной массе поверхность зерен клинкеров оплавлена и не имеют определенную геометрическую форму. По всей вероятности они относятся к  $\text{C}_4\text{F}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{F}$  и  $\text{C}_5\text{S}_2$  (рис.7).



**Рис.7. Микрофотографии реплик с поверхности САЖ клинкеров  $\times 5300$**   
Состав:  $\text{KH}=0,667$  и  $n_s=1,0$  (а); 1,5 (б); 2,0 (в).  $T_{\text{обж}}=1200^{\circ}\text{C}$

В порах между этими зернами расположены зерна круглой формы, относящиеся к  $\text{C}_2\text{S}$  и  $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ . Поры образуются вследствие выделения  $\text{SO}_3$  за счет диссоциации сульфата кальция, образующегося в результате разложения сульфодерритной и сульфосиликатной составляющей клинкера при  $1200^{\circ}\text{C}$ , что указывает на возможность снижения температуры обжига

сульфоалюможелезистой сырьевой смеси еще порядка на 50°C. Прочность САЖ цементов находится в прямой зависимости от значений КН,  $n_s$  клинкера и температуры обжига: при КН=0,067 цементы с  $n_s=1,5$  и 2,0, синтезированные при 1200°C, проявляют более высокие показатели прочности, чем при  $n_s=1,0$ . При этом они на 35-85% выше, чем у традиционного портландцемента (ПЦ). Повышение КН до 0,8 приводит к снижению прочности САЖ цемента, особенно при  $n_s=1,0$ , а при  $n_s=1,5$  и 2,0 она хотя и ниже, чем у САЖ цементов с КН=0,067, но начиная с 3 сут до 3 мес значительно (на 24-47%) выше, чем прочность рядового ПЦ (табл. 6).

**Таблица 6**

**Физико-механические показатели САЖ цементов из клинкеров, синтезированных при 1200°C (образцы-кубики 1,41x1,41x1,41см, состав 1:0)**

| Значения параметров |       | Сроки схватывания, ч-мин |       | Предел прочности при сжатии, МПа, через (сут): |      |      |              |       |
|---------------------|-------|--------------------------|-------|--|------|------|--------------|-------|
| КН                  | $n_s$ | начало                   | конец | 1  | 3    | 7    | 28           | 90    |
| 0,667               | 1,0   | 0-58                     | 1-56  | 8,4  | 20,0 | 38,0 | 72,0         | 102,0 |
|                     | 1,5   | 1-10                     | 1-59  | 10,2   | 28,0 | 44,0 | <b>95,0</b>  | 108,0 |
|                     | 2,0   | 1-42                     | 2-02  | 14,2   | 29,0 | 54,0 | <b>122,0</b> | 142,0 |
| 0,80                | 1,0   | 1-08                     | 1-58  | 8,2  | 16,0 | 30,0 | 58,0         | 84,0  |
|                     | 1,5   | 1-42                     | 2-05  | 8,8  | 22,0 | 34,0 | 71,0         | 98,0  |
|                     | 2,0   | 1-46                     | 2-05  | 9,6  | 26,0 | 40,0 | <b>92,0</b>  | 116,0 |
| ПЦ-0,92             |       | 2-53                     | 6-02  | 9,8  | 21,9 | 31,6 | 66,1         | 78,0  |

Повышение температуры обжига до 1250°C несколько снижает прочность САЖ цементов с КН=0,067 при всех значениях  $n_s$ , однако они выше, чем у высокотемпературного портландцемента. При КН=0,8, независимо от значений  $n_s$ , САЖ цементы, полученные при 1250 °С резко сбрасывают прочность. Исходя из полученных результатов, оптимальными параметрами получения САЖ клинкеров и цементов на их основе можно считать КН =0,067,  $n_s=1,5-2,0$ , температуру обжига 1150-1200 °С. САЖ цементы из трехкомпонентных сырьевых композиций, составленных из известняка, фосфогипса и железосодержащей руды, полученные соблюдением указанных технологических параметров, гарантируют марку 400-500.

Расчет сырьевой композиции для синтеза САЖ клинкера с использованием отсева известняка–отхода известкового завода, отхода переработки медеплавильных шлаков (ОПМШ) и фосфогипса АО «Аммофос - Максам» выполнили при КН=0,667 и 0,80;  $n_s=1,0.1,5; 2,0$ . При этом содержание ОПМШ в сырьевых композициях составило от 9,6 до 17,6%, фосфогипса – от 25,63 до 42,16%, отсева известняка – от 48,2 до 57,21% (табл.7).

Таблица 7

## Соотношение ингредиентов в составе САЖ сырьевых смесей

| КН    | n <sub>S</sub> | Содержание компонентов смеси, % |           |                  |
|-------|----------------|---------------------------------|-----------|------------------|
|       |                | ОПМШ                            | Фосфогипс | Отсев известняка |
| 0,667 | 1,0            | 17,16                           | 25,63     | 57,21            |
|       | 1,5            | 14,54                           | 33,16     | 52,30            |
|       | 2,0            | 9,9                             | 51,1      | 39,0             |
| 0,80  | 1,0            | 14,81                           | 26,92     | 58,27            |
|       | 1,5            | 10,85                           | 40,82     | 48,33            |
|       | 2,0            | 9,6                             | 42,16     | 48,24            |

В зависимости от значений КН и содержание минералов САЖ клинкеров находится в пределах, приведенных в табл.8.

Таблица 8

## Минералогический состав САЖ клинкеров на основе отходов переработки шлаков МП и фосфогипса

| Значения |                | Содержание основных минералов, масс. %: |                                 |   |                   |
|----------|----------------|---|---------------------------------|---|-------------------|
| КН       | n <sub>S</sub> | C <sub>4</sub> A <sub>3</sub> Š         | C <sub>4</sub> F <sub>3</sub> Š | C <sub>5</sub> S <sub>2</sub> Š+ C <sub>2</sub> S | CŠ <sub>изб</sub> |
| 0,667    | 1,0            | 8,17                                    | 20,23                           | 78,40   | -                 |
|          | 1,5            | 7,26                                    | 17,39                           | 76,96   | 3,88              |
|          | 2,0            | 5,83                                    | 11,67                           | 74,04   | 19,69             |
| 0,80     | 1,0            | 4,00                                    | 18,00                           | 76,00   | -                 |
|          | 1,5            | 6,28                                    | 12,68                           | 71,08   | 11,9              |
|          | 2,0            | 6,32                                    | 11,88                           | 72,72   | 13,07             |

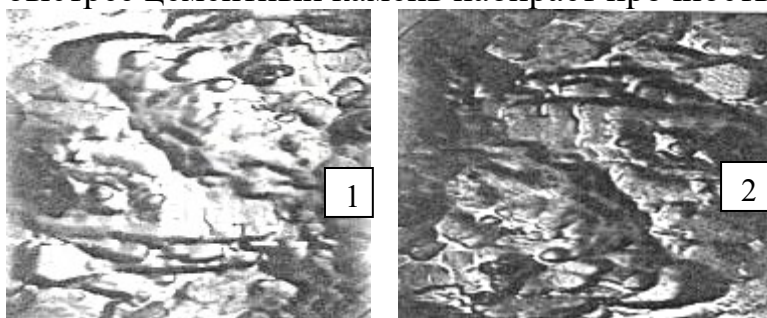
Реакционная способность САЖ сырьевых композиций изучалась в температурном интервале 800-1250<sup>0</sup>С с экспозицией через каждые 100<sup>0</sup>С. Оптимальная температура синтеза САЖ клинкера с КН=0,667 и 0,80 составляет 1150<sup>0</sup>С, а при КН=0,90 и КН=1,0-1200<sup>0</sup>С. Последовательность процесса минералообразования и формирование фазового состава САЖ клинкеров в зависимости от значений КН и n<sub>S</sub>, подчиняются тем закономерностям, выявленным при обжиге аналогичных сырьевых композиций, содержащих в качестве железосодержащего ингредиента отвалы шлаки МПЗ.

Рентгенофазовый анализ клинкеров подтверждает полное соответствие их фактического минералогического состава расчетным данным. Электронно-микроскопические исследования поверхности скола САЖ клинкера с КН=0,80 и n<sub>S</sub>=2,0, обожженного при 1200<sup>0</sup>С представлен оплавленной массой из мельчайших округлых зерен C<sub>4</sub>F<sub>3</sub>Š, в которой растворены подобные зерна сульфоалюмината и удлиненные с оплавленными краями хаотично расположенные зерна C<sub>5</sub>S<sub>2</sub>Š. Местами эти зерна расположены блоками, а местами – по кругу (рис.8).

Общая шероховатость рельефа свидетельствует о присутствии множества пор, образованных, видимо, вследствие выделения SO<sub>2</sub> в процессе обжига сульфоалюможелезистой сырьевой шихты в результате частичного разложения C<sub>4</sub>F<sub>3</sub>Š и C<sub>5</sub>S<sub>2</sub>Š соответственно на C<sub>2</sub>F, C<sub>2</sub>S и CŠ. К 3 сут. Твердения в воде стандартные образцы САЖ цемента состава 1:3 набирают



порядка 75% от марочной прочности, что позволяет отнести их к категории быстротвердеющих цементов, причем, чем выше значения КН и  $n_s$ , тем быстрее цементный камень набирает прочность.



**Рисунок 8. Рельеф поверхности скола САЖ клинкеров с КН=0,667;  $n_s=1,5$ , обожженных при 1150 (1) и 1200°С (2) x 1300**

Показатели прочности к 28 сут при КН=0,80;  $n_s=1,5$  и 2,0 составляют соответственно 52,12 и 54,36 МПа. (табл.9).

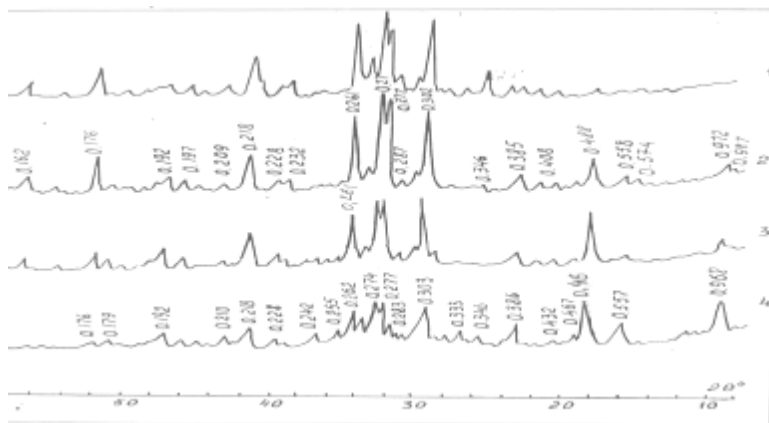
**Таблица 9**

**Физико-механические характеристики САЖ цементов**

| Значения      |       | Сроки схватывания, ч-мин. |       | Предел прочности при сжатии (МПа), в возрасте (сут): |      |       |      |
|---------------|-------|---------------------------|-------|--|------|-------|------|
| КН            | $n_s$ | начало                    | конец | 3  | 7    | 28    | 90   |
| 0,667         | 1,5   | 2-32                      | 6-08  | 31,8   | 36,6 | 45,75 | 56,5 |
|               | 2,0   | 2-04                      | 5-42  | 33,2   | 36,8 | 47,22 | 58,7 |
| 0,80          | 1,5   | 2-38                      | 5-38  | 36,4   | 38,6 | 52,12 | 60,6 |
|               | 2,0   | 2-19                      | 5-03  | 39,6   | 42,8 | 54,36 | 61,7 |
| 0,92 ПЦ М-400 |       | 3-50                      | 4-50  |  | 18,6 | 24,4  | 44,2 |

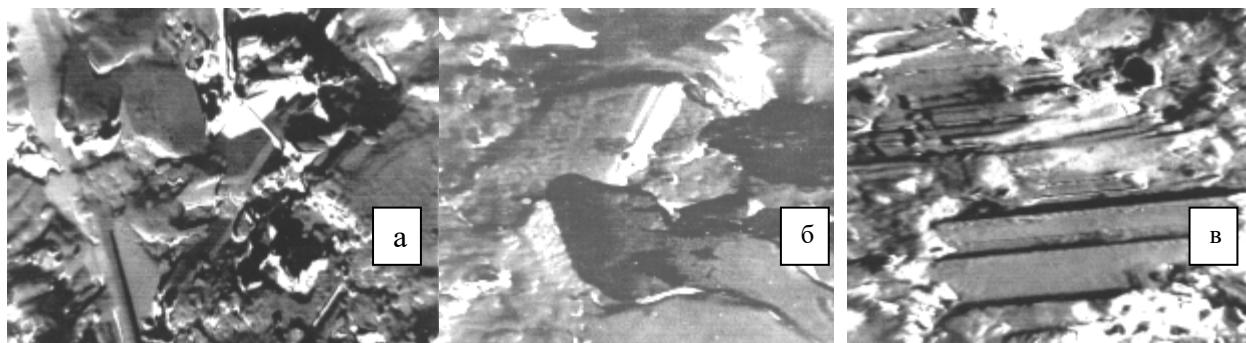
С возрастом твердения процесс гидратации и твердения САЖ цементов замедляется: к 3 мес прирост их прочности составляет при КН=0,667 от 10,75 до 11,48 МПа соответственно при  $n_s=1,5$  и 2,0, а при КН=0,80;  $n_s=1,5$  и 2,0 – соответственно 8,48 и 6,54 МПа. Средняя прочность цементов на основе синтезированных клинкеров, в зависимости от значений КН и  $n_s$ , составила 58,0 МПа.

В пятой главе «Исследование процессов гидратации сульфатоможелезистых цементов с установлением физико-химических закономерностей формирования сульфоконкрета при их твердении» приводятся результаты физико-химических исследований процессов гидратации, фазового состава и генезиса микроструктуры камня при твердении САЖ цементов, результаты которых обосновывают фактор достижения его высоких физико-механических показателей. Установлено, что уже через 10 мин. после контакта с водой на дифрактограмме САЖ цемента появляются линии слабой интенсивности при  $d/n=(0,731; 0,482; 0,301; 0,246; 0,231; 0,217; 0,206; 0,186; 0,182)$  nm, по всей вероятности относящиеся к высокосульфатному гидросульфферриту кальция  $3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ . Линия  $CaSO_4$  с  $d/n=0,345$  nm имеет высокую активность, интенсивность которой до 16 ч изменяется незначительно. Через 1 сут твердения на дифрактограмме появляются также отражения эттрингита при  $d/n=(0,592; 0,382)$  nm, интенсивность которого значительно увеличивается к 7 сут. К 28 сут преобладающей фазой являются  $3CA \cdot 3CS \cdot 32H$  и  $3CF \cdot 3CS \cdot 32H$ ,  $Ca(OH)_2$  отсутствует, а линия  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  имеет небольшую интенсивность (рис.9).



**Рис. 9.**  
**Дифрактограммы**  
**САЖ цемента**  
**твердевшего**  
**1(1), 3(2), 7(3), 28 (6) сут**  
**в воде**

Линии слабой интенсивности при  $d/n=(0,378; 0,366)$  nm и достаточно сильные линии с  $d/n=0,347$  nm свидетельствует о наличии в системе «цемент-вода» безводных  $C_4F_3\check{S}$  и  $CaSO_4$ , что указывает на продолжающийся процесс гидратации. Такой характер последовательного протекания процесса гидратации САЖ цемента обеспечивает постепенное уплотнение и упрочнение формирующегосясульфоалюможелезистого композита. Гладкая поверхность зерен САЖ цементов, первоначально спаянные друг с другом, после затворения водой, адсорбируя воду как бы начинают отделяться друг от друга и набухать, вследствие чего к 7 сут. поверхность скола сплошь покрывается чешуеобразными продуктами гидратации (рис.10). Рельеф поверхности камня САЖ цемента уже к 14 сут приобретает достаточную плотность за счет образовавшихся игольчатых и призматических кристаллов этtringита и его железозамещенного аналога, которые к 21 сут. образуют блоки с шероховатой поверхностью и рифлеными краями, срастающимися в крупные агрегаты, перерастающие к 28 сут в кристаллические сrostки и блоки из кристаллоагрегатов, межкристаллическое пространство которых заполняются новыми порциями гидратных продуктов (гидросульфферритов, гидросиликатов и гидросульфосиликатов).



**Рисунок 10. Рельеф поверхности сколасульфоалюможелезистого композита, твердевшего а-14сут; б-21сут; в-28сут**

Приведенные выше гидратные соединения, благодаря родственному кристаллическому строению плотно упаковываются и микроструктурасульфоалюможелезистого композита уплотняясь приобретает блочно-слоистый характер, упрочняется и тем самым, обеспечиваются высокие показатели его прочности и другие важнейшие эксплуатационные свойства.

В шестой главе «Разработка составов композиционных вяжущих материалов многофункционального назначения на основесульфо-

**алюмо-железистых клинкеров»** проведены исследования по изучению влияния САЖ клинкера на физико-механические и физико-химические свойства портландцемента с разработкой эффективных составов и технология получения композиционных вяжущих материалов многофункционального назначения путем гидратационного легирования портландцементов САЖ цементом и различными наполнителями, определены рациональные области их применения.

Совместный помол 95-75% рядового ПЦ клинкера и 5-25% САЖ клинкера с  $KH=0,667$  и  $p_s=1,5$  позволяет получить композиционные вяжущие, которые отличаются ускоренным твердением и набором прочности, показатели прочности которого в ранние сроки в 1-2 раза выше, чем у матричного ПЦ. Это видимо, связано присутствием в их составе значительного количества избытка  $CaSO_4$  (3,88-19,69%), который реагируя с  $C_4A_3\check{S}$  и  $C_4F_3\check{S}$ , и интенсивно связывая  $Ca(OH)_2$ , выделяющийся в процессе твердения портландцемента, образует этtringит и ферриэтtringит, которые служат кристаллическим каркасом формирующегося вяжущего композита и способствуют повышению его прочности. Самые высокие показатели прочности композиционных вяжущих композиций отмечены при использовании САЖ клинкеров с  $KH=0,8$  и  $p_s=1,5$  и 2,0: они уже через 1 сут. твердения в 2,2–2,6 раза выше, чем у ПЦ-Д0, что объясняется более высоким содержанием в них  $C_4A_3\check{S}$  и несвязанного  $C\check{S}$ .

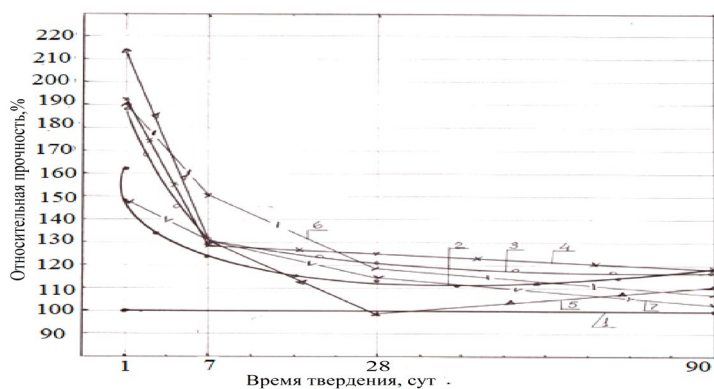
При продолжительном твердении скорость набора прочности композиционного вяжущего зависит от дозы вводимого САЖ клинкера: при его дозе 5-15% показатели его прочности при изгибе значительно выше, чем у матрицы, а при повышенной дозировке (15-25%) - они равны с показателями матричного портландцемента (табл.10).

**Таблица 10**

**Зависимость прочности композиционных вяжущих материалов от дозы ПЦ и САЖ клинкера**

| Состав композиции, % |             | Предел прочности в МПа, при: |     |     |     |                      |      |      |      |
|----------------------|-------------|------------------------------|-----|-----|-----|----------------------|------|------|------|
| ПЦ клинкер           | САЖ клинкер | изгибе, через (сут):         |     |     |     | сжатии, через (сут): |      |      |      |
|                      |             | 1                            | 7   | 28  | 90  | 1                    | 7    | 28   | 90   |
| 100                  | 0           | 3,2                          | 6,3 | 7,4 | 7,6 | 10,0                 | 29,4 | 42,6 | 48,8 |
| 95                   | 5           | 3,8                          | 6,7 | 7,9 | 7,9 | 16,2                 | 36,6 | 48,5 | 58,0 |
| 90                   | 10          | 4,0                          | 6,8 | 8,2 | 7,6 | 18,8                 | 38,9 | 52,1 | 57,2 |
| 85                   | 15          | 3,4                          | 6,2 | 7,5 | 7,2 | 19,3                 | 38,1 | 53,2 | 58,0 |
| 80                   | 20          | 3,6                          | 6,0 | 7,4 | 7,6 | 20,3                 | 37,8 | 54,3 | 55,3 |
| 75                   | 25          | 3,6                          | 5,8 | 7,6 | 7,4 | 21,4                 | 38,3 | 42,4 | 53,8 |
| 70                   | 30          | 3,8                          | 5,8 | 7,9 | 7,9 | 18,9                 | 44,5 | 50,5 | 52,2 |
| 50                   | 50          | 4,0                          | 5,7 | 7,6 | 7,8 | 15,8                 | 38,7 | 48,6 | 50,0 |

Образцы модифицированной вяжущей композиции, даже при высоком содержании САЖ клинкера (30-50%), показывают более высокую прочность при сжатии, чем у образцов матрицы, причем, в 1-7 сут. с повышением дозы САЖ клинкера ускоряется процесс твердения и образцы проявляют почти в 1,5-2,0 раза высокую прочность, чем образцы из матрицы (рис. 11).



**Рисунок 11. Изменение прочности композиционных вяжущих материалов, содержащих 1-5%; 2-10%; 3-15%; 4-25%; 5-30%; 6-50% САЖ клинкера**

Как показывают результаты определения СаО, это объясняется ускоренным связыванием Са(ОН)<sub>2</sub>, выделяемого из ПЦ, в водонерастворимые соединения типа гидросульфоалюминаты и гидросульфоферриты кальция. Содержание СаО в жидкой фазе, где хранились образцы цементной композиции, содержащей 50% САЖ клинкера, в начальные сроки (до 6 ч) от 3-х до 9 раз меньше, чем в жидкой фазе, в которой хранились образцы бездобавочного ПЦ. Начиная с 1 сут до 28 сут содержание СаО, выщелачиваемого из образцов ПЦ в 1,2-1,5 раза больше, чем из образцов из композиционного вяжущего. С возрастом твердения снижение прочностных показателей образцов не отмечено, и они на 10-18% выше, чем у матричного ПЦ. Следовательно, введение 5-35% САЖ цемента в состав рядового ПЦ переводит его в разряд высокопрочных цементов, обладающих к 28 сут прочностью, на 25-35% превышающей прочность матричного ПЦ вследствие благоприятного сочетания минералов портланд- и САЖ цементов, обуславливающих интенсивное протекание процессов гидратации и структурообразования формирующегося вяжущего композита.

Прочность разработанных цементных композиций зависит от значений КН и  $n_s$  САЖ цемента: стабильно высокие показатели прочности получены при добавке САЖ цемента с КН=0,80;  $n_s=1,0$  и 2,0. Прочность этих композиций уже через 1 сут. твердения в 2,2 – 2,6 раза превышает показатели прочности матричного ПЦ, а к 28 сут эта разница составляет 1,3-1,4 раза.

Введение 10% САЖ клинкера придает рядовому ПЦ расширяющиеся свойства: к 3 сут величина линейного расширения образцов 0,19%, к 14 сут увеличивается лишь на 0,02%, а в дальнейшем она остается неизменной до 3 мес. При дозе 30% САЖ клинкера степень линейного расширения к 3 сут составляет 0,27%, и она к 28 сут стабилизируется. При соотношении ПЦ и САЖ клинкера 1:1 достигнута достаточно высокая степень расширения: 0,35%- через 3 сут, 0,40%-через 28 сут и она стабильно сохранилась до 3 мес. Разработанное композиционное вяжущее имеет также высокие показатели водонепроницаемости-через 7 сут он выдерживает давление 20 ати; морозостойкость-200 циклов теплосмен (снижение прочности 12%); сульфатостойкость-КС<sub>180</sub>=1,34-1,42 в 3%-ном Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, атмосферостойкость-100 циклов.

В седьмой главе «Разработка нормативной базы, опытно-промышленное производство сульфожелезистых клинкеров и композиционных вяжущих материалов экономическая эффективность

**разработанных технологий»** включает результаты по разработке НТД на опытное производство САЖ клинкеров, по выпуску и испытанию опытных партий цементов и композиционных вяжущих материалов на их основе в различных условиях, рекомендаций по опытно-промышленному освоению разработанных технологий и технико-экономическому обоснованию их промышленного освоения и применения.

Опытно-производственные испытания проведены путем выпуска партии САЖ клинкера в цехе Алмалыкского ГМК путем обжига при  $1150^{\circ}\text{C}$  сырьевых смесей  $\text{KH}=0,667$  и  $n_s=1,5$  с использованием отсева известняка, фосфогипса АО «Аммфос-Максам», переработанных медеплавильных шлаков АО «Алмалыкский ГМК». Опытные партии САЖ цементов испытаны по методике ГОСТ 310.4-85 в аккредитованной испытательной лаборатории НИиИЦ «СТРОМ». В качестве базы для сравнения служил портландцемент АО «Кизилкумцемент» М400 Д20. САЖ цементы схватываются быстрее (начало 0,58 мин-1ч 5 мин, конец 2 ч- 2ч 28 мин), чем ПЦ и активность к 28 сут 47,5-50,6 МПа, что соответствует марке «400» и «500». Испытание композиционных вяжущих на основе ПЦ, модифицированного САЖ клинкером и различными наполнителями (флюоритовым песком и переработанными шлаками МПЗ) проведены на объектах АО «Навоийский ГМК» - для приготовления строительных смесей, которые использованы для торкетирования подземных выработанных пространств и устройства долговечного, износостойкого и противодиффузионного гидрометаллургических полов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ информации научно-технической литературы и патентных источников теоретически и практически дает возможность обоснования образования сульфогеррита кальция в температурном диапазоне  $800-1150^{\circ}\text{C}$  и его автономного существования при синтезе из алюминат-, сульфат- и железосодержащих модельных композиций без образования твердых растворов с сульфоалюминатом кальция.

2. Установлены кинетика минералообразовательных процессов при обжиге системе « $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4$ », температурная устойчивость  $\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}$ , определены его физико-механические и физико-химические свойства. Выявлено, что  $\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}$  степень гидратации в 1,5 раза ниже, чем у  $\text{C}_4\text{A}_3\check{\text{S}}$  и в 4-5 раз выше, чем у  $\text{C}_5\text{S}_2\check{\text{S}}$  и по гидратационной активности он занимает промежуточное положение между этими двумя сульфоминералами.

3. Установлены особенности химического взаимодействия трех видов сульфоминералов при гидратации двух- ( $\text{C}_4\text{A}_3\check{\text{S}}+\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}$ ; « $\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}+\text{C}_5\text{S}_2\check{\text{S}}$ ») и трехкомпонентных (« $\text{C}_4\text{A}_3\check{\text{S}}+\text{C}_4\text{F}_3\check{\text{S}}+\text{C}_5\text{S}_2\check{\text{S}}$ ») сульфоминеральных систем, научно обоснована корреляционная зависимость «состав-структура-прочность» при твердении этих композиций путем исследования фазового состава новообразований, генезиса структуры и физико-механических свойств сульфоминеральных композитов.

4. Гидравлическая активность сульфоалюможелезистых минеральных значительно выше, чем у портландцемента ПЦ400-Д0 АО «Ахангаранцемент», на основе чего выданы прогнозные заключения по оптимальным комбинациям и соотношениям  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$  и  $C_5S_2\check{S}$ , обеспечивающие высокую гидравлическую активность цементов на их основе.

5. Разработаны энергоэкономичные составы сульфожелезистых сырьевых композиций с использованием местных минеральных (известняк, железистая руда) и техногенных (фосфогипс, переработанные шлаки медеплавильного производства, отсева известняка) сырьевых ресурсов и технология получения сульфоалюможелезистых клинкеров и цементов на их основе.

6. Определены оптимальные значения химико-технологических параметров формирования сульфожелезистых сырьевых композиций ( $KH=0,667$ ;  $n_s=1,5-2,0$ ) путем комплексного использования как природных (известняк, гематитовая порода), так и техногенных (отсев известняка, переработанные шлаки медеплавильного производства, фосфогипс), оптимальная температура их обжига ( $1150-1200^{\circ}C$ ) для синтеза САЖ клинкеров.

7. Разработаны низкотемпературная энерго- и ресурсосберегающая технология получения САЖ клинкеров и сульфоалюможелезистых цементов марок 400-500 на их основе, позволяющие их производство без применения природного гипсового камня в качестве регулятора сроков схватывания.

8. Определен нормативный расход материалов для производства 1 тонны САЖ клинкера и цемента на его основе, разработана инструкция по расчету норм расхода сырьевых компонентов на производство сульфожелезистых цементов (ИНР 00193350 – 02: 2021).

9. Разработаны блок-схема технологии получения САЖ клинкера и цемента на его основе, зарегистрирован в Агентстве «Узстандарт» стандарт организации на сульфоалюможелезистый цемент Ts № 00193350:2001 «Цементы сульфожелезистые. Технические условия».

10. Выпущена опытно-промышленная партия сульфоалюможелезистых клинкеров и цементов на их основе на производственной базе известкового цеха Алмалыкского ГМК., испытания которых проведены в аккредитованной лаборатории НИиИЦ «Стром» ИОНХ АН РУз.

11. С учетом положительных результатов лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний, низкотемпературную технологию получения САЖ клинкеров и цементов многофункционального назначения рекомендовано внедрить на цементных заводах республики, имеющих для их производства соответствующую сырьевую базу.

12. Определена экономическая эффективность технологии производства низкотемпературного САЖ клинкера и многофункционального цемента на его основе. За счет использования техногенных ресурсов себестоимость САЖ по сравнению с рядовым портландцементом снижается на 167 502,75 сум/т. При объеме выпуска 100 тыс. тонн САЖ цемента, ожидаемый экономический эффект составит порядка 17 млрд. сум/год.

**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 INORGANIC CHEMISTRY**

**RUZIYEV NEMAT RUZIYEVICH**

**DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC FOUNDATIONS AND ENERGY-  
RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF  
COMPOSITE MATERIALS FOR MULTIFUNCTIONAL PURPOSES**

**02.00.13-Technology of inorganic substances and materials on their basis**

**02.00.15 - Technology of silicate and refractory non-metallic materials**

**DISSERTATION ABSTRACT FOR THE DOCTOR (DSc)  
TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent-2021**

**Doctoral thesis theme has been registered under number B2021.3.DSc/T451 at the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan.**

Doctoral 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)) on the scientific website and on the website of «ZiyoNet» Information and educational portal [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Scientific consultant:**

**Negmatov Soibdjon Sadikovich**  
academician, doctor of technical sciences

**Iskandarova Mastura**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:**

**Seytnazarov Atanazar Reypnazarovich**  
doctor of technical sciences

**Reymov Axmed Mambetkarimovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Yunusov Mirzhalil Yusupovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Leading organization:**

**Almalyk branch of the National Research Technological University "MISIS"**

The defense will take place «7» December 2021 at 10<sup>00</sup> 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](mailto:ionxanruz@mail.ru)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the General and Inorganic Chemistry, (is registered under № 15). 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 «23» November 2021 y.  
(mailing report № 15 from «23» November 2021 y.)



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

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

**Sh.S. Namazov**  
Deputy Chairman of scientific seminar under  
scientific council on award of scientific degree  
of doctor of sciences, academician



## INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

**The aim of the research work:** is to develop the scientific fundamentals of energy, resource-saving technology of sulfoalumoferrite clinkers with the complex use of waste of mining and metallurgical and chemical industries.

**The object of the research work** are two- and three-component sulfo-mineral compositions, compiled in various combinations of  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_4F_3\check{S}$  and  $C_5S_2\check{S}$ , low-axis sulfoalumoferrite-sized raw materials, clinkers obtained by their low-temperature firing and composite binding materials of multifunctional destination based on them.

**The scientific novelty of the dissertation research** consists is as follows:

for the first time, by a comprehensive study of the hydration and structure process,  $C_4F_3\check{S}$  calcium sulfoferrite is established; the relationship of its strength with the morphology of the neoplasms is established;

the influence of the processes of mutual effects of sulfo-aluminate ( $C_4A_3\check{S}$ ), sulfosilicate ( $C_5S_2\check{S}$ ) and sulfoferrite ( $C_4F_3\check{S}$ ) in two- and three-component mineral systems, composed with different combinations and relations, on the strength of the forming sulfomineral composites are determined;

through the physicochemical study of the hydration processes occurring in two- and three-component systems at various combinations and ratios of minerals  $C_4A_3\check{S}$ ,  $C_5S_2\check{S}$   $C_4F_3\check{S}$ , the scientific foundations of low-temperature technology for obtaining sulfoal-mineral clinkers were developed;

the sequence of mineral formation is established during the firing process of sulfoalumoferrite raw materials. Contrary to known data, it was established that the formation of a two-calcium ferrite (C2F) begins at 800 °C,  $C_4F_3\check{S}$  at - 1100 °C, and at 1200-1250 °C, the latter decomposes on  $C_2F$ ,  $C_2S$ ,  $SO_2$  and  $CAO$ ;

it has been established that the durability of cement soap directly depend on the values of the CN and NS of the raw materials: with  $SC = 0.667$ , the strength of the clinker-based cement, burned at 1200 °C higher than that of the clinker from the  $SC = 0.8$ , with increasing NS values also increase the hydraulic activity of cement stone to the 400 and 500 brand.

the possibility of obtaining multifunctional composite binders with high strength, resistance to frost, atmospheric oscillations, which have a property to expand and strain through portland cement doping during its hydration of soot cement.

**Implementation of the research results.** Based on the results of research on the development of low-temperature technology for producing clinkers and cements based on them:

The standard of organization for sulfoferrite cements has been developed (TS No. 00193350:2001 "Cements sulfoferrite. Technical conditions "approved at the Uzstandard agency. As a result, there was an opportunity to organize an experimental production and quality control of clinkers and free gypsum cements based on them;

in the conditions of the Jizzakh cement plant at the Almalyk Mining and Metallurgical Plant, low-temperature technology for obtaining clinker and a free

gypsum cement is introduced on its basis (certificate of JSC "Almalik Mining Metallurgical Plant" No. AA 006890 from 18 August 2021). As a result, there was an opportunity to reduce the flow of the clinker by 300 °C, the economy of natural gypsum stone - by 100%, fuel and energy resources by 25-30%;

a pilot batch of SAG cement is included in long-term plans and programs for the implementation of large investment projects of JSC Navoi Mining Metallurgical Plant (Reference of JSC Navoi Mining Metallurgical Plant No.03-02-11/8921 from 14 September 2021). This makes it possible to reduce the cost and improve the performance of concrete work.

**The structure and volume of the dissertation.** The structure of the thesis consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a bibliography and an appendix. The volume of the thesis is 210 pages.

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

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Атакузиев Т.А., Рузиев Н.Р. Многокомпонентные цементы. - Т.: Издательство «ФАН». 2009, 328с.

2. Негматов С.С., Искандарова М., Рузиев Н.Р., Хайдаров Р. Комплексная переработка отходов медеплавильного производства АГМК на низкотемпературные цементы и цементные композиции // Научно-технический производственный журнал «Горный вестник Узбекистана» Специальный Выпуск. 2009, № 8, С.80-84. (05.00.00 №7).

3. Санакулов К.С., Рузиев Н.Р. Особенности проектирования цеха кучного выщелачивания, Горный вестник Узбекистана. Навои. 2011, №1. (05.00.00 №7).

4. Рузиев Н.Р. Состав и свойства композиционных вяжущих материалов для закладочных смесей на основе портландцемента, модифицированного низкотемпературным сульфоалюможелезистым клинкером / Научно-технический производственный журнал «Горный вестник Узбекистана». 2011, №3 (46). С. 98-101. (05.00.00 №7).

5. Искандарова М.И., Рузиев Н.Р. Фундаментальные исследования в области создания искусственных сульфожелезистых конгломератов // Научно-технический производственный журнал «Горный вестник Узбекистана» 2016, №1 (64), С.75-80. (05.00.00 №7).

6. Рузиев Н.Р. Физико-химические аспекты формирования композитов на основе сульфоферрита кальция и низкотемпературного цемента на его основе. Научно-технический производственный журнал «Горный вестник Узбекистана», 2016, №1 (60), С. 54-60. (05.00.00 №7).

7. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И. Физико-химические аспекты и технология получения новых специальных видов цемента с комплексным использованием отходов горно-перерабатывающих и химических производств // Научно-технический производственный журнал «Горный вестник Узбекистана», 2017, №1 (68). С. 18-27. (05.00.00 №7).

8. Атабаев Ф.Б., Хаджиев А.Ш., Турсунова Г.Р., Рузиев Н.Р. Химико-технологические основы получения пуццолановых цементов на основе местных минеральных добавок. Universum: технические науки. 2021, 10 (91/3)-1, С.43-47. (02.00.00.№1)

9. Рузиев Н.Р., Инновационная технология производства низкотемпературных сульфожелезистых клинкеров с комплексным использованием техногенных ресурсов. Научно-технический производственный журнал «Горный вестник Узбекистана», 2021г. №1 (84), С. 112-115. (05.00.00 №7).

10. Намозов Ш. С., Искандарова М., Рузиев Н.Р., Адылов Д.К.

Технология получения клинкеров с использованием фосфогипса и медных шлаков флотационного обогащения АО «АГМК» и свойства цементов на их основе. Узб.хим.журн. 2021, №4, С.24-31. (02.00.00 №6)

11. Ruziev N.R., Iskandarova M.I., Mironyuk N.A., Makhsudova N.D. Low-Energy-Intensive Technology For Obtaining Sulphiro-Iron Clinkers And The Properties Of Cement Based On Their Basis. The American Journal of Applied sciences. 2021, P. 26-37. (SJIF (23), IF-5,63).

### **II бўлим (II часть; II part)**

12. Искандарова М.И., Негматов С.С., Бегжанова Г.Б., Рузиев Н.Р., Атабаев Ф.Б., Акрамов Э.М., Садыкова А.М. Перспектива производства в Узбекистане энергоэкономичных вяжущих композиций на низкоосновной клинкерной матрице // Композиционные материалы. 2006, №3, С. 4-8. (02.00.00 №4).

13. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И., Акрамов Э.М., Негматов С.С., Рахмонов М.И., Якубжанова З.Б., Маллаева Ф.Н., Малоэнергоемкая технология получения низкоосновного портландцемента на базе сырьевых материалов Узбекистана, Журнал «Композиционные материалы». 2006, №2, С.36-39. (02.00.00 №4).

14. Рузиев Н.Р. Исследование физико-химических свойств отходов медеплавильного производства АГМК - как компонента сырьевых композиций для получения низкотемпературного цемента «Композиционные материалы» 2006, № 2, С. 60-61. (02.00.00 №4).

15. Рузиев Н.Р., Негматов С.С., Искандарова М.И., Рахманов М.И. Технология получения энергоэкономичных сульфоалюможелезистых цементов с использованием отходов производств // Композиционные материалы. 2006, №2. С 61. (02.00.00 №4).

16. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И. Влияние сульфоалюмината на прочность сульфоферрита кальция «Композиционные материалы». 2008, №4, С. 82-83. (02.00.00 №4).

17. Рузиев Н.Р. Научные основы технологии получения малоэнергоемких сульфоалюможелезистых цементов // Композиционные материалы. 2008, №4. С. 85-86. (02.00.00 №4).

18. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И., Негматов С.С., Рахманов М.И., Хайдаров Р.Дж. Технологические основы получения низкотемпературных сульфоалюможелезистых цементов «Композиционные материалы». 2008, №4, С. 47-50. (02.00.00 №4).

19. Негматов С.С., Искандарова М., Рузиев Н.Р. Синтез сульфоминеральных вяжущих композиций – основа для разработки малоэнергоемкой технологии получения цементов многофункционального назначения. Журнал Композиционные материалы. 2008, № 6, С. (02.00.00 №4).

20. Санакулов К.С., Мустакимов О.М., Рузиев Н.Р., Зимин А.В., Арустамян М.А., Арустамян К.М., Обогащение крупнозернистого материала

при переработке золотосодержащих руд с применением схем и оборудования ЗАО НПО «РИВС», Горный журнал. Россия. 2010, №10. С. 60-63.

21. Санакулов К.С., Рузиев Н.Р., Арустамян М.А., Смирнов Ю.А., Опыт проектирования и строительство «под ключ» Зармитанской золотоизвлекательной фабрики, Горный журнал. Россия 2010, №10, С. 97-10.

22. Makhmudova V., Iskandarova M., Ivanova Y., Chernov G, Ruziev N. Sunthesis and properties of sulfhoferrite calcium clinkers and low temperature cements on their basis // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. Bulgaria. 2011. Vol.46, № 2. P. 151-154. ResearchGate (40).

23. Iskandarova M., Acramov E.M., Negmatov S.S., Ruziev N.R., Rahmanov M.I., Jacubdjanova Z.B., Negmatova M.J. The small energy capacity technology of reseption low base portland cement on the basis of raw materials of Uzbekistan // Internationale Baustofftagung. – Weimar. Bundesrepublik Deutschland. TAGUGSBERICT.2006, .BAND 1. – P.1 – 0235 – 1-0240.

24. Negmatov S.S. Iskandarova M. Ruziev N.R Atabaev F.B. Prospect of manufacture in Uzbekistan energy economic knitting compositions on a low based clinker matrix//16. Internationale Baustofftagung. – Weimar. Bundesrepublik Deutschland. TAGUGSBERICT. 2006, BAND 1 . – P.1 – 1005 – 1-1010.

25. Искандарова М.И., Акрамов Э.М., Рузиев Н.Р., Якубжанова З.Б., Шакирова У.Б. Низкоосновный портландцемент на базе сырьевых материалов Узбекистана //Сб. научн. статей «Инновация-2006». Ташкент. 2006. С. 120-121.

26. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И., Негматов С.С., Рахмонов М.И., Технология получения энергоэкономичных сульфо-алюможелезистых цементов с использованием отходов производств, //Сб. научн. статей «Инновация-2006». Ташкент. 2006, С.157-158.

27. Негматов С.С., Искандарова М.И., Бегжанова Г.Б., Рузиев Н.Р., Акрамов Э.М. Получение энергосберегающих вяжущих композиций на базе низкоосновных клинкеров //Сб. научн. статей «Инновация-2006». Ташкент. 2006, С.156-157

28. Рузиев Н.Р. О возможности нанотехнологии переработки высокожелезистых отходов медеплавильного производства в низкотемпературные цементы нового поколения // Матер. Респуб. НТК с участием зарубеж. ученых «Получение нанокompозитов, их структура и свойства». Ташкент. 2007, С.87-89

29. Атабаев Ф.Б., Рузиев Н.Р. Композиционные вяжущие с высокими декоративными и эксплуатационными свойствами // Мат-ы Республ. конф. с участием зарубежных ученых «Композиционные материалы: структура, свойства, применение». Т. 2008, С. 208-209

30. Искандарова М.И., Рузиев Н.Р., Негматов С.С. Перспектива развития композиционных вяжущих материалов / Материалы Республ. конф. с участием зарубежных ученых «Композиционные материалы: структура, свойства, применение». Ташкент. 2008, С.33-34

31. Рузиев Н.Р., Рахманов М.И., Искандарова М. Формирование структуры сульфоалюможелезистых минеральных композиций // Материалы Республ. конф. с участием зарубежных ученых «Композиционные материалы: структура, свойства, применение». Т. 2008, С.83-84

32. Рузиев Н.Р. Сульфоферрит кальция как активатор процесса структурообразования и твердения сульфоминеральных композиций // Материалы Республ. конф. с участием зарубежных ученых «Композиционные материалы: структура, свойства, применение». Ташкент. 2008, С.84-85

33. Искандарова М., Рузиев Н.Р., Негматов С.С. Технология получения малоэнергоемких композиционных вяжущих материалов специального назначения // Материалы Республ. конф. с участием зарубежных ученых «Композиционные материалы: структура, свойства, применение». -Ташкент. 2008, С186-187

34. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И., Бегжанова Г.Б., Низкотемпературные клинкеры для высокоэффективных композиционных вяжущих // Матер. Респуб. НТК «Теория и практика композиционных строительных материалов». Ташкент. ТАСИ. 2008,С.115-120.

35. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И. Структурообразование в сульфоалюмоферритных цементных дисперсиях // Матер. Респуб. НТК «Теория и практика композиционных строительных материалов». –Ташкент. ТАСИ. 2008, С.120-122.

36. Рузиев Н.Р. Разработка научных основ малоэнергоемкой технологии получения сульфоалюможелезистых цементов // Матер. Респуб. НТК «Теория и практика композиционных строительных материалов». –Ташкент. ТАСИ, 2008, С. 78-82.

37. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И., Негматов С.С., Комплексное использование отходов производств для получения энергоэкономичных коррозионностойких цементов и цементных композиций // Матер. Респуб. НТК «Теория и практика композиционных строительных материалов». – Ташкент. ТАСИ, 2008, С.294-299.

38. Искандарова М.И., Рузиев Н.Р., Негматов С.С. Исследование механизма уплотнения гидратной структуры и упрочнения композита при твердении сульфоалюможелезистых цементов // НТК «Аналитика Сибири и Дальнего Востока» - Томск, Россия. 13-18 октября. 2008г. – стр. 441-443.

39. Искандарова М.И., Рузиев Н.Р., Негматов С.С., Физико-химические аспекты формирования сульфо-алюможелезистой вяжущей композиции //II Международный форум «Аналитика и аналитики». – Воронеж. 2008г. стр. 298 -301.

40. Искандарова М.И., Хайдаров Р., Интенсивная технология получения низкотемпературных цементов специального назначения на основе отходов производств, Материалы Респуб. Межвузовской НТК молодых ученых «Нанокomпозиционные материалы» г. Ташкент, 2009г.стр.121-122.

41. Iskandarova M., Negmatov S.S., Ruziev N.R., Atabaev F.B., Kasimova S.S., The Technology of Complex Remake of Phosphogypsum and Kaolin Clays on Low Power-consuming Astringent Composition on Sulfaclinker Matrix for Finishing Purpose //17. Internationale Baustofftagung. – Weimar. Bundesrepublik Deutschland – 2009. – P.1- 0823 – 1- 0829.

42. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И., Негматов С.С. Рациональные пути энергосбережения при производстве цемента // Тезисы докл. Республ. НТК «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: структура, свойства и применение». -Ташкент. 2010г. - стр. 246—247.

43. Негматов С.С., Искандарова М.И., Рузиев Н.Р. и др. Комплексное решение проблемы энергосбережения и расширения сырьевой базы при производстве цемента // Тезисы докл. Республ. НТК «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: структура, свойства и применение». –Т. 2010г. –стр. 247-249.

44. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И., Негматов С.С. Использование отходов горно-перерабатывающих и химических отраслей промышленности для получения низкотемпературного цемента //Мат-ы Межд. НТК «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». –Навои. 2010г. –стр. 401-402.

45. Бегжанова Г.Б., Рузиев Н.Р., Искандарова М.И., Акрамов Э.М. Использование базальтсодержащих горных пород Узбекистана в качестве основного компонента сырьевой смеси для получения портландцемента //Мат-ы Межд. НТК «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». –Навои. 2010г. стр.402-403.

46. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И. Гидратационное легирование портландцемента крентами - реальный путь производства высококачественных композиционных вяжущих материалов многофункционального назначения // Сб.тр.1<sup>го</sup> научно-практического семинара с участием иностранных специалистов. -Ташкент, 9-10 ноября 2011г. – стр. 131-138.

47. Искандарова М.И., Рузиев Н.Р. Технология производства и свойства цементов на основе фосфогипса и переработанных шлаков медеплавильного производства ОАО «АГМК» // Сб. научных статей «ИННОВАЦИЯ-2012». – Ташкент 2012г. – стр. 164-165.

48. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И. Технология производства и свойства цементов на основе фосфогипса и переработанных шлаков медеплавильного производства ОАО «АГМК» // Матер. Республ. НТК «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли». - Навои, 14-15 июня 2012г. - стр. 102.

49. Искандарова М.И., Рузиев Н.Р., Негматов С.С. Высокореакционные сырьевые композиции для обжига низкотемпературных сульфидоферритных клинкеров // «Mahalliy xomashyolar va ikkilamchi resurslar asosida innovatsion texnologiyalar» mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to'plami. - Urganch shahri, Urganch davlat universiteti, 2021. I jild. 100-101 бетлар.

50. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И., Атабаев Ф.Б. Фундаментальные основы технологии комплексной переработки карбонат-, сульфат- и железосодержащих отходов на низкообжиговые клинкеры //«Mahalliy xomashyolar va ikkilamchi resurslar asosida innovatsion texnologiyalar» mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami. - Urganch shahri, Urganch davlat universiteti, 2021. I jild. 102-103 бетлар.

51. Iskandarova M., Negmatov S.S., Namazov Sh.S. Comprehensive solution to the problem of «Clean climate», ecology and production of special types of cement in Uzbekistan. Scientific research of the sco countries: synergy and integration, Beijing, China 2021, стр. 135-142.

52. Рузиев Н.Р., Искандарова М.И. Технологические основы получения специального вида клинкера для быстротвердеющих, коррозионностойких, расширяющихся и напрягающих композиционных цементов. Международная научно-техническая конференция. «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: состав, свойства и применение» Ташкент, 2021, стр. 120-122



Автореферат «\_\_\_\_\_» журнали таҳририятида  
таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро  
мувофиқлаштирилди.

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табағи: 4. Адади 100. Буюртма № 70/21.

Гувоҳнома № 851684.  
«Тирограф» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.