

**ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН
МУАССИСАИ ДАВЛАТИИ «ПАЖҶҲИШГОҲИ ИЛМИЮ ТАҲҚИҚОТИИ
МЕТАЛЛУРГИЯ»-И ҶАМЪИЯТИ САҲОМИИ КУШОДАИ «ШИРКАТИ
АЛЮМИНИЙИ ТОҶИК»**

ВБД: 546.161 (575.3)

ТКБ: 24.1 (2Т)

Ш-78

Бо ҳуқуқи дастнавис



ШОКАРИМЗОДА Сирочиддин Мирзо

**ТАҲҲИИ ТЕХНОЛОГИЯИ КОРКАРДИ ОМЕХТАИ КИСЛОТАҲОИ
ГИДРОГЕНСИЛИТСИЙФТОРИД ВА ФТОРИД**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии

доктори фалсафа (PhD) – доктор аз рӯи ихтисоси

6D072000 – Технологияи химиявии моддаҳои ғайриорганикӣ

(6D072001– Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ)

Душанбе – 2026

Диссертатсия дар озмоишгоҳи таҳқиқотҳои экологӣ ва коркарди партовҳои саноатии Муассисаи давлатии “Пажӯҳишгоҳи илмию таҳқиқотии металлургия”-и ҶСК “Ширкати Алуминийи Тоҷик” ва кафедраи химияи татбиқии факултети химияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон иҷро шудааст.

Роҳбарони илмӣ:

Рафиев Рустам Сафаралиевич – номзади илмҳои химия, мудири кафедраи химияи татбиқии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон;

Наимов Носир Абдурахмонович – номзади илмҳои техника, директори МД «Пажӯҳишгоҳи илмию таҳқиқотии металлургия»-и ҶСК “Ширкати Алуминийи Тоҷик”

Муқаризони расмӣ:

Ғайбуллаева Зумрат Ҳабибовна – доктори илмҳои техника, и.в. профессор, мудири кафедраи «Технологияи равандҳои истеҳсолӣ»-и филиали Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ дар ҶСК “АЗОТ”

Садриддинзода Сабур Садриддин – номзади илмҳои техника, дотсенти кафедраи “Соҳтмон ва меъморӣ”-и Донишгоҳи давлатии Данғара

Муассисаи пешбар:

кафедраи “Химияи умумӣ ва ғайриорганикӣ”-и факултети химияи Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айнӣ

Ҳимоя 18-уми марти соли 2026, соати 09:00 дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии 6D.KOA-042 назди Институди химия ба номи В.И. Никитини АМИТ ва Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии АМИТ баргузор мегардад. Суроға: 734063, ш. Душанбе, куч. Айнӣ 299/2, E-mail: f.khamidov@cbrn.tj, тел.: (+992) 934-36-64-63.

Бо мӯҳтавои диссертатсия дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи Институди химия ба номи В.И. Никитини АМИТ www.chemistry.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат “_____” соли 2026 фиристода шуд.

Котиби илми Шурои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техника



Ҳамидов Ф.А

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзуи таҳқиқот. Металли алюминий, аз ҳисоби ҳосиятҳои физикавӣю химиявӣ мувофиқ доштан, яке аз серталабтарин металл ба шумор рафта, ин ҳолат боиси баланд гардидани арзиши ашиё хоми он мегардад. Мувофиқан бисёре аз корхонаҳои истеҳсоли алюминий ба бухронҳо рӯ ба рӯ шуда, олимони сайё менамоянд, ки роҳҳои паст намудани арзиши ашиё хоми онро дар асоси таҳияи технологияҳои нав ва камарзиш, пайдо намоянд.

Бо ҳадафи таъмин намудани бузургтарин корхонаи кишвар – ҶСК «Ширкати Алюминийи Тоҷик» (ҶСК «ШАТ») – дар ноҳияи Ёвон корхонаи нави истеҳсоли фториди алюминий ва криолит бо номи ҶДММ «ТАЛКО Кемикал» бунёд гардида, фаъолияти худро аз соли 2016 оғоз намудааст. Корхона дар навбати аввал кислотаи сулфатро истеҳсол намуда, дар асоси он HF-ро аз концентрати баландсифати флюорит истеҳсол мекунад.

Мавриди зикр аст, ки кафолати истеҳсоли кислотаи фториди беоби 99,9%, концентрати флюорити тамғаи ФФ-97 ва аз ин боло ба шумор меравад. Бинобар ин, мавҷудияти ғашҳо, махсусан оксиди силитсий дар таркиби концентрати флюорит, ба ҳосилшавии маҳсулоти иловагӣ – кислотаи гидрогенсилитсийфторид (КГСФ) оварда мерасонад. Яке аз манбаъҳои дигари пайдоиши КГСФ – ин саноати истеҳсоли нуриҳои фосфорӣ ва кислотаи фосфати экстраксионӣ мебошад.

Ҳамин тариқ, бешак мавҷудияти чунин пайвастагӣ дар корхонаҳои истеҳсолӣ, боиси ба вучуд омадани хатар ҳам аз ҷиҳати экологӣ ва ҳам аз ҷиҳати иқтисодӣ мегардад. Бинобар ин коркарди омехтаи кислотаҳо бо мақсади ҳосил намудани маҳсулотҳои муфид, масъалаи бетаъхир ва актуалӣ мебошад.

Бинобар ин, масъалаи коркарди комплекси маҳсулоти иловагӣ, бо мақсади безаргардонии он ва ҳосил намудани пайвастаҳои фтордору силикатӣ мубрам мебошад.

Дарачаи коркарди илмӣю проблемаи мавриди омӯзиш. Масъалаи истифодаи партовҳои силитсийдор (КГСФ), ки ҳамчун маҳсулоти ҳамроҳ зимни истеҳсоли пайвастаҳои фосфордор ба вучуд меоянд, дар таҳқиқотҳои илмӣю таваҷҷуҳи назаррас пайдо кардааст. Масалан аз ҷониби олимони: Рақов Э.Г. [1], Бабкин В.В. [2], Шарипов Т.В. [3], Кочетков С.П. [4], Бушуев Н.Н. [5], Зайцев В.А. [6], Позин М.Е. [7], Моргунова Э.М. [8] ва дигарон як қатор ҳалли технологӣ пешниҳод шудааст, ки ба истифодаи гидроксиди натрий, карбонати натрий ва гидроксиди алюминий асос ёфта, имкон медиҳанд то пайвастаҳои фтордору серталаб, синтез карда шаванд.

Мавриди зикр аст, ки дар раванди коркарди флюорит бо истифодаи кислотаи сулфат дар майдони истеҳсолии ҶДММ «ТАЛКО Кемикал» маҷмӯи кислотаҳо ҳосил мегардад, ки коркарди самараноки он то ҳол ба қадри кофӣ омӯхта нашудааст ва ниёз ба таҳқиқоти минбаъда дорад.

Масалан, вобаста ба масъалаи мазкур, корҳои таҳқиқотӣ аз ҳисоби олимони тоҷик: У.М. Мирсаидов, Н.А. Наимов ва С.А. Сатторов [9, 10] гузаронида шудааст, ки доираи хурдро дар бар мергирад. Бо дарназардошти гуфтаҳо, кори мазкур ба таҳияи технологияҳои безаргардонии омехтаи кислотаҳо, ки зимни коркарди CaF_2 ба вучуд меояд, равона шудааст.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо), мавзӯҳои илмӣ. Таҳқиқоте ки дар диссертатсия пешниҳод шудаанд, дар доираи нақшаҳои илмӣю тасдиқшудаи Муассисаи давлатии «Пажӯҳишгоҳи илмӣю таҳқиқотии металлургия»-и (МД «ПИТМ»-и) ҶСК «ШАТ», инчунин мутобиқ ба мавзӯҳои таҳқиқоти амалӣ, ки дар кафедраи химияи татбиқӣ факултети химияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон гузаронида мешаванд, амалӣ гардидаанд. Таҳқиқот ба самтҳои афзалиятнок, аз ҷумла ҳадафи ҷоруми миллий – саноатикунонии босӯъати мамлакат, “Солҳои рушди саноат” (солҳои 2020-2026) ва бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маъориф (солҳои 2020-2040) ҳамгиро буда, ба таҳияи технологияҳои захирасоз ва усулҳои аз ҷиҳати экологӣ бехатари коркарди партовҳои техногенӣ равона гардидааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот. Ҳадафи асосии ин таҳқиқот ба ташаккули равишҳои аз ҷиҳати илмӣ асоснокшудаи коркарди мукаммали маҳсулоти иловагӣ, ки дар корхонаи ҚДММ «ТАЛКО Кемикал» ба вучуд меоянд, равона шудааст, аз ҷумла омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид. Дар доираи таҳқиқот, қонуниятҳои физикавӣю химиявӣ ва речаҳои оптималии технологӣ, барои безаргардонии ин компонентҳо бо истифодаи гидроксиди алюминий ва натрий, хлорид ва карбонати натрий мавриди омӯзиш қарор мегиранд. Вазифаи калидӣ дар бадастории номгӯйи васеи маҳсулоти серталаб ифода меёбад, аз қабили фториди алюминий, таҳшини сафед (белая сажа), криолит, шишаи моеъ, силитсийфториди натрий (СФН), инчунин СФН дар яқҷоягӣ бо фториди натрий.

Вазифаҳои таҳқиқот:

- Муайян намудани таркиби химиявии омехтаи мураккаби кислотаҳо, ки дар раванди технологӣ дар корхонаи «ТАЛКО Кемикал» ба вучуд меояд, ҳамчун марҳилаи ибтидоии таҳияи усулҳои истифодаи он.
- Асоснок ва амалӣ намудани раванди безаргардонии омехтаи кислотаҳо бо реагентҳои натрийдор бо мақсади ба даст овардани маҳсулоти мақсаднок – омехтаи Na_2SiF_6 ва NaF .
- Аз нуқтаи назари термодинамикӣ асоснок намудани имконият ва самаранокии ҳосилкунии фториди алюминий дар натиҷаи безаргардонии партовҳои силитсийдор бо гидроксиди алюминий, таҳқиқи таъсири параметрҳои технологӣ ба ташаккули сохтори аморфӣ SiO_2 ва фазаи кристаллии AlF_3 , инчунин гузаронидани таҳлили кинетикии раванди коркарди маҳсулоти иловагӣ ва муайян намудани речаҳои оптималии кристаллизатсияи фазаҳои фторидӣ.
- Пешниҳод намудани усули самаранокии синтези криолит тавассути коркарди маҳлули фториди алюминий бо фториди натрий ва таҳияи шароити коркарди SiO_2 -и аморфӣ барои ба даст овардани шишаи моеъ бо хусусиятҳои истифодабарии муайян.
- Гузаронидани оптимизатсияи комплекси речаҳои технологӣ барои коркарди омехтаи КГСФ ва HF дар сатҳи саноатӣ, ки дараҷаи максималии ҷудошавии компонентҳои мақсаднок ва коҳиши партовҳоро таъмин менамояд.
- Лоихакашии схемаҳои принсипиалию дастгоҳӣ, ки коркарди партовҳои кислотагиро ба таври беҳатари экологӣ ва захирасоз бо ҳосилкунии маводҳои серталаб таъмин менамояд, инчунин гузаронидани арзёбии самаранокии техникаю иқтисодӣ ва мувофиқати экологӣ барои эҳтимолияти татбиқи саноатии технологияҳои пешниҳодшуда.

Объекти таҳқиқот. Ҳамчун объекти таҳқиқот маҳсулоти иловагии кислотадор баррасӣ мегардад, ки дар раванди технологии корхонаи ҚДММ «ТАЛКО Кемикал» ба вучуд меояд. Маҳсулоти мазкур омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторидро дар бар мегирад, ки дорои потенциали баланди реаксионӣ буда, барои таҳияи усулҳои самаранокии безаргардонӣ ва коркарди он аҳамияти илмӣ ва амалӣ дорад.

Мавзӯи (предмет) таҳқиқот. Мавзӯи асосии ин таҳқиқот равандҳои технологӣ оид ба коркарди омехтаи дуҷумдараҷаи кислотаҳо мебошад, ки дар натиҷаи фаъолияти саноатӣ ба вучуд меояд ва бо мақсади ба даст овардани маҳсулоти арзишманди ғайриорганикӣ истифода мешавад. Таҳқиқот мубодилаҳои химиявиро дар бар мегирад, ки ҳангоми боҳамтаъсиркунии компонентҳои омехтаи кислотаҳо бо реагентҳо дар асоси алюминий ва натрий ба амал меоянд, инчунин шароити синтези пайваستҳои мақсаднок, аз ҷумла фторидҳои алюминий ва натрий, СФН, силикагел, криолит, шишаи моеъ ва дигар маҳсулотро фаро мегирад.

Навгониҳои илмӣ таҳқиқот:

1. Шароити истифодаи омехтаи кислотаҳо бо реагентҳои натрийдор муайян карда шудааст, ки дар натиҷа СФН, фториди натрий ва омехтаи онҳо ба даст меоянд.
2. Равиши нав барои синтези се маҳсулот – фториди алюминий, силикагел ва шишаи моеъ – ҳангоми истифодаи омехтаи кислотаҳо бо гидроксиди алюминий таҳия шудааст.
3. Бар асоси таҳқиқоти комплекси лабораторӣ, пилотӣ ва саноатӣ равишҳои амалӣ барои татбиқи технологияҳои коркарди амиқи омехтаи кислотаҳо пешниҳод шудаанд.

4. Арзёбии техникию иқтисодӣ оид ба технологияҳои пешниҳодгардида анҷом дода шудааст, ки мувофиқати ба даст овардани спектри васеи маҳсулотро тасдиқ менамояд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқот дар асосноккунии равандҳои табдили омехтаи кислотаҳо ба пайвастиҳои мақсаднок ифода меёбад. Инчунин дар имконияти ба даст овардани маҳсулоти зерин зоҳир мегардад:

- омехтаи СФН ва NaF – барои истеҳсоли электролитҳо, силуминҳо ва флюсҳо;
- AlF_3 ва криолит – барои саноати алюминий;
- диоксиди силитсий аморфӣ – барои фармасевтика, маҳсулоти резинотехникӣ ва энергетикаи офтобӣ;
- шишаи моеъ – барои сохтмон ва истеҳсолоти бойгардонӣ.

Схемаҳои технологию дастгоҳии таҳияшуда дар истеҳсолоти ҚСҚ «ШАТ» ва «ТАЛКО Кемикал» татбиқ шудаанд, ки бо санадҳои озмоишӣ ва қорӣ намудани онҳо тасдиқ мегардад.

Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

- Маълумоти аз ҷиҳати илмӣ асоснок оид ба хусусиятҳои физикавӣю химиявӣю омехтаи иловагии кислотадор (K_2CO_3 ва HF), маҳсулоти табдилёфта ва технологияҳои коркарди он бо реагентҳои натрийдор (NaOH, Na_2CO_3 , NaCl) бо ба даст овардани омехтаи мақсадноки Na_2SiF_6 ва NaF.
- Асосноккунии термодинамикӣ ва кинетикии равандҳои синтези AlF_3 , SiO_2 -и аморфӣ ва криолит ҳангоми безаргардонии омехта бо гидроксиди алюминий, инчунин муайян намудани вобастагии параметрҳои физикавӣю химиявӣ ва технологияи раванди безаргардонӣ бо дараҷаи баланди ҷудошавӣ ва сифати маҳсулоти мақсаднок (AlF_3 , SiO_2 , шишаи моеъ, криолит).
- Схемаҳои инноватсионии технологӣ ва дастгоҳӣ барои коркарди мукаммали омехтаи кислотаҳо бо ба даст овардани маҳсулоти таъиноти химиявӣ, ки бо натиҷаҳои озмоиши саноатӣ ва асосноккунии техникую иқтисодии технологияҳои таҳияшуда тасдиқ шудаанд.

Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳо: Эътимоднокии натиҷаҳои бадастомада тавассути истифодаи маҷмӯи усулҳои муосири таҳқиқоти физикӣ ва химиявӣ, коркарди омории маълумотҳо ва муқоисаи натиҷаҳо бо маълумоти таҳқиқоти муаллифони дигар таъмин карда шудааст. Натиҷаҳои таҳқиқот дорой дараҷаи баланди дақиқӣ ва асоснокии илмӣ мебошанд.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ:

Кори диссертатсионии мазкур, ба самти ихтисоси илмии 6D072001 – «Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ» мувофиқат мекунад ва як қатор мавқеъҳои пешбинишудаи классификатсияи онро (бандҳои 1, 2, 4, 5 ва 9) фаро мегирад.

Ҳамин тавр, дар зербобҳои 3.1, 3.4, 3.5 ва 3.7 равандҳои ба даст овардани пайвастиҳои ғайриорганикӣ, аз қабилӣ омехтаи СФН ва NaF, диоксиди аморфии Si, сефториди Al, Na_3AlF_6 ва шишаи моеъ муфассал баррасӣ шудаанд, ки ба банд 1 мутобиқат доранд.

Дар зербобҳои 3.3 ва 3.6 натиҷаҳои моделсозии термодинамикӣ ва кинетикӣ оварда шудаанд, ки интиҳоби параметрҳои коркарди омехтаи кислотаҳоро асоснок мекунад (мутобиқ ба банд 2).

Усулҳои коркарди ашёи хом, инчунин пайдарпайии гузаронидани амалиётҳои технологӣ дар зербобҳои 3.1, 3.4, 3.5, 3.7 ва 4.1-4.5 баён шудаанд, ки мутобиқати онҳоро ба банд 4 инъикос менамояд.

Азбаски омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторид маҳсулоти дуҷумдараҷа мебошад, безаргардонии он вазифаи муҳими технологӣ ба ҳисоб меравад. Дар бобҳои 3 ва 4 равишҳо ба коркарди такрорӣ ва безаргардонии он баррасӣ шудаанд (мутобиқ ба банд 5).

Дар зербобҳои 3.2, 3.8 ва 4.1 схемаҳои принципалию технологӣ пешниҳод шудаанд, ва дар зербобҳои 4.6 ва 4.7 арзёбии техникую иқтисодии технологияҳои таҳияшуда оварда шудааст, ки ба банд 9 мутобиқат мекунад.

Саҳми шахсии доктарабӣ дарёфти дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот аз банақшагирии мустақилонаи корҳои илмӣ, таҳлили амиқи адабиёти илмии дохилӣ ва хориҷӣ, таҳия ва коркарди масъалаҳои таҳқиқот бо истифода аз усулҳои муайян, гузаронидани таҷрибаҳо, навиштани мақолаҳо, коркарди омории маълумотҳои таҷрибавӣ, таҳияи хулосаҳои рисолаи

илмӣ иборат мебошад.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Натиҷаҳои асосии рисола дар конференсияҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ зерин муҳокима шуданд: Маводи конференсияи ҷумҳуриявии ҳайати устодону кормандон ва донишҷӯёни ДМТ (Душанбе 2020, 2024), Маводи конференсияи илмӣ-амалии умумирусиягӣ бо иштироки байналмилалӣ дар мавзӯи: «Дурнамои рушди технологияи коркарди карбогидридҳо ва маъданҳои фоиданок» (Иркутск, 22-24.04.с.2020), Маводи конференсияи III байналмилалӣ илмию амалӣ дар мавзӯи “Рушди илми химия ва истифодабарии он”, баҳшида ба 80-солагии гиромидошти хотираи д.и.х., узви вобастаи АМИТ, проф. Кимсанов Б.Ҳ. (10.11.с.2021), Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи “Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико-химиявӣ”, баҳшида ба эълонгардидани ҳадафи чоруми стратегӣ – саноатикунони кишвар, солҳои 2022-2026 – солҳои рушди саноат, 65-солагии таъсисёбии кафедраи “Химияи умумӣ ва ғайриорганикӣ” ва гиромидошти хотири арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, д.и.х., профессор, Лутфулло Солиев (Душанбе, 2023), Маводи конференсияи илмӣ-назариявии байналмилалӣ дар мавзӯи “Рушди илмҳои химия, технология ва экология” баҳшида ба 20-солагии таъсисёбии кафедраи “Технология ва экологияи химиявӣ” ва “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф” (12-13.05.с.2023), Маводи конференсияи илмию амалии байналмилалӣ “Дастовардҳои нав дар соҳаи илмҳои табиатшиносӣ ва технологияҳои информатсионӣ”, баҳшида ба «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» (30.05.с.2023), Маводи конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи “Рушди самтҳои нав дар химия ва технологияи химиявӣ” баҳшида ба гиромидошти хотираи академики АМИ Тоҷикистон, д.и.х., профессор Сафиев Ҳайдар (26.10.с.2023), Конференсияи VI илмӣ байналмилалӣ: «Масъалаҳои химияи физикӣ ва координатсионӣ», баҳшида ба «Бисолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф», 90-солагии доктори илмҳои химия, профессор Ҳомид Муҳсинович Якубов, гиромидошти хотираи доктори илҳои химия, профессор Зухуриддин Нуридинович Юсуфов, 75-солагӣ ва 53-солагии фаъолияти илмӣ – таълимии доктори илмҳои химия, профессор Раҳимова Мубаширахон (15-16.05.с.2024).

Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия. Натиҷаҳои таҳқиқот дар 19 мақола нашр шудаанд, ки аз онҳо 6 мақола дар маҷаллаҳои ВАК ҚТ дохил шуда, 13-тои дигар фишурдаи мақола мебошанд. 4 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба даст оварда шудааст. Таҳқиқотҳои истеҳсоли гузаронида шуда, он бо 6 санади татбиқ ва озмоишҳои муваффақи миқдорҳои таҷрибавӣ тасдиқ гардидааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз муқаддима, чор боби мазмуни асосӣ, муҳокимаи натиҷаҳо, хулосаҳо ва рӯйхати адабиёт иборат аст, ки аз 120 манбаъ таркиб ёфтааст. Ҳаҷми умумӣ – 167 саҳифа буда, дар он 32 тасвир ва 36 ҷадвал ҷой дода шудаанд, ки маълумоти таҷрибавӣ ва ҳалли технологиро инъикос менамоянд. Маводи иловагӣ, ки боэътимодии натиҷаҳоро тасдиқ мекунанд, дар 12 замима пешниҳод шудаанд.

МУҲТАВОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Қисми муқаддима асосҳои методологии корро дар бар мегирад: асосноккунии мубрамай, муайян намудани ҳадафҳои мақсаднок, таъйини вазифаҳои таҳқиқотӣ ва баён намудани аҳамияти илмию амалии он.

Дар **боби аввал** чанбаҳои назариявӣ ва амалӣ оид ба генезис ва бартарафкунии КГСФ ба низом дароварда шудаанд, ки ин имкон дод, то заминаи концептуалӣ барои таҳқиқоти минбаъдаи таҷрибавӣ ташаққул ёбад.

Қисми таҳлилий (**боби 2**) ба тавсифи пайдоиши технологӣ, сохтори химиявӣ ва усулҳои назорати реагенти кислотагӣ, ки дар майдони истеҳсоли ЧДММ «ТАЛКО Кемикал» ба вуҷуд омадааст, бахшида шудааст.

Қисми марказии кор (**боби 3**) ҳалли технологияҳои таҳияшударо барои конверсияи бисёрсатҳии компонентҳои кислотагӣ ба маҳсулоти серталаб, аз ҷумла пайвастаҳои фторидӣ, дуоксиди аморфӣ силитсий, маҳлулҳои силикатӣ ва кислотаи хлорид нишон медиҳад.

Дар **боби чорум** истеҳсоли миқдори таҷрибавии маҳсулотҳо, санҷишҳои таҷрибавию истеҳсолии онҳо, татбиқи технология дар истеҳсолот ва ҳисобҳои техникаю иқтисодии технологияҳои таҳияшуда, дарҷ гардидааст.

АСОСҲОИ ХИМИЯВИЮ ТЕХНОЛОГИИ БА ДАСТ ОВАРДАНИ МАҲСУЛОТИ МАҚСАДНОК АЗ ПАРТОВҲОИ КИСЛОТАГӢ

Синтези пайвастаҳои фториди натрий аз партовҳои кислотагӣ бо истифодаи реагентҳои натрийдор

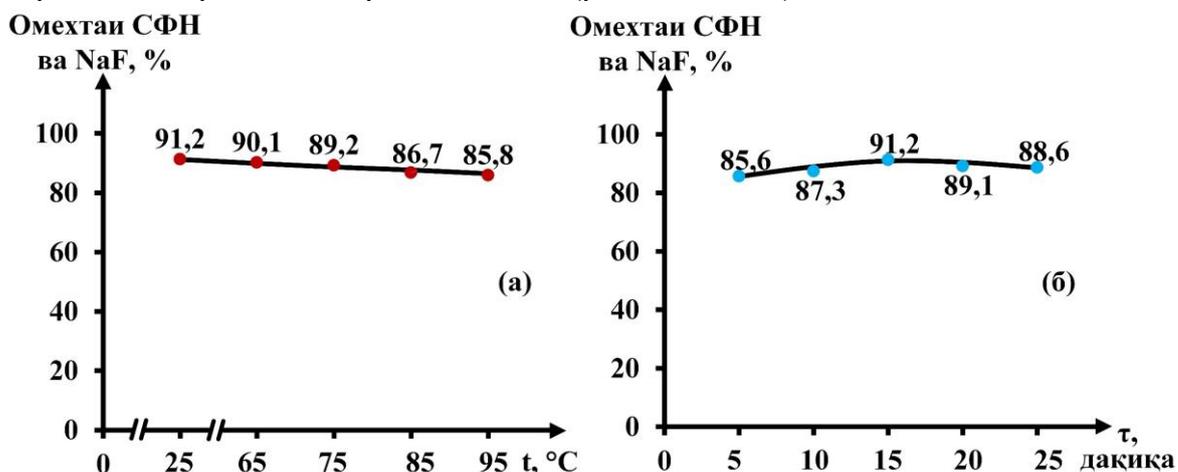
Дар ЧДММ «ТАЛКО Кемикал» дар раванди сульфаткунонии флюорит, HF бо дуоксиди силитсий, ки дар таркиби концентрат дохил аст, пайваст шуда, тетрафториди силитсий ҳосил мекунад ва баъд аз абсорбсия ба КГСФ табдил меёбад. Бояд қайд кард, ки ЧДММ «ТАЛКО Кемикал» ҳамасола то 4 ҳазор тонна омехтаи КГСФ (25%) ва кислотаи фторид истеҳсол мекунад ва нигоҳдории тӯлонии ин моддаҳо ба вазъи экологӣ таъсири манфӣ мерасонад.

Ҳамин тавр, истифодаи маҳсулоти иловагӣ бо гидроксид, карбонат ва хлориди натрий усули самараноки ба даст овардани намакҳои фтордор – силитсийфториди натрий (Na_2SiF_6) ва фториди натрий (NaF) мебошад. Амалӣ намудани раванд аз рӯи ду вариант иҷро мегардад: - бо истифодаи гидроксид ё карбонати натрий; - бо истифодаи хлориди натрий.

Реаксияҳои байни омехтаи кислотаҳо ва NaOH ба ташаққули фторид ва силитсийфториди натрий оварда мерасонанд (реаксияҳои 1, 2).



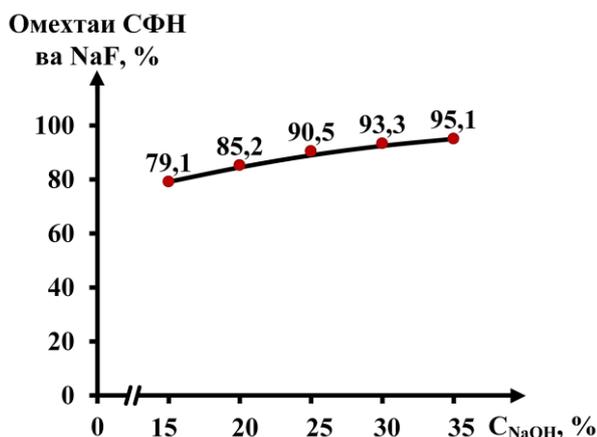
Параметрҳои таъсиркунандаи технологияи мазкур ҳарорат, давомнокии раванд ва концентратсияи гидроксиди натрий мебошанд (расмҳои 1 ва 2).



Расми 1. – Вобастагии дараҷаи ҷудошавии намакҳои фтордор аз ҳарорат (а) ва давомнокии (б)

Реаксияи боҳамтаъсиркунии NaOH бо омехтаи кислотаҳо экзотермӣ буда, омехтаи реаксионӣ то ҳарорати 65 °C гарм мешавад. Бинобар ин, раванди мазурро дар навбати аввал бе баланд бардоштани ҳарорат мегузaronанд. Тибқи расми 1а, баланд шудани ҳарорат зиёда аз 65 °C, баромади маҳсулотро аз 90,1% то 85,8% коҳиш медиҳад. Ин ба афзудани ҳалшавандагии компонентҳо дар оби гарм ва бухоршавии омехтаи кислотаҳо вобаста аст. Аз расми 1б дида мешавад, ки ҳангоми аз 20 дақиқа зиёд намудани давомнокии раванд, ҳалшавандагии намакҳои фтордор афзоиш ёфта, баромади омехтаи намакҳо аз 91,2 то 88,6% кам мешавад.

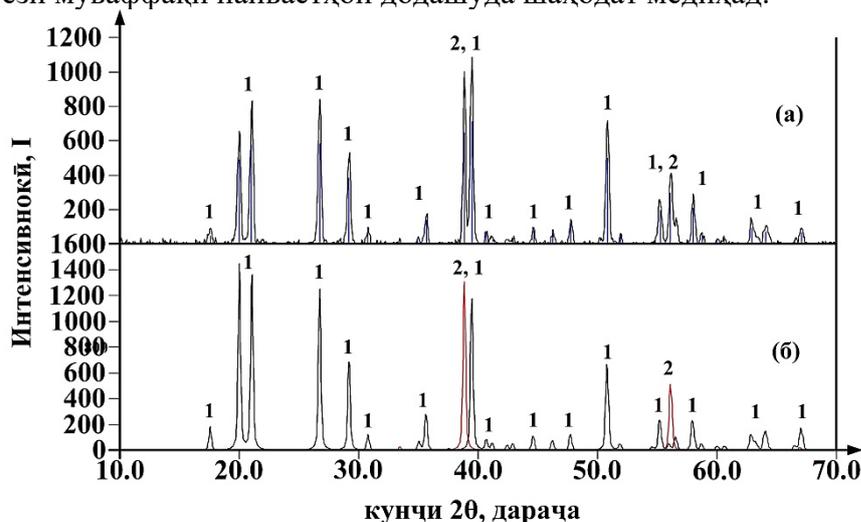
Дар расми 2 таъсири консентратсияи гидроксиди натрий ба баромади омехтаи намакҳои фтордор дарҷ гардидааст.



Расми 2. – Вобастагии дарчаи ҳалшавии омехтаи намакҳо аз консентратсияи NaOH

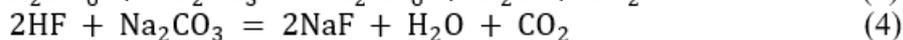
Афзоиши консентратсияи NaOH аз 15% то 35% ба зиёдшавии баромад то 95,1% оварда мерасонад, дар ин ҳолат ҳасили маҳлул меафзояд. Параметрҳои оптималӣ: 25 °C, 20 дақиқа, 25% NaOH, ки баромади намакҳои фторидро зиёда аз 90% таъмин менамоянд. Таркиби маҳсулот: 67,8% Na₂SiF₆ ва 31,5% NaF, ки бо таҳлили химиявӣ ва рентгенофазавӣ тасдиқ шудааст. Қисми моеъ барои истифодаи такрорӣ коркард мешавад.

Натиҷаи таҳқиқоти рентгенофазавӣ (расми 3) пурра мувофиқати раҳҳои омехтаи фторнамакҳои таҳлилшавандаро (графики болоӣ) бо намунаҳои стандартӣ (графики поёнӣ) нишон медиҳанд. Маълумоти ба дастомада бечунучаро мавҷудияти ду фазаи минералии мақсаднокро дар маҳсулот тасдиқ менамояд: малладрит (PDF 33-1280) ва виллиомит (PDF 88-2299), ки аз синтези муваффақи пайвастиҳои додасиҳо шаҳодат медиҳад.



Расми 3. – Таҳлили рентгенофазавӣ ба намунаи санҷишӣ (а) ва намунаи стандартӣ (б): 1-малладрит (Na₂SiF₆), 2-виллиомит (NaF)

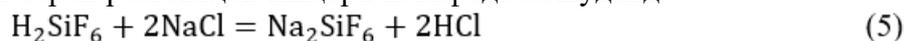
Таҳқиқоти минбаъда бо истифода аз карбонати натрий гузаронида шуданд. Зимни боҳамтаъсиркунии Na₂CO₃ бо омехтаи кислотаҳо, омехтаи СФН ва NaF ҳосил мешавад:



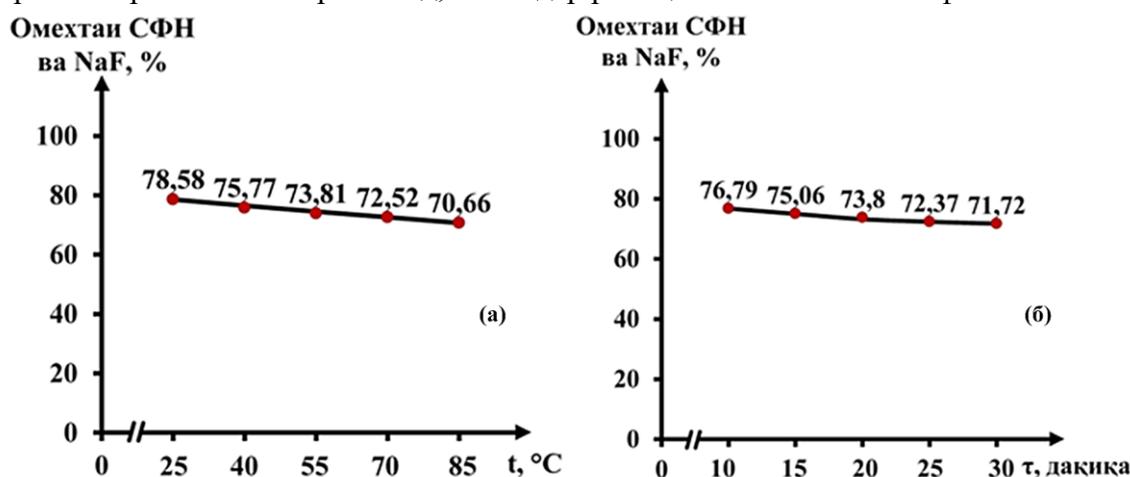
Технология дар ҳарорати 25 °С, давомнокии 15 дақиқа ва концентратсияи Na₂CO₃ 25% нисбатан самараноктар аст ва ҷудошавии намакҳоро зиёда аз 95% таъмин менамояд.

Ҳангоми гузаронидани таҳқиқоти рентгенофазавӣ муайян карда шуд, ки намунаҳои бо истифодаи карбонати натрий бадастомада, ба намунаҳои стандартии минералҳои малладрит (PDF 33-1280) ва виллиомит (PDF 88-2299) мутобиқат буда, ба натиҷаҳои истифодаи NaOH шабоҳат доранд.

Истифодаи хлориди натрийи маҳаллӣ дар коркарди омехтаи кислотаҳо дар доираи самти захирасозӣ мавриди омӯзиш қарор гирифтааст. Схекаи таҷрибавӣ бар асоси методикаҳои мутобиқ гардонидани шудааст, ки барои реагентҳои ишқорӣ истифода мешуданд.

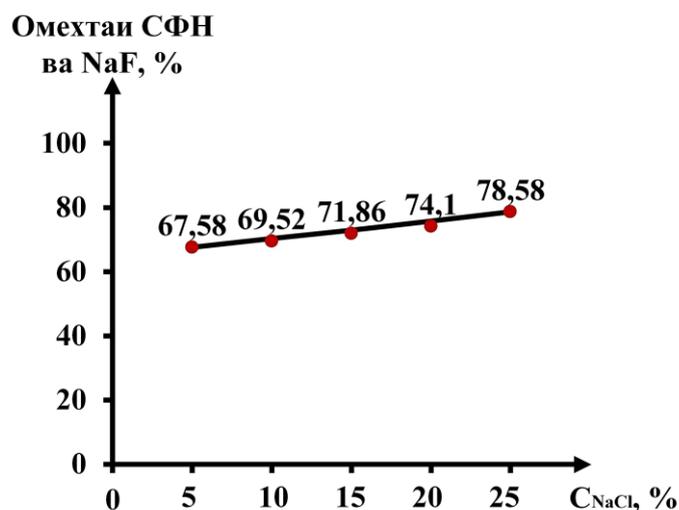


Коркарди омехтаи кислотаҳо бо NaCl ба ташаккули маҳсулоти мақсаднок – Na₂SiF₆, NaF ва HCl (реаксияҳои 5, 6) оварда мерасонад. Самаранокии раванд вобаста ба ҳарорат, вақт ва концентратсияи реагент тағйир меёбад, ки ин дар расмҳои 4 ва 5 инъикос ёфтааст.



Расми 4. – Таъсири ҳарорат (а) ва давомнокии раванд (б) ба дараҷаи ҷудошавии компонентҳо

Баландшавии ҳарорат аз 25 °С боло ба коҳиши самаранокии ҷудо кардани намакҳои фторидӣ оварда мерасонад, зеро ҳалшавии онҳо дар кислотаи хлориди ҳосилшуда зиёд мегардад (расми 4а). Дароз кардани вақти раванд зиёда аз 5-10 дақиқа низ мақсаднок нест, зеро ин ба афзоиши ҳалшавии маҳсулоти мақсаднок дар муҳити кислотаи мусоидат мекунад (расми 4б).

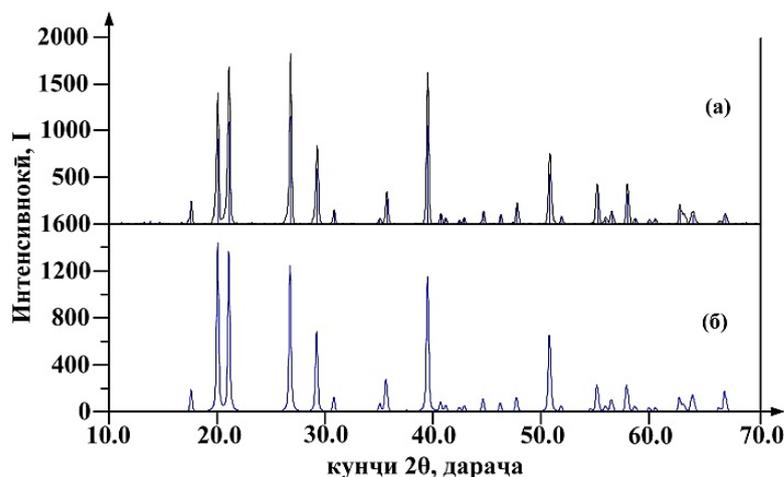


Расми 5. – Вобастагии дараҷаи ҷудошавии фторнамакҳо аз концентратсияи хлориди натрий

Мувофиқи расми 5, зимни зиёд намудани концентратсияи маҳлули NaCl ба дараҷаи максимум (25%), дараҷи ҷудошавии намакҳои фтордор зиёда аз 78% мегардад. Самаранокии баландтарини ҷудо кардани пайвастиҳои фтордор (зиёда аз 78%) ҳангоми коркарди омехтаи кислотаҳо бо маҳлули NaCl дар ҳарорати 25 °C, τ – 5-10 дақиқа ва концентратсияи хлориди натрий 25% ба даст меояд.

Таҳлили химиявӣ бартарии СФН (95,8%) ва миқдори ҳадди ақали NaF (3,5%)-ро нишон дод, ки ин бо ҳалшавии пурраи фториди натрий дар муҳити кислотаи хлорид шарҳ дода мешавад.

Барои тасдиқи таркиби таҳшин ва намакҳои бухоршуда таҳлили рентгенофазавӣ (расми 6) гузаронида шуд, ки сохтори кристаллии маҳсулот ва мутобиқати онҳоро ба таркиби химиявӣ тасдиқ намуд.



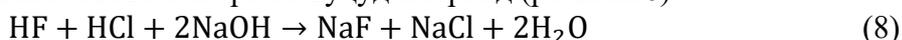
Расми 6. – Рентгенограммаи боқимондаи сахт (а) ва намунаи стандартии малладрит (б)

Рентгенограмма (расми б) шаҳодат медиҳад, ки намуна ба малладрит (PDF 33-1280) тааллуқ дорад; набудани рахҳои виллиомит ба миқдори ками NaF ($\leq 5\%$) шарҳ дода мешавад. Мувофиқи таҳлили намакҳои бухоршуда, рахҳо танҳо ба минерали виллиомит (PDF 36-1455) тааллуқ доранд, ки ҳалшавии онро дар кислотаи хлориди ҳосилшуда тасдиқ мекунад.

Боқимондаи маҳлулро метавонанд дубора бо омехтаи кислотаҳо коркард намоянд, ки дар ин ҳолат гузариши реаксияи зерин имконпазир мебошад:



Реаксия 7 нишон медиҳад, ки ҳангоми илова намудани NaF ба омехтаи кислотаҳо дубора СФН ва HF ҳосил мегарданд. Суспензияи бадастомада ҷолоиш мешавад, ки дар он фазаи моеъ аз омехтаи HF 4% ва HCl 13% иборат аст. Композитсияҳои бар асоси HCl ва HF ҳамчун реагентҳо барои тозакунии таҳшинҳои намакӣ дар гармкунакҳои оби гарм истифода мешаванд ё бо NaOH коркард шуда, омехтаи NaCl ва NaF-ро ба вучуд меоранд (реаксия 8).



Ин омехта метавонад дар равандҳои технологӣ барои коркарди такрорӣ таркибҳои кислотагӣ истифода шавад ё ҳамчун ашёи хом истифода гардад: а) синтези гидрохимиявӣ криолит, б) истехсоли флюсҳои рехтагарӣ. Ин гуна равиш ҳалқаи сарпечи истифодаи маводҳоро таъмин намуда, ба принципҳои технологияҳои захирасоз мувофиқат мекунад.

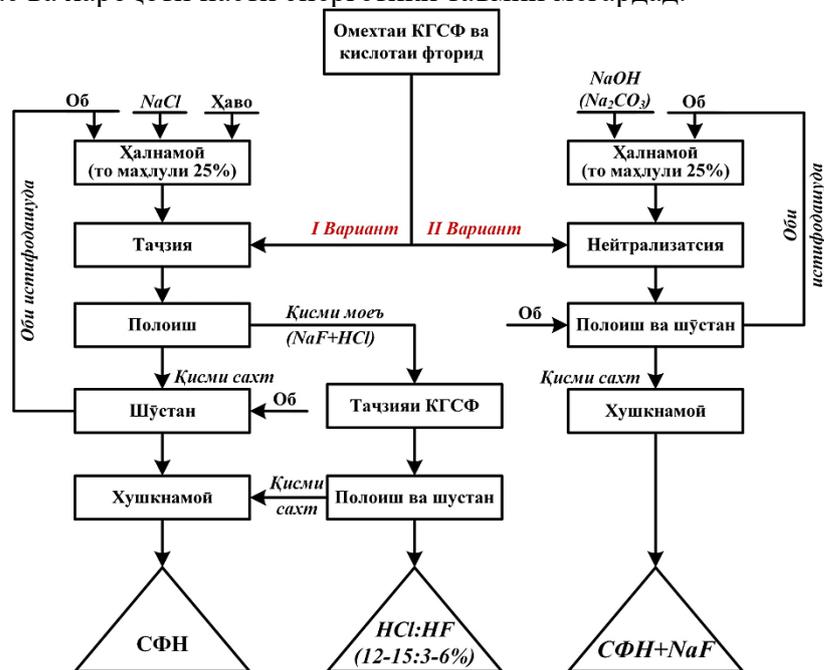
Таҳияи схемаи принципалию технологияи коркарди омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид бо мақсади ҳосил намудани омехтаи СФН ва фториди натрий

Дар натиҷаи гузаронидани таҳқиқотҳо, схемаи технологияи коркарди омехтаи кислотаҳо барои ҳосил кардани омехтаи СФН ва NaF таҳия карда шуд (ниг. ба расми 7).

Варианти аввал воридкунии воягузоришудаи омехтаи кислотаҳо бо маҳлули NaCl (25%) дар назар дорад. Дар натиҷаи реаксия таҳшин ҳосил мешавад, ки бо роҳи ҷолоиш ҷудо ва шуста мешавад. Маҳлули боқимонда, ки NaF ва кислотаи хлоридро дар бар мегирад, бо КГСФ ба реаксия рафта, ба таҳшини СФН оварда мерасонад. Маҳсулоти сахт, ки дар ду марҳила ба даст меоянд, яқоя карда шуда, хушк карда мешаванд.

Усули алтернативӣ имкон медиҳад, ки намакҳои муттаҳидшуда, аз ҷумла СФН ва NaF ба даст оварда шаванд. Ин мавод барои истифодаи мустақим дар равандҳои электролизӣ, ки ба истеҳсоли ҳулаҳои алюминий (махсусан силуминҳо) равона шудаанд, инчунин дар ташкили гудохтаи электролитӣ, таркибҳои семент ва флюсҳои рехтагарӣ мувофиқ мебошад.

Хулоса, ҳар ду варианти технологияи безаргардони омехтаи кислотаҳо содагии амалӣ, бехатарии экологӣ ва самаранокии иқтисодиро нишон медиҳанд, ки ин бо истифодаи ашёи хоми дастрас ва хароҷоти пасти энергетикӣ таъмин мегардад.



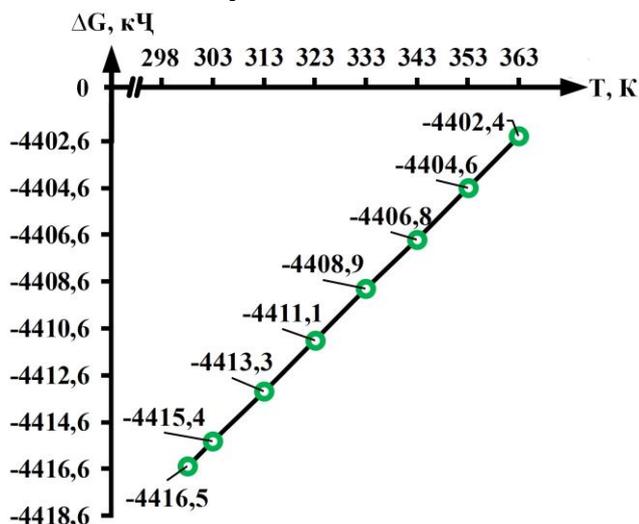
Расми 7. – Схемаи принципалию технологияи истеҳсоли омехтаи СФН ва фториди натрий аз омехтаи кислотаҳо бо истифода аз намакҳои натрийдор

Термодинамикаи раванди коркарди гидроксиди алюминий дар омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид

Дар раванди коркарди маҳсулоти иловагӣ бо истифодаи гидроксиди алюминий синтези AlF_3 мувофиқи схемаи зерин иҷро мегардад:



Дар ҳудуди ҳарорати 303-363 К параметрҳои термодинамикӣ реаксияи коркарди омехтаи кислотаҳо бо гидроксиди алюминий омӯхта шуд. Константаи тавозун ва тағйирёбии энергияи озоди Гиббс ҳисоб карда шуда, амалӣ будани равандро тасдиқ менамояд. Намоиши вобастагии ΔG аз ҳарорат дар расми 8 нишон дода шудааст.



Расми 8. – Вобастагии тағйирёбии энергияи озоди Гиббси реаксияи 9 аз ҳарорат

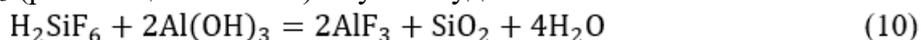
Таҳлили расми 8 нишон медиҳад, ки бо баландшавии ҳарорат арзишҳои энергияи озоди Гиббс манфии худро коҳиш дода, ба минтақаи мусбӣ наздик мешаванд. Ин тамоюл ба коҳиши афзалияти термодинамикии равандҳои коркарди омехтаи кислотаҳо дар ҳарорати баланд ишора мекунад.

Муҳим аст таъкид шавад, ки боҳамтаъсиркунии $Al(OH)_3$ бо КГСФ-и концентрониди бо таъсири раванди экзотермӣ ҳамроҳ шуда, ба ташаккули таҳшини таркиби мураккабдошта, аз ҷумла AlF_3 -и кристаллӣ ва SiO_2 -и аморфӣ оварда мерасонад, ки ҷудо кардани минбаъдаи фазаҳоро душвор мегардонад. Барои баланд бардоштани сифати раванд, омехтаи кислотаҳоро пешакӣ то 15% аз рӯи КГСФ оварда мерасонанд, ки ин ба ташаккули шакли ҳалшавандаи AlF_3 дар муҳити кислота мусоидат мекунад.

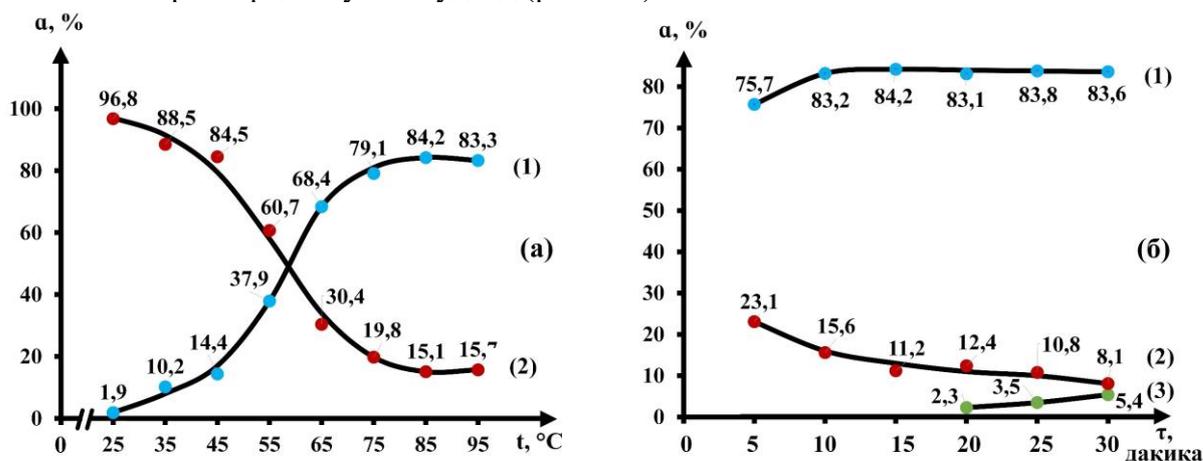
Дар чунин шароит реаксия бо $Al(OH)_3$ суст мегузарад, аммо бо баланд шудани ҳарорат то $95^\circ C$ суръати он ба таври назаррас меафзояд. Мувофиқи таҳлили термодинамикӣ, раванд худ ба худ гузашта, ба ҳосилшавии омехтаи AlF_3 ва SiO_2 -и аморфӣ оварда мерасонад.

Параметрҳои химиявӣ технологияи ба даст овардани AlF_3 ва SiO_2 -и аморфӣ аз маҳсулоти иловагӣ

Рушди технологияи дастрас ва самараноки истеҳсоли AlF_3 , махсусан дар асоси коркарди партовҳо, то ҳол мавзӯи таваҷҷуҳи назарраси илмӣ ва амалӣ боқӣ мемонад. Дар ин замина, дар шароити лабораторӣ имконияти синтези сефториди алюминий тавассути боҳамтаъсиркунии маҳсулоти иловагӣ бо $Al(OH)_3$ (реаксияҳои 10 ва 11) омӯхта шуд.



Суръати ҷараёни реаксияҳои химиявӣ аз чор параметри асосӣ вобаста аст: ҳарорат, вақт, концентратсия ва миқдори кислота. Дар ин замина, равандҳои ба даст овардани SiO_2 -и аморфӣ вобаста ба ин параметрҳо омӯхта шуданд (расми 9).



Расми 9. – Вобастагии дараҷаи ҷудошавии оксиди силитсийи аморфӣ аз ҳарорат (а) ва давомнокии раванд (б): 1 – дараҷаи ҷудошавии SiO_2 ; 2 – боқимондаи $Al(OH)_3$ -и ғашмонанд; 3 – AlF_3 -и кристаллизатсияшуда

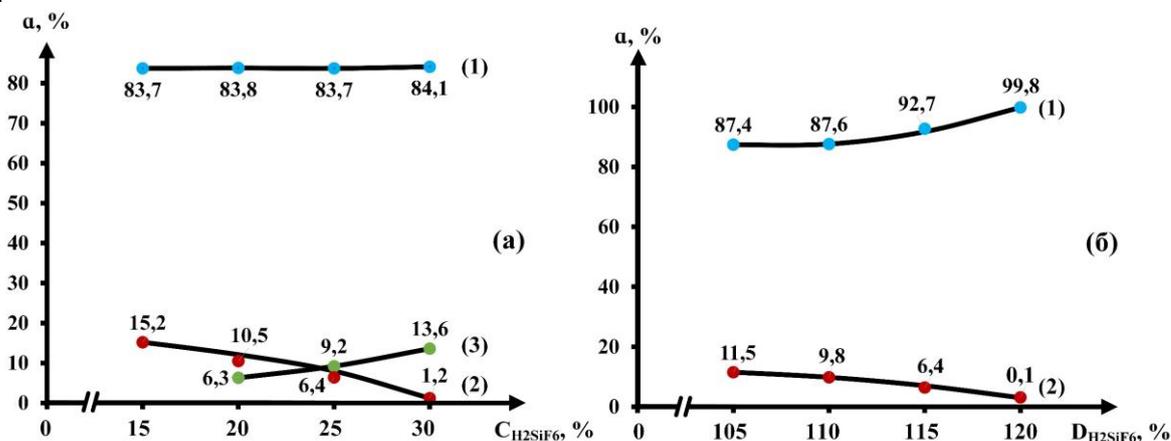
Таҳлили расми 9а нишон медиҳад, ки баландшавии ҳарорат ($25-85^\circ C$) реаксияи (10)-ро тезонида, ба бухоршавии 15% омехтаи кислотаҳо оварда мерасонад. Дар чунин шароит дараҷаи ҷудошавии оксиди аморфӣ силитсий (расми 9а, 1) ба 84% мерасад, аммо тақрибан 15% $Al(OH)_3$ боқӣ монда (расми 9а, 2), дар маҳсулот ҳамчун ифлосӣ сабт мегардад. Баланд шудани ҳарорат аз $85^\circ C$ боло таъсири назаррас ба ҳосили SiO_2 -и аморфӣ намегузорад, вале дар ин ҳолат бухоршавии фаъоли фазаи моеъ бо қисман кристаллизатсияшавии фториди алюминий мушоҳида мешавад, ки падидаи номатлуб ба ҳисоб меравад.

Аз расми 9б дида мешавад, ки пас аз гузариши зиёда аз 15 дақиқа, миқдори оксиди аморфӣ силитсий (расми 9б, 1) тағйир намеёбад. Аммо дар натиҷаи бухоршавӣ дар ҳамин марҳила, AlF_3 кристаллизатсия мешавад (расми 9б, 3), ки ин ба ифлосшавии SiO_2 -и аморфӣ оварда мерасонад. Зимни зиёд намудани давомнокии аз 5 то 15 дақиқа, миқдори гидроксиди

алюминийи ғашмонанд (расми 9б, 2) дар таркиби маҳсулот аз 23,1 то 11,2% кам мешавад.

Дар расми 10 дараҷаи ҷудошавии оксиди силитсий аморфӣ вобаста аз консентратсияи ва вояи КГСФ дарҷ гардидааст.

Зимни баланд намудани консентратсияи КГСФ суръати гузариши реаксияҳои 10-11 зиёд мегардад, аммо аз ҳисоби ҳосил шудани маҳлули сери AlF_3 , кристаллизатсияи он (расми 10а, 3) ба миён омада, маҳсулоти ин зинаро олуида месозад. Бинобар ин истифодаи КГСФ-и 15% мувофиқи мақсад мебошад.



Расми 10. – Дараҷаи ҷудошавии SiO_2 -и аморфӣ вобаста аз консентратсия (а) ва вояи КГСФ (б): 1 – дараҷаи ҷудошавии SiO_2 ; 2 – боқимондаи $Al(OH)_3$ -и ғашмонанд; 3 – AlF_3 -и кристаллизатсияшуда

Барои пурра ҳал шудани $Al(OH)_3$, вояи КГСФ аз рӯи ҳисобҳои стехиометрӣ аз 100 то 120% зиёд карда шуд, ки дар натиҷа реаксияи 10 ба таври муқаммал мегузарад (расми 15б).

Чуноне ки аз расми 10б дида мешавад, зимни баланд намудани вояи КГСФ то 120% аз ҳисоби стехиометрӣ, дараҷаи ҷудошавии оксиди силитсий то 99,8% баланд гардида, миқдори гидроксиди алюминийи ғашмонанд (расми 10б, 2) ба миқдори ниҳой (0,1%) мерасад.

Муайян карда шуд, ки тозагии оксиди силитсий аморфӣ ба 98% баробар мебошад.

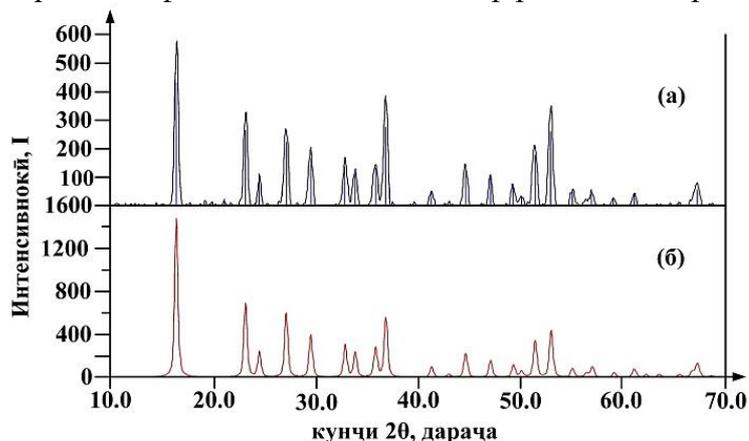
Ҳамзамон, барои ташаккули кристаллизатсияи маҳлули фториди алюминий, ки дар реаксияҳои 10 ва 11 ҳосил мешавад, пас аз ҷудо кардани SiO_2 -и аморфӣ, таҳқиқоти сершумор вобаста ба тағйирёбии ҳарорат, давомнокӣ ва вояи маркази кристаллизатсия (ҳокаи AlF_3) гузаронида шуд. Натиҷаҳои ин таҳқиқот дар ҷадвали 1 пешниҳод шудаанд.

Ҷадвали 1. – Таъсири параметрҳои гуногун ба кристаллизатсияи маҳлули AlF_3

№	Шароити кристаллизатсия			Дараҷаи ҷудошавии AlF_3 , %	
	$t, ^\circ C$	τ , соат	Миқдори иловакунанда (AlF_3), %		
1	50	1,0	20	5,01	
2	60			23,36	
3	70			27,34	
4	80			40,49	
5	90			64,9	
6	90	2,0		85,17	
7		2,5		89,59	
8		3,0		94,63	
9		3,5		95,05	
10		4,0		97,96	
11		3,0		10	48,32
12				15	72,97
13				25	95,01
14				30	96,07

Параметрҳои оптималии раванди кристаллизатсияи маҳлули фториди алюминий чунин мебошад: ҳарорат – 90 °С, давомнокии раванд – 3,0 соат, воия маркази кристаллизатсия – 20% аз массаи ибтидоӣ. Дараҷаи кристаллизатсияи AlF_3 , зиёда аз 94 %-ро ташкил медиҳад.

Натиҷаи таҳлили рентгенофазавии хокаи AlF_3 -и дар расми 11 оварда шуааст.



Расми 11. – Рентгенограммаи намунаи таҳлилшаванда (а) ва эталони минерали розенбергит ($AlF_3 \cdot 3H_2O$) (б)

Аз расми 11 мушоҳида мегардад, ки намунаи мазкур ба минерали розенбергит (PDF – 35-827) тааллуқ дошта, аз гузариши технологияи мазкур шаҳодат медиҳад. Бо мақсади нест намудани оби кристаллизатсионӣ таркиби фториди алюминий, намуна дар ҳарорати 500 °С коркард шуда, мувофиқи таҳлили рентгенофазавӣ рахҳои пайдошуда ба пайвастагии сунъии AlF_3 , ки рақами он дар картотекаи PDF – 80-1007 мебошад, тааллуқ дорад.

Дараҷаи тозагии сефториди алюминийи синтезшуда, дар Лабораторияи марказии ҚСК «ШАТ» муайян гардид. Натиҷаҳо дар ҷадвали 2 оварда шудаанд.

Ҷадвали 2. – Муқоисаи намунаи дар ҳарорати 500 °С коркардшуда, бо AlF_3 -и стандартӣ

Нишондиҳандаҳо	ГОСТ 19181-78		Намунаи санҷишӣ
	Навъи олій	Навъи якум	
Ҳиссаи массавӣ, %			
AlF_3 , %, на кам аз	93	88	97,8
Al_2O_3 -и озод, %, на беш аз	4	7	1,12
Ҷамъи $SiO_2 + Fe_2O_3$, %, на беш аз	0,3	0,4	0,35
ТЗТ, %, на беш аз	2,5	3,5	0,5

Таҳлили маълумотҳои дар ҷадвали 2 овардашуда нишон медиҳад, ки ҳиссаи массаи фториди алюминий зиёда аз 98% мебошад, ки дараҷаи баланди тозагии онро тасдиқ мекунад.

Таҳқиқотҳои физикавӣю химиявӣ мутобиқати маҳсулоти ба дастомадаро ба талаботи ГОСТ 19181-78 собит намуданд, ки имкон медиҳад онро ҳамчун ашёи хом барои истеҳсоли электролит дар истеҳсоли алюминий тавсия кард.

Технологияи синтези криолит аз маҳлулҳои фтордор

Технологияи таҳияшудаи синтези криолит ба таҳшиншавии он аз маҳлулҳои оби фториди алюминий ва натрий дар шароити лабораторӣ асос ёфтааст, ки имконияти ба даст овардани маҳсулоти мақсадноки сифати муайяноро бо истифодаи реагентҳои танзимшуда тасдиқ мекунад. Дар натиҷаи реаксияи таҳшинии таҳти рақами 12 пешниҳодшуда, криолити кристаллӣ ҳосил мегардад, ки имконияти технологияи ба даст овардани онро аз маҳсулоти иловагӣ собит менамояд.



Параметрҳои синтези криолит (25-85 °С, 5-25 дақиқа) таъсири назаррас ба дараҷаи таҳшиншавӣ намегузоранд, ки он устуворона зиёда аз 98% мебошад. Воия NaF камтар аз 90%

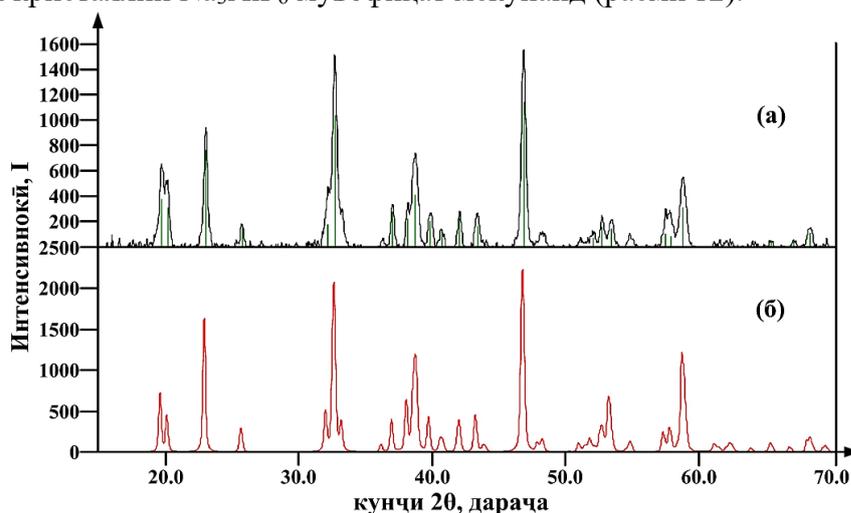
баромадро коҳиш медиҳад, дар ҳоле ки зиёдшавии он аз 110% ба ташаккули хиолит оварда мерасонад, ки падидаи номатлуб аст. Параметрҳои оптималӣ чунинанд: ҳарорат 65-85 °С, давомнокӣ 5-10 дақиқа, вояи фториди натрий 100%.

Дар ҷадвали 3 таркиби химияи криолит оварда шудааст, ки мувофиқи натиҷаҳои он маҳсулот ба талаботҳои стандартӣ ҷавобгӯ аст.

Ҷадвали 3. – Муқоисаи таркиби химиявии криолити ҳосилшуда бо криолити стандартӣ

Нишондиҳандаҳо	ГОСТ 10561-80. Меъёри навъҳо			Криолити санҷишӣ
	Олӣ	Яқум	КИ	
Ҳиссаи массавӣ, %:				
F, на кам аз	54	54	52	53,8
Al, на беш аз	18	19	23	12,6
Na, на кам аз	23	22	13	32,6
SiO ₂ , на беш аз	0,5	0,9	1,5	0,12
Fe ₂ O ₃ , на беш аз	0,06	0,08	0,1	0,03
SO ₄ , на беш аз	0,5	1,0	1,0	0,03
Об, на беш аз	0,2	0,5	0,8	0,22

Таҳлили рентгенофазавӣ, ки барои санҷиши маълумоти таҳқиқоти химиявӣ ва тасдиқи реаксияи синтези криолит гузаронида шуд, мавҷудияти раҳҳои дифраксионии равшанро нишон дод, ба сохтори кристаллии Na₃AlF₆ мувофиқат мекунанд (расми 12).



Расми 12. – Рентгенограммаи намунаи таҳлилшаванда (а), эталони Na₃AlF₆ (б)

Таҳлили рентгенограмма (расми 18) нишон дод, ки аз 24 раҳи дифраксионии сабтшуда 22-тои онҳо бо хусусиятҳои минерали криолит мувофиқи пойгоҳи маълумоти PDF № 70-1606 мувофиқат мекунанд. Ин натиҷаҳо дурустии таҳлили химиявиро тасдиқ намуда, ба ҷараёни реаксияи 12 бо ташаккули фазаи кристаллии Na₃AlF₆ ишора мекунанд.

Чуноне ки қайд гардида буд, зиёд намудани вояи маҳлули NaF ба ҳосилшавии минерали хиолит оварда мерасонад, ки рақами он дар картотекаи PDF ба 30-1144 баробар мебошад.

Ишора шуда буд, ки ҳарорат ба суръати ҷараёни криолит таъсири зиёд дошта, таҳқиқотҳо дар ин самт гузаронида шуданд. Таҳқиқотҳои мазкур бо истифода аз қифи одӣ ва дастгоҳи вакуумии ҷараёни дар шароити лабораторӣ гузаронида шуданд (ҷадвали 4).

Ҷадвали 4. – Омӯзиши суръати ҷараёни криолит вобаста аз ҳарорат

№	Ҳарорат, °С	Суръати ҷараёни вобаста аз:	
		қифи одӣ, дақиқа	таҷҳизоти вакуумӣ, дақиқа
1	25	210	35

2	45	160	17
3	65	75	8
4	85	60	5

Баланд кардани ҳарорат аз 25 то 85 °С суръати поилоиши криолитро аз 210 то 60 дақиқа кам мекунад. Истифодаи дастгоҳи вакуумӣ онро боз аз 35 то 5 дақиқа коҳиш медиҳад. Пас, барои ҳосил намудани криолит беҳтар аст ҳароратро 65-85 °С нигоҳ дошта, поилоиширо бо дастгоҳи вакуумӣ анҷом диҳанд.

Усули мазкур бо соддагии технологӣ, самаранокии баланд ва сатҳи пасти хароҷоти энергетикӣ фарқ мекунад, ки ин онро барои истифодаи саноатӣ ояндадор месозад.

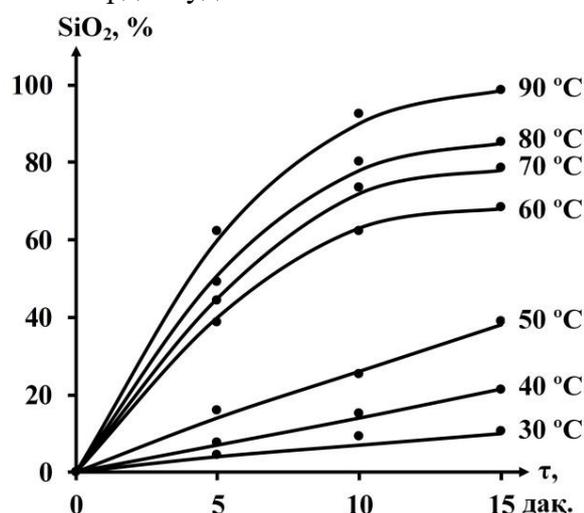
Тавсифи равандҳои кинетикӣ зимни коркарди маҳсулоти иловагии истеҳсоли бо гидроксиди алюминий

Тавре ки қаблан муқаррар гардида буд, раванди безаргардонии омехтаи кислотаҳо бо гиббсит марҳила ба марҳила мегузарад. Дар марҳилаи аввал ташаккули шакли аморфӣ SiO_2 ва сефториди алюминийи ҳалшаванда ба амал меояд. Дар марҳилаи дуюм, бо тағйир ёфтани шароити муҳит, кристаллизатсияи AlF_3 аз маҳлул мушоҳида мешавад.

Безаргардонии омехтаи кислотаҳо бо истифодаи гиббсит дар ҳарорати 90 °С, давомнокии 15 дақиқа, консентратсияи H_2SiF_6 15%, HF 8% ва воҷи кислотаҳо, ки 120% мувофиқи ҳисоби стехиометрӣ мебошад, амалӣ мегардад. Дар чунин параметрҳо дараҷаи баланди таҳшиншавии шакли аморфӣ дуоксиди силитсий (98,5%) ва баромади фториди алюминий ба маҳлул (95,5%) ба даст оварда мешавад.

Кинетикаи нейтрализатсия ва кристаллизатсияи омехтаи кислотаҳо бо $\text{Al}(\text{OH})_3$ таҳқиқ гардида, аввалан, таҷзияи $\text{Al}(\text{OH})_3$ барои ҳосил кардани SiO_2 -и аморфӣ дар ҳароратҳои 30-90 °С ва давомнокии 5-15 дақиқа омӯхта шуд.

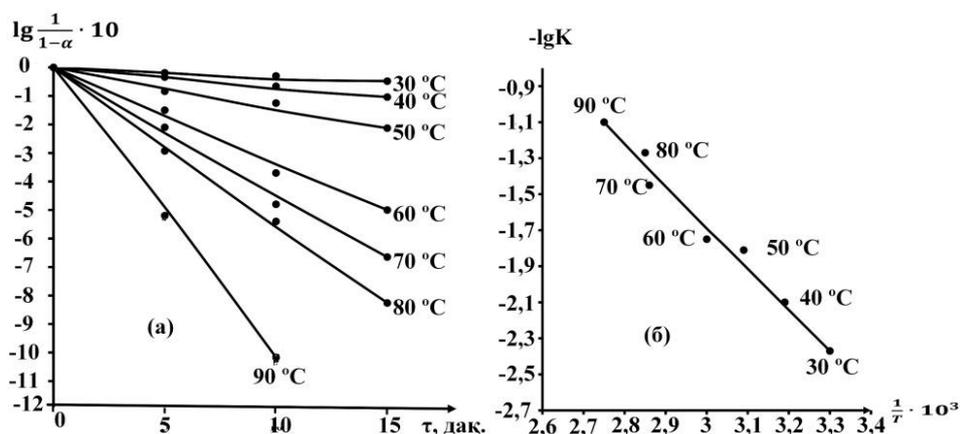
Омӯзиши дараҷаи ҷудошавии SiO_2 -и аморфӣ вобаста аз давомнокии таҷзия дар ҳудудҳои гуногуни ҳарорат дар расми 13 оварда шудааст.



Расми 13. – Вобастагии баромади оксиди силитсийи аморфӣ аз давомнокии раванд дар ҳароратҳои гуногун

Дар ҳарорати 30-50 °С қачҳои кинетикӣ хати рост доранд (расми 13), дар ҳоле ки дар 60-90 °С онҳо аз шакли рост ба шакли параболӣ мегузаранд. Ҳисобҳо мувофиқи муодилаи тартиби аввал мебошанд.

Дар расми 14 натиҷаи ҳисобҳои кинетикӣ раванди таҷзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид оварда шудааст.



Расми 14. – Графикҳои вобастагии $\lg 1/(1-\alpha)$ аз вақт (а) ва $\lg K$ аз ҳарорати баръакс (б)

Чуноне ки аз графики вобастагии $\lg 1/(1-\alpha)$ аз вақт (расми 14а) дида мешавад, рахҳои ҳосилшуда қиматҳои манфӣ дошта, зимни таҳлили ин хатҳо, қимати константаи суръати раванди нейтрализатсия дар ҳудуди таҳқиқшавандаи ҳарорат ҳисоб карда шуд.

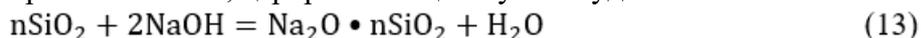
График дар расми 14б вобастагии хаттии $\lg K$ аз ҳарорати баръакс ($1/T$)-ро инъикос мекунад, ки таъсири пешгӯишавандаи омилҳои ҳароратӣ ба параметрҳои кинетикӣ тасдиқ мегардад.

Энергияи фаъолнокии ҳосилшавии SiO_2 -и аморфӣ, ки бо муодилаи Аррениус ҳисоб шудааст (50,77 кҶ/мол), ба речаи кинетикӣ раванд ишора мекунад. Ҳангоми омӯзиши ҳалшавии AlF_3 дар интервали 30-90 °C муайян гардид: дар 30-50 °C қачҳои кинетикӣ хаттӣ буда, дар 60-90 °C шакли параболия мегиранд. Энергияи фаъолнокӣ барои AlF_3 38,71 кҶ/молро ташкил дод, ки ба ҳудуди интиқоли мувофиқат мекунад.

Ҳамин тариқ, қиматҳои ҳисобшудаи кинетикӣ, механизми равандро ҳангоми таҷзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи кислотаҳо муайян намуда, имкон медиҳанд, ки шароити оптималӣ барои татбиқи ин технология интихоб карда шавад.

Технологияи ҳосил намудани шишаи моеъ аз оксиди силитсийи аморфӣ

Дар шароити лабораторӣ реаксияи ҳосилкунии шишаи моеъ аз SiO_2 -и аморфӣ (реаксия 13) ҳангоми тағйир додани консентратсияи NaOH , ҳарорат ва вақт омӯхта шуд.



Муайян гардид, ки баландшавии ин параметрҳо (NaOH : 5-25%, ҳарорат: 25-90 °C, вақт: 15-60 дақиқа) ба зиёд шудани ҳалшавии SiO_2 мусоидат мекунад. Шароити оптималӣ барои танзими модули силикатӣ чунин аст: C_{NaOH} 15%, 85-90 °C, 60-70 дақиқа. Таҳлили ҳосиятҳои маҳсулот, ки дар Лабораторияи марказии ҶСК «ШАТ» анҷом дода шуд, мутобиқати онро бо нишондиҳандаҳои стандартӣ тасдиқ намуд (ҷадвали 5).

Ҷадвали 5. – Муқоисаи параметрҳои маҳсулот бо шишаи моеъи стандартӣ

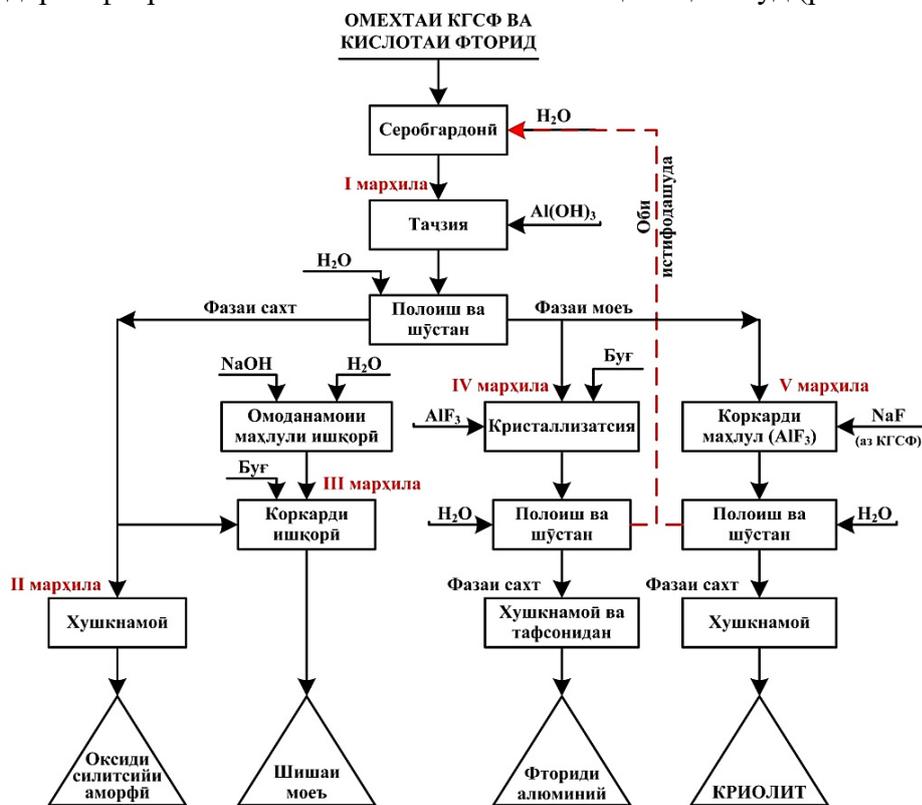
Нишондиҳандаҳо	ГОСТ 13078-81, Тамғаҳо			Маҳсулоти муқоисавӣ
	А	Б	Шишаи моеъи натрийдор 1	
Ҳиссаи массавӣ, %				
SiO_2	22-29	24-31	29-36	28,1
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$, на беш аз	0,25			0,15
Na_2O	9-12	8-12	10-13	9,17
Модули силикатӣ	2,3-2,6	2,6-3,0		3,2
Зиччӣ, г/см ³	1,36-1,45		1,47-1,52	1,4

Маълумоти ҷадвали 5 мутобиқати шишаи моеъи ба дастомадаро ба стандартҳои тамғаҳои А ва Б мувофиқи ГОСТ 13078-81 тасдиқ мекунад. Ин далели мақсаднокии истеҳсоли

он аз дуоксиди силитсийи аморфӣ мебошад. Технология бо сарфи ками энергия ва набудани зарурати таҷҳизоти мураккаб фарқ мекунад, ки онро барои истифодаи саноатӣ дастрас месозад. Шишаи моеъи ҳосилшуда метавонад дар сохтмон ва саноати алюминий ҳамчун маводи сементкунандаи ба кислота ва гармӣ устувор, самаранок истифода шавад.

Схемаи технологии коркарди комплекси омехтаи кислотаҳо

Бар асоси маълумоти бадастомада, схемаи технологию принципалии синтези компонентҳои дорой фтор ва силитсий аз омехтаи кислотаҳо таҳия шуд (расми 15).



Расми 15. – Схемаи принципалию технологию коркарди комплекси омехтаи кислотаҳо

Ин технология имкон медиҳад, ки омехтаи кислотаҳо ба таври мукамал ва боэътимод коркард шавад, бо риояи меъёрҳои экологӣ ва иқтисодӣ, ва дар натиҷа намудҳои гуногуни маҳсулоти арзишманд истеҳсол гарданд. Коркарди яқҷояи мукамал ба контури истеҳсолии «ТАЛКО Кемикал» на танҳо васеъ намудани номгӯи компонентҳои ҷудошавандаро таъмин мекунад, балки инчунин хароҷоти нақлиётӣ ва энергетикиро ба таври назаррас коҳиш медиҳад.

ТАҲҚИҚОТҲОИ ТАҶРИБАВИЮ ИСТЕҲСОЛӢ ВА САНЦИШИИ МАҲСУЛОТҲОИ КОРКАРДИ ОМЕХТАИ КГСФ ВА КИСЛОТАИ ФТОРИД. АРЗӢБИИ ИҚТИСОДИИ ТЕХНОЛОГИЯҲО

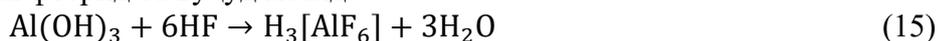
Истеҳсоли миқдори таҷрибавию саноатии фториди алюминий ва криолит аз омехтаи кислотаҳо

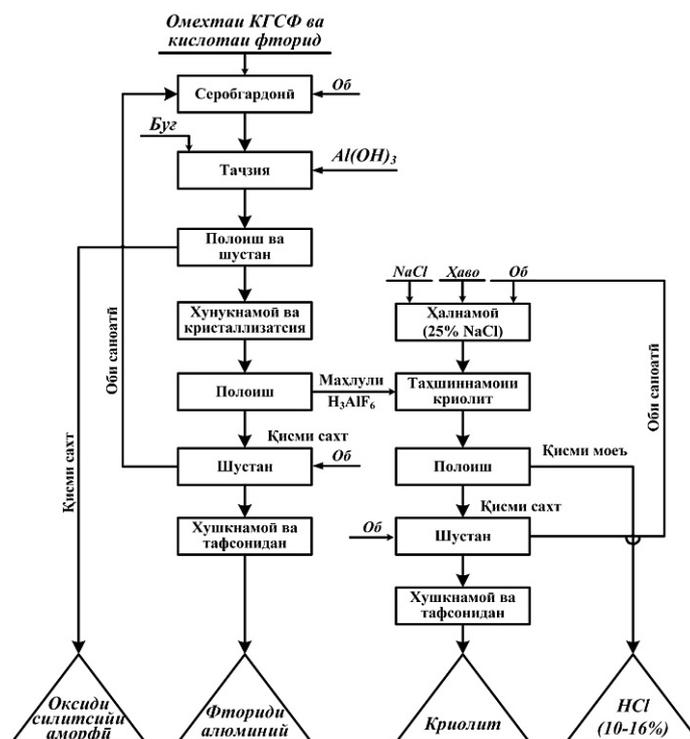
Коркарди омехтаи кислотаҳо дар Технопарки муштараки ҶДММ «ТАЛКО Кемикал» ва МД «ПИТМ»-и ҶСК «ШАТ» мувофиқи схемаҳои думарҳилагӣ анҷом дода мешавад (нигар ба расми 16).

AlF_3 зимни боҳамтаъсиркунии КГСФ бо $Al(OH)_3$ мувофиқи реаксияи зерин синтез мегардад:



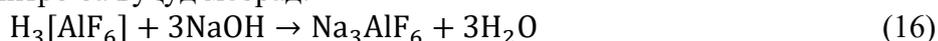
Ҳангоми зиёдатӣ будани $Al(OH)_3$ ташаккули кислотаи фторалюминат зимни боҳамтаъсиркунӣ бо кислотаи фторид ба вучуд меояд:





Расми 16. – Схекаи коркарди комплекси омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид

Пас аз хориҷ намудани SiO_2 ва AlF_3 кислотаи фторалюминат бо NaOH коркард шуда, мувофиқи схема зерин криолитро ба вучуд меорад:



Ҳамчун технологияи иловагӣ, криолитро метавонад аз кислотаи фторалюминат бо истифодаи NaCl ҳосил кард (реаксияи 17):



Реаксия 17 нишон медиҳад, ки ҳамзамон бо ташаккули криолит ҷудошавии кислотаи хлорид бо концентратсияи тақрибан 10-15% ба амал меояд.

Дар шароити таҷрибаҳои озмоишию саноатӣ, ки мувофиқи схемаи технологӣ (расми 22) анҷом дода шуданд, коркарди омехтаи кислотаҳо бо таркиби 25 % КГСФ ва 14 % HF гузаронида шуд. Мувофиқи ҳисобҳои стехиометрӣ, барои паст кардани концентратсияи КГСФ то 15 % миқдори 370 кг омехтаи кислотаҳо бо 630 кг об омехта гардид. Дар ҷараёни коркарди маҳлули серобшудаи кислота ба системаи реаксионӣ 260 кг гидроксиди алюминий ворид карда шуд. Пас аз анҷоми раванди 30 дақиқагии таҷзия, таҳшиншавии дуоксиди силитсий аморфӣ ба амал омад, ки бо об шуста шуд. Кристаллизатсияи сефториди алюминий худ ба худ ҳангоми хушкшавии маҳлул сурат гирифт, баъдан фазаи сахт бо роҷи полииш аз кислотаи фторалюминат ҷудо карда шуд. Ба кислотаи ҷудошуда, миқдори ҳисобшудаи маҳлули сери NaCl илова гардид, ки дар натиҷа криолит таҳшин шуд.

Бар асоси натиҷаҳои таҷрибаҳои озмоишию саноатӣ ба даст оварда шуданд: 265 кг AlF_3 (98 %), 40 кг криолит ва 8 кг SiO_2 -и аморфӣ. Технология бо санад аз 03.05.с.2019 тасдиқ гардид.

Таҳлилҳо нишон доданд, ки хосиятҳои маҳсулот ба талаботи ГОСТ 19181-78 ва ГОСТ 10561-80, инчунин ба стандартҳои маҳсулоти воридотӣ ва намунаҳои ҚДММ «ТАЛКО Кемикал» мутобиқат мекунанд.

Истеҳсоли СФН аз омехтаи кислотаҳо бо истифода аз гидроксид ва хлориди натрий

Дар Технопарки муштарак таҷрибаҳои озмоишию саноатӣ, оид ба истеҳсоли СФН бо ду усул – бо истифодаи NaOH ва NaCl гузаронида шуданд. Таҷрибаҳо мувофиқи схемаҳои таҳияшуда (расмҳои 7 ва 18) иҷро гардиданд.

Санҷиши таҷрибавию саноатӣ, бо истифода аз КГСФ-и 25% ба миқдори 1000 кг ва 2090 кг хлориди натрий дар намуди маҳлули сер гузаронида шуд. Дар натиҷа ба миқдори 330 кг СФН ва 1100 кг маҳлули 15-17%-и кислотаи хлорид истеҳсол карда шуд. Дар асоси натиҷаи

санчишҳои таҷрибавию саноатӣ, санад аз 03.05.с.2019 тартиб дода шуд.

Маҳсулоти истеҳсолшуда хокаи кристаллии рангаш сафед ба шумор рафта, зимни таҳлилҳои физикавӣ химиявӣ нишондодҳои асосии СФН маълум карда шуд: миқдори СФН, на кам аз – 95%; миқдори HCl, на зиёда аз – 1,0%; миқдори намӣ, на зиёда аз – 1,0%.

Варианти дуҷуми раванди коркарди КГСФ бо гидроксидаи натрий ба шумор меравад. Истеҳсоли миқдори таҷрибавии СФН бо истифода аз 1000 кг маҳлули 25%-и КГСФ ва 300 кг маҳлули 20%-и гидроксидаи натрий ба роҳ монда шуд. Дар натиҷа ба миқдори 350 кг маҳсулот истеҳсол карда шуд. Оид ба натиҷаи санчиш, санад аз таърихи 03.05.2019 тартиб дода шуд.

Нишондодҳои асосии физикавӣ химиявӣ СФН: миқдори СФН, на кам аз – 95%; миқдори HCl, на зиёда аз – 1,0%; миқдори намӣ, на зиёда аз – 1,0%.

Хосиятҳои асосии физикавӣ химиявӣ СФН ба талаботи меъёри ГОСТ 87-66 ҷавобгӯӣ мебошад. Миқдори таҷрибавию саноатии СФН-и сунъӣ дар истеҳсолоти электролизи ҚСҚ «ШАТ» бо муваффақият аз санчиш гузаронида шуданд.

Истеҳсоли миқдори таҷрибавии шишаи моеъ аз оксиди силитсийи аморфӣ ва санчиши он ба сифати маводи часпанда

Дар натиҷаи озмоишҳои лабораторӣ, ки аз 11 то 22 апрели соли 2022 гузаронида шуданд, аз ~600 г SiO₂-и аморфӣ зиёда аз 2 кг шишаи моеъ синтез гардид. Таҳлили химиявӣ, ки дар лабораторияи сеҳи анодҳои пухташудаи ҚСҚ «ШАТ» иҷро шуд, чунин хосиятҳоро нишон дод (масс. %): SiO₂ – 29,5; Fe₂O₃ + Al₂O₃ – 0,15; Na₂O – 9,5; модули силикатӣ – 2,91; зичӣ – 1,41 г/см³. Маҳсулоти бадастомада ба талаботи тамғаҳои А ва В мувофиқи ГОСТ 13078-81 ва ТИ 117-05-20 ҷавобгӯӣ мебошад. Аз 24 май то 1 июни соли 2022 мавод ҳамчун сементи ба гармӣ устувор дар сеҳи маводҳои оташтобовар ва сохтумонӣ (СМОС)-и ҚСҚ «ШАТ» санчида шуда, бо намунаи корхонавӣ муқоиса гардид.

Барои тайёр кардани омехта 50% хокаи мертел ва 50% шишаи моеъи озмоишӣ мувофиқи дастури технологияи ТИ 065-03-21-и ҚСҚ «ШАТ» истифода шуд. Дар варианти аввал хишти оташбардор бо омехта тар карда шуда, ба болои хишти дигар гузошта шуд. Дар варианти дуюм маҳлули ғафсиаш 4 мм ба хишти аввал молида шуда, баъдан хишти дуюм гузошта шуд. Озмоишҳои монанд бо шишаи моеъи истеҳсолшавандаи корхона низ гузаронида шуданд.

Озмоишҳое ки аз 25.05 то 01.06.с.2022 дар печи тунелии СМОС дар ҳарорати 1100-1200 °С гузаронида шуданд, тасдиқ карданд, ки намунаҳои озмоишии шишаи моеъ пурра ба маҳсулоти ҚСҚ «ШАТ» аз рӯи хусусиятҳои ба гармӣ устувор буданд, мутобикат мекунанд. Маводи ба дастомада барои истеҳсоли сементи ба гармӣ устувор ва истифода дар таъмири асосии электролизёрҳо мувофиқ аст. Дар асоси озмоишҳои муваффақ 22.06.с.2022 санади тасдиқунанда, имзо гардид.

Татбиқи технологияи истеҳсоли омехтаи СФН ва фториди натрий дар корхонаи ҚДММ “ТАЛКО Кемикал”

Соли 2023 дар Технопарки Муштарақ мувофиқи схемаи технологияи расми 7 (саҳ. 11) тақрибан 43 тонна омехтаи СФН ва фториди натрий истеҳсол карда шуд. Санаи 30.11.с.2023 аз ҚДММ “ТАЛКО Кемикал” тақрибан 18 т омехтаи мазкур ба ҚСҚ “ШАТ” интиқол дода шуд, ки пас аз хушкнамоӣ дар раванди электролиз истифода гардид.

Мувофиқи таҳлилҳои рентгенофазавӣ, омехтаи намакҳои фтордор ба минералҳои стандартии малладрит (PDF – 33-1280) ва виллиомит (PDF – 88-1299) мувофиқ мебошанд (ба монанди рентгенограмаҳои расми 3, саҳ. 8).

Ҳамин тариқ, баъд аз истеҳсоли миқдори таҷрибавию саноатии омехтаҳои намакҳои фтордор санад оид ба татбиқи технологияи мазкур дар Технопарки Муштарақ (н. Ёвон) тасдиқ карда шуд.

Истеҳсоли миқдори таҷрибавии флюси рехтагарӣ, дар асоси омехтаи СФН ва фториди натрий ва санчиши он дар истеҳсолоти рехтагарии ҚСҚ “ШАТ”

Дар давраи аз 08.07 то 15.07.с.2024 аз партовҳои хлордори ҚСҚ “Тоҷикимиёсаноат”, омехтаи СФН ва фториди натрийи ҚДММ «ТАЛКО Кемикал», инчунин концентрати флюорити

ғайристандартии ҶСК «Корхонаи бойгардони Такоб» дар сеҳи газтозакуни (СГ) ва сеҳи таҷрибавию электролизии (СТЭ)-и ҶСК «ШАТ» ба миқдори 2100 кг флюси рӯйпӯш ва тозакуандаи тамғаи «ПРФ-23» (покривно-рафинирующий флюс 2023), ки аз ҷониби МД «ПИТМ»-и ҶСК «ШАТ» таҳия гардидааст, истеҳсол карда шуд.

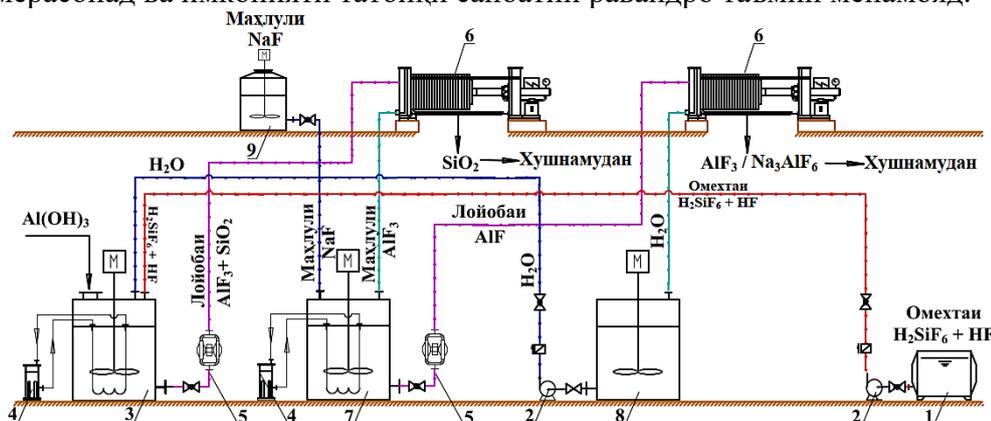
Дар давраи аз 05.08. то 05.09.с.2024 дар тамоми омехтакунакҳои (миксер) шуббаи рехтагарии №2-и ҶСК «ШАТ», истифодаи таҷрибавию саноатии флюси «ПРФ-23» бо речаи озмоишӣ, бомуваффақият анҷом ёфт. Мувофиқи таҷрибаҳо, флюси «ПРФ-23» аз рӯйи ҳамаи параметрҳои физикавию химиявӣ ва экологияш ба талаботҳои меъёрӣ ҷавобгӯӣ мебошад.

Бояд гуфт, ки омехтаи СФН ва NaF дар таносуби 60/40% мебошад, бинобар ин дар таркиби 2100 кг флюс, миқдори Na₂SiF₆ 15% ва миқдори Si дар он 2,23%-ро дар бар мегирад. Мувофиқи ҳисобҳо муайян шуд, ки агар раванди барқароршавии Si амалӣ гардад, онгоҳ миқдори он дар таркиби 1 т металли алюминий тахминан то 0,001%-ро ташкил медиҳад.

Ҳамин тариқ, бо истифода аз флюси таҷрибавӣ, зиёда аз 2 ҳазор тонна металли алюминийи аввалия, коркард шуд. Дар натиҷаи санҷишҳои таҷрибавию саноатӣ, флюси таҷрибавии «ПРФ-23» барои истифода дар истеҳсоли рехтагарии ҶСК «ШАТ» тавсия дода мешавад. Дар асоси санҷишҳои таҷрибавию истеҳсолии гузаронидашуда, санад аз таърихи 11.11.с.2024 тартиб дода шуда, тасдиқ гардид.

Нишондодҳои техникаю иқтисодии истеҳсоли фториди алюминий, аз маҳсулоти иловагии истеҳсоли кислотаи фторид

Бар асоси тавозуни моддӣ ҳангоми синтези 1 тонна AlF₃ аз омехтаи кислотаҳо ва Al(OH)₃ схемаи содашудаи таҷҳизотию технологӣ (расми 17) таҳия гардид, ки ба таҷҳизоти Технопарки муштарақ мутобиқ карда шудааст. Ин ҳалли масъала хароҷоти сармоягузорию ибтидоиро ба ҳадди ақал мерасонад ва имконияти татбиқи саноатии равандро таъмин менамояд.



Расми 17. – Схемаи дастгоҳҳои технологияи истеҳсоли фториди алюминий
1 - зарфи омехтаи КГСФ ва HF; 2 - насоси марказгузрез; 3 - реактор бо омехтакунак; 4 - дастгоҳи бугдиҳанда; 5 - пневмонасоси диафрагмавӣ; 6 - филтпресси чаҳорҷӯба (рамный); 7 - реактори кристаллизатсия; 8 - зарфи филтрат; 9 - зарф барои маҳлули NaF

Пас аз ҳисоби хароҷот, арзиши аслии 1 тонна AlF₃ ҳисоб карда шуд (ҷадвали 6).

Ҷадвали 6. – Ҳисобҳои техникаю иқтисодӣ оид ба истеҳсоли 1 т фториди алюминий

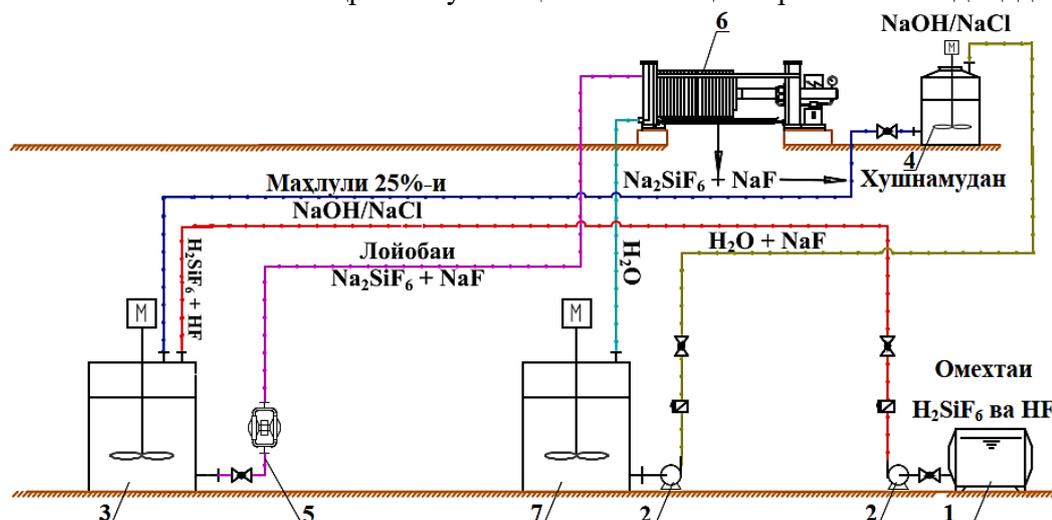
№	Хароҷот	Воҳиди ченак	Хароҷот барои 1 т маҳсулот	Арзиш барои 1 т	
				сомонӣ	доллар
I. Сарфи ашёи хом					
1	Омехтаи килотаҳо	т	1,7692	504,22	45,83
2	Гидроксиди алюминий	т	0,9286	4387,6	398,8
II. Сарфи об, барқ ва газ					
3	Об	м ³	2,572	7,71	0,7
4	Харци гази табиӣ	м ³	4,5	7,42	0,67
5	Қувваи барқ	кВт/соат	Общ. 50	27,5	2,5

III. Харочоти меҳнат					
6	Музди меҳнат	-	-	110	10
7	Андози суғуртаи иҷтимоӣ	-	25%	27,5	2,5
8	Харочоти изофӣ	-	5%	5,5	0,5
9	Харчи истеҳлоқ	-	0,08%	40,7	3,2
10	Дигар харочот	-	5%	5,5	0,5
11	Арзиши аслии маҳсулот	т	-	5120,6	465,5
12	Арзиш дар бозори ҷаҳонӣ	т	-	12 000	1090,9
13	Самаранокӣ барои 1 т	т	-	6879,35	625,39
Дар баробраи 1 т фториди алюминий, 0,245 т SiO ₂ -и аморфӣ ҳосил мешавад, ки арзиши он дар бозори ҷаҳонӣ, 5500 сомониҳо дар бар мегирад (5500*0,245=1347,5 сомониҳо)					

Ҳисобҳо нишон медиҳанд, ки арзиши аслии истеҳсоли фториди алюминий нисбат ба аналогҳои воридотӣ ду маротиба паст мешавад. Иқтисодии иловагии иқтисодӣ бо ҳисоби ба даст овардани маҳсулоти иловагӣ – диоксида силитсӣ аморфӣ (арзиши ҷаҳонӣ ~5500 сомониҳо/тонна) таъмин мегардад. Ворид намудани ин технология, самаранокӣ иқтисодиро ба таври назаррас меафзояд ва ҳамзамон фишори экологиро коҳиш медиҳад.

Асосҳои техникаю иқтисодии истеҳсоли фторнамакҳо аз маҳсулоти иловагӣ

Технологияи таҳияшуда бо тавозуни моддии истеҳсоли 1 тонна омехтаи СФН ва фториди натрий бо истифодаи содаи каустикӣ гузаронида шудааст. Раванд дар асоси таҷҳизоти Технопарки муштарак бо истифодаи схемаи махсуси таҷҳизотию технологӣ (расми 18) амалӣ гардид, ки имконияти техникаю иҷро ва мутобиқшавии истеҳсолиро нишон медиҳад.



Расми 18. – Схемаи дастгоҳию технологияи коркарди омехтаи кислотаҳо бо гидроксиди натрий (ё хлориди натрий)

1 - зарфи омехтаи кислотаҳо; 2 - насоси марказгурез; 3 - реактор ва омехтакунак; 4 - зарфи омоданамой; 5 - пневмонасоси диафрагмавӣ; 6 - филтпресси ҷаҳорҷӯба; 7 - зарфи филтрат.

Арзиши аслии 1 тонна маҳсулот мувофиқи натиҷаҳои таҳлили иқтисодӣ, ки дар ҷадвали 7 инъикос ёфтааст, муайян карда шудааст.

Ҷадвали 7. – Ҳисоби техникаю иқтисодии истеҳсоли 1 т намакҳои фтордор

№	Номгӯии харочот	Воҳиди ченак	Харочот барои 1 т маҳсулот	Арзиш барои 1 т маҳсулот	
				сомониҳо	доллар
I. Сарфи ашёи хом					
1	Омехтаи килотаҳо	т	1,191	339,43	30,85

2	Гидроксиди натрий	т	6,249	1792,21	162,92
II. Сарфи об, барқ ва газ					
3	Об	м ³	1,8747	5,62	0,51
	Харчи гази табиӣ	м ³	4,5	7,42	0,67
4	Қувваи барқ	кВт/с	Σ12,04	6,62	0,60
III. Харочоти меҳнатӣ					
5	Музди меҳнат	-	-	31,43	2,85
6	Суғуртаи иҷтимоӣ	-	25%	7,85	0,71
7	Харочоти изофӣ	-	5%	1,57	0,14
8	Харчи истеҳлоқ	-	0,08%	40,7	3,7
9	Дигар харочот	-	5%	1,57	0,14
10	Арзиши аслӣ	т	-	2234,42	203,1
11	Арзиши ҷаҳонии СФН	т	-	8000	727,2
12	Самараноқӣ барои 1 т	т	-	5765,58	524,1

Мувофиқи маълумоти ҷадвали 7, арзиши аслии омехтаи бадастомада зиёда аз се маротиба пасттар аз арзиши СФН-и воридотӣ мебошад. Тақриби тахминии омехта аз 60% СФН ва 40% NaF ташкил ёфтааст. Бо дарназардошти он ки нархи ҷаҳонии NaF зиёда аз 15 000 сомонӣ (≈ 1363 USD) аст, арзиши маҳсулоти пешниҳодшуда тақрибан шаш маротиба пасттар мебошад, ки ҷолибияти иқтисодии онро тасдиқ мекунад. Бинобар ин, татбиқи технологияи мазкур, самарани зиёд экологӣ ва иқтисодӣ ба миён меорад.

Масалан самаранокии иқтисодии Технопарки Муштарақ барои истеҳсоли фториди алюминий, оксиди силитсийи аморфӣ, омехтаи СФН ва фториди натрий дар як сол дар ҷадвали 8 оварда шудааст.

Ҷадвали 8. – Нишондодҳои техникаю иқтисодӣ зимни татбиқ намудани технологияи зикргардида

Номгӯи маҳсулот	Воҳ. чен.	Миқдори маҳсулоти истеҳсол шаванда	Арзиши аслии маҳсулот, сомонӣ		Арзиши маҳсулот дар бозори ҷаҳонӣ, сомонӣ		Самарани иқтисодӣ, сомонӣ (доллар)
			Барои 1 воҳид	Дар маҷмӯъ	Барои 1 воҳид	Дар маҷмӯъ	
Технологияи истеҳсоли фториди алюминий ва оксиди силитсийи аморфӣ							
AlF ₃	т/сол	3 610,8	5329	19 241 953	12 000	43 329 600	28 958 447 (2 632 586)
SiO ₂ -и аморфӣ	т/сол	885,6	Маҳ. иловагӣ	Маҳ. иловагӣ	5500	4 870 800	
Технологияи истеҳсоли омехтаи СФН ва фториди натрий							
СФН+NaF	т/сол	13 744,8	2234,4	30 711 381	8000	109 958 400	79 247 019 (7 204 274)
Дар маҷмӯъ	-	-	-	-	-	-	108 205 466 (9 836 860)

Ҷуноне ки аз ҷадвали 8 дида мешавад, бо истифодаи таҷҳизотҳои мавҷудаи Технопарки Муштарақ дар як сол имконияти истеҳсоли зиёда аз 3,5 ҳаз. т AlF₃, 800 т оксиди силитсийи аморфӣ ва зиёда 13,5 ҳаз.т. омехтаи СФН ва фториди натрий мавҷуд мебошад.

Татбиқ намудани технологияи қорқарди омехтаи кислотаҳо дар асоси Технопарки муштарақ имкон медиҳад, ки зиёда аз 8 ҳазор тонна партовҳо дар як сол безарар гардонида шаванд ва хавфҳои экологӣ дар қорқарди «ТАЛКО Кемикал» баргараф шаванд. Истеҳсоли сефториди алюминий ду маротиба арзонтар аз маҳсулотҳои воридотӣ мебошад, дар ҳоле ки маҳсулоти бадастомада (дуоксиди силитсийи аморфӣ, омехтаҳои фторидҳо) дорои истифодаи бисёрсоҳа дар саноат мебошанд. Технология ҳалқаи занҷири қорқардро таъмин намуда, ҷойҳои нави қорӣ эҷод мекунад ва технологияҳои мазкур санҷиши саноатиро гузашта, аз ҷиҳати иқтисодӣ ва экологии муфид будани онҳоро собит мекунад.

ХУЛОСАҲО

1. Бо усулҳои физикавӣю химиявӣ, таркиби маҳсулоти иловагии ҶДММ “ТАЛКО Кемикал” – омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид муайян карда шуд, ки мувофиқан вобаста аз бозгардони он аз 33% КГСФ ва 21% кислотаи HF иборат аст [1-М, 2-М, 4-М, 5-М, 6-М, 16-М].
2. Параметрҳои оптималии технологияи коркарди омехтаи кислотаҳо бо гидроксид, карбонат ва хлориди натрий, вобаста ба ҳарорат, давомнокии раванд ва концентратсияҳои намакҳои натрийдор дар ду марҳила таҳқиқ шуд [1-М, 8-М, 9-М, 21-М, 22-М]:
 - а) Ҳангоми истифодаи карбонат ва гидроксиди натрий (ҳарорат 25 °С, давомнокӣ 15-20 дақ., концентратсияи NaOH 25%) баромади омехтаи намакҳои фтордор зиёда аз 95% мебошад.
 - б) Ҳангоми истифодаи хлориди натрий (ҳарорат 25 °С, давомнокӣ 5-10 дақ, концентратсияи NaCl 25%) дараҷаи ҷудошавии намакҳои фтордор 78%-ро ташкил медиҳад.
3. Муайян шудааст, ки коркарди омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид бо гидроксиди алюминий дар ҳудуди 303-363 К аз ҷиҳати термодинамикӣ асоснок буда, ба даст овардани шакли аморфӣи SiO₂ ва маҳлули AlF₃-ро таъмин менамояд [16-М].
4. Технологияи ҳосил намудани оксиди силитсӣи аморфӣ, шишаи моеъ, фториди алюминий ва криолит аз омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид бо истифода аз Al(OH)₃ дар шароити лабораторӣ омӯхта шуд, ки параметрҳои оптималии онҳо чунин мебошад [3-М, 4-М, 5-М, 7-М, 10-М, 11-М, 12-М, 13-М, 14-М, 17-М, 19-М, 20-М, 23-М]:
 - а) барои ҳосил намудани SiO₂-и аморфӣ: ҳарорат – 85 °С, давомнокӣ – 15 дақиқа, концентратсияи КГСФ – 15%, вояи КГСФ – 120% мувофиқи стехиометрия. Дар чунин шароит, дараҷаи ҷудошавии SiO₂-и аморфӣ 99,8 %-ро ташкил дода, тозагии он зиёда аз 98% мебошад;
 - б) барои кристаллизатсияи маҳлули фториди алюминий: ҳарорат – 90 °С, давомнокӣ – 180 дақиқа, вояи маркази кристаллизатсия – 20% аз массаи ибтидоӣ. Дар чунин шароит дараҷаи кристаллизатсияи AlF₃, зиёда аз 94 %-ро ташкил дода, тозагии он ба 97,8% баробар мебошад;
 - в) барои ҳосил намудани шишаи моеъ аз SiO₂-и аморфӣ: ҳарорат – 85-90 °С, давомнокии раванд – 60-70 дақиқа, концентратсияи гидроксиди натрий – 15%. Дар чунин шароит дараҷаи ҳалшавии оксиди силитсӣи аморфӣ дар маҳлули NaOH зиёда аз 95%-ро ташкил медиҳад;
 - г) барои ҳосил намудани криолит аз маҳлулҳои AlF₃ ва NaF: ҳарорат – 65-85 °С, давомнокии раванд – 5-10 дақиқа, вояи маҳлули NaF – 100% мувофиқи ҳисоби стехиометрӣ. Дар чунин шароит дараҷаи ҷудошавии криолит зиёда аз 98 %-ро ташкил дода, тозагии он ба талаботи криолити сунъии техникӣ (ГОСТ 10561-80) ҷавобгӯй мебошад.
5. Параметрҳои кинетикии равандҳои ки дар омехтаи кислотаҳо мегузаранд, муайян карда шудаанд: таъзияи гидроксиди алюминий бо ҳосилшавии шакли аморфӣи SiO₂ (E_a = 50,77 кҶ/мол) ва маҳлули AlF₃ (E_a = 38,71 кҶ/мол) дар ҳарорати 30-90 °С ва давомнокии 5-15 дақ., инчунин кристаллизатсияи AlF₃ (E_a = 39,8 кҶ/мол) дар ҳамон ҳароратҳо ва давомнокии 30-180 дақиқа [2-М, 16-М, 18-М].
6. Дар шароити Технопарки муштарак корҳои таҷрибавӣю саноатӣ оид ба ба даст овардани фториди алюминий, криолит, шакли аморфӣи SiO₂, СФН, шишаи моеъ, флюсҳо ва дигар маҳсулот аз омехтаи кислотаҳо гузаронида шуданд. Озмоиши маҳсулот бо санадҳои дахлдор тасдиқ шудааст [3-М, 4-М].
7. Технологияи безараркунии системаи кислота бо ба даст овардани СФН ва NaF, ки дар асоси корҳои таҳқиқотӣ ва таҷрибавӣю саноатӣ таҳия шудааст, бомуваффақият ба истехсоли амалӣ татбиқ шудааст.
8. Маҷмӯи схемаҳои технологӣ таҳия шудааст [1-М, 3-М, 4-М, 5-М, 6-М, 10-М, 15-М, 20-М, 21-М, 22-М, 23-М], ки дар бар мегирад:
 - технологияи коркарди омехтаи кислота бо ба даст овардани СФН ва NaF;
 - синтези AlF₃, SiO₂-и аморфӣ, шишаи моеъ ва криолит аз омехтаи КГСФ ва HF;
 - схемаҳои таҷҳитозию технологӣ, барои коркарди комплекси омехтаи кислотаҳо дар таҷҳизоти Технопарк бо ба даст овардани маҳсулоти фтордор ва силикатӣ.
9. Параметрҳои асосии техникую иқтисодии технологияи коркарди комплекси омехтаи кислотаҳо асоснок шудаанд [6-М], ки бо озмоишҳои таҷрибавӣю саноатӣ тасдиқ гардида, ба истехсоли доираи васеи маҳсулоти фтордор ва силикатӣ равона шудаанд.

ТАВСИЯХО ОИД БА ИСТИФОДАИ АМАЛИИ НАТИЧАҲОИ ТАҲҚИҚОТ

Бо дарназардошти маълумоти таҷрибавӣ ва истеҳсоли, қарорҳои технологияи таҳияшуда, метавонанд барои татбиқ дар корхонаҳои соҳавӣ тавсия дода шаванд:

- Дар корхонаҳои истеҳсоли кислотаи фосфат ва нуриҳои фосфордор – барои нейтрализатсияи самараноки маҳсулоти иловагӣ бо ҳамзамон ба даст овардани пайвастиҳои арзишманди фтордор ва силикатӣ;
- Дар майдони ҚДММ «ТАЛКО Кемикал», ки дар он ҷо ин компонентҳо ҳамчун маҳсулоти иловагӣ ба вуҷуд меоянд, мувофиқ аст технологияи синтези AlF_3 , шакли аморфӣ SiO_2 ва шишаи моеъ ворид карда шавад. Амалӣ намудани раванд вазъи экологиро беҳтар намуда, самаранокии захиравии истеҳсолотро баланд мебардорад;
- Маълумот оид ба арзёбии техникаю иқтисодӣ ба корхонаи истеҳсоли кислотаи фторид пешниҳод шудааст, ки бар асоси он арзиши аслии AlF_3 , омехтаи СФН ва NaF тақрибан ду маротиба пасттар аз арзиши маҳсулоти воридотӣ мебошад. Шакли аморфӣ SiO_2 ҳамчун маҳсулоти иловагӣ бо нархи тақрибан 500 доллар арзёбӣ мешавад;
- Истеҳсоли омехтаи СФН ва фториди натрий дар корхонаи «ТАЛКО Кемикал» аллакай ба роҳ монда шудааст, омехтаи кислотаҳо қариб пурра коркард шудаанд. Тавсия дода мешавад минбаъд низ аз ин технология барои безаргардонии омехтаи кислотаҳо истифода бурда шавад;
- Маҳсулоти бадастомадаро метавонанд пурра дар истеҳсоли алюминий бо усули электролиз истифода баранд. Ба ҚСҚ «ШАТ» тавсия дода мешавад, ки чунин маҳсулотро барои паст кардани арзиши аслии металл истифода намояд.

Рӯйхати адабиёт

1. Раков, Э.Г. Химия и технология неорганических фторидов. – М.: Изд-во МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1990. – 162 с.
2. Бабкин, В.В. Фосфорные удобрения России / В.В. Бабкин, А.А. Бродский. М.: ТОО «Агрохимпринт». – 1995. – 464 с.
3. Шарипов, Т.В. Переработка фосфоритов Каратау в фторсиликат натрия: дис. канд. техн. наук: 05.17.01. – Уфа, 2014. – 178 с.
4. Кочетков, С.П. Концентрирование и очистка экстракционной фосфорной кислоты / С.П. Кочетков, Н.Н. Смирнов, А.П. Ильин // ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т.- Иваново, 2007. 304с. ISBN 5-9616-0212-5.
5. Бушуев, Н.Н. Физико-химические основы влияния примесей фосфатного сырья в технологии фосфорсодержащих минеральных удобрений и чистых веществ: дис. ...докт. техн. наук. – М.: 2000. - 338 с.
6. Зайцев, В.А. Производство фтористых соединений при переработке фосфатного сырья / В.А. Зайцев, А.А. Новиков, В.И. Родин. М.: Химия. – 1982. – 246 с.
7. Позин, М.Е. Технология минеральных удобрений / М.Е. Позин // Изд.4-е, перераб. – Л.: Химия. – 1974. – 370 с.
8. Моргунова, Э.М. Получение кондиционных фтористых солей из КФВК, загрязненной двуокисью кремния / Э.М. Моргунова, А.С. Шубин, Т.И. Богун и др. // Химия и технология фтористых соединений: сб. тр. УНИХИМ. – Вып. 53. – Свердловск. – 1982. – С. 56-63.
9. Сатторов, С.А. Технология комплексной переработки побочного продукта производства плавиковой кислоты с каолиновой глиной месторождения «Чашма-Санг» / С.А. Сатторов, Н.А. Наимов, А. Муродиён, Х. Сафиев, У.М. Мирсаидов // Доклады НАН Таджикистана. – Том 67. - №1-2. – 2024. – С. 95-103.
10. Сатторов, С.А. Кинетика разложения мусковит-ставролитовых сланцев и гидроксида алюминия смесью кремнефтористоводородной и плавиковой кислот / С.А. Сатторов, Н.А. Наимов, У.М. Мирсаидов, К.Дж. Суяриён [и др.] // Вестник технологического университета. – 2024. – Т.27. - №6. – С. 18-23. DOI10.55421/1998-7072_2024_27_6_18.

ИНТИШОРОТ АЗ РҶӢИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ

Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмӣ аз ҷониби ҚОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон таъсияшуда:

- 1-М. Шокаримов, С.М.** Исследование технологии получения смеси кремнефторида и фторида натрия из побочного продукта производства плавиковой кислоты / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Ҷ.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, А.А. Аслонов, Х. Сафиев // Вестник Таджикского национального университета, Серия естественных наук. – 2024. - №2. – С. 110-123.
- 2-М. Шокаримов, С.М.** Кинетика и таязии гидроксида алюминий дар омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторид / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Ҷ.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, Х. Сафиев // Паёми Политехники (Бахши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ). -№2 (66). -2024. -С. 79-85.
- 3-М. Шокаримов, С.М.** Производство опытной партии фтористых солей из побочного продукта производства плавиковой кислоты с использованием хлорида натрия / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Р.С. Рафиев, Дж.Р. Рузиев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. - № 2 (66). – 2024. – С. 70-74.
- 4-М. Раджабзода, Н.Х.** Выпуск опытно-промышленных партий криолита с использованием хлорида и гидроксида натрия и их испытания при производстве алюминия / Н.Х. Раджабзода, Н.А. Наимов, Х.А. Мирпочоев, С.М. Шокаримов, Х.Х. Усмонов // Вестник технологического университета. - 2024. - Т.27. - №4. - С. 57-62. DOI 10.55421/1998-7072_2024_27_4_57.
- 5-М. Раджабзода, Н.Х.** Технология комплексной переработки смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот – побочного продукта производства плавиковой кислоты / Н.Х. Раджабзода, С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Р.С. Рафиев, С.А. Сатторов // Вестник технологического университета. - 2024. - Т.27. - №8. - С. 87-94.
- 6-М. Раджабзода, Н.Х.** Техничко-экономические основы технологии производства фторида натрия и аморфного кремнезёма из смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот / Н.Х. Раджабзода, Н.А. Наимов, С.А. Сатторзода, У.М. Мирсаидов, С.М. Шокаримов // Вестник ТНУ, серия естественных наук. - № 2. – 2025. – С. 222-233.

Интишорот дар маводҳои конфронсиҳои илмӣ:

- 7-М. Шокаримов, С.М.** Получение фторида алюминия из кремнефтористоводородной кислоты / С.М. Шокаримов, Р.С. Рафиев, Дж.Р. Рузиев, Х. Сафиев // Материалы Республиканской научно-преподавательского состава, сотрудников и студентов ТНУ, посвященной «5500 – летию древнего Саразма», «700-летия выдающегося таджикского поэта Камола Худжанди» и «20 – летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования». – Душанбе. – 2020г. -С. 42-43.
- 8-М. Шокаримов, С.М.** Получение кремнефторида натрия из кремнефтористоводородной кислоты с использованием хлорида натрия / С.М. Шокаримов, Р.С. Рафиев, Д.Р. Рузиев, Х. Сафиев // там же. – С. 43-44.
- 9-М. Шокаримов, С.М.** Комплексная переработка кремнефтористоводородной кислоты с использованием хлорида натрия / Ш. Кабир, Х. Сафиев, С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Дж.Р. Рузиев и др. // Материалы X Всероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов» с международным участием. – Иркутск. – 22-24 апреля 2020 г. – С. 93-95.
- 10-М. Шокаримов, С.М.** Комплексная переработка смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот с применением гидроксидов алюминия и натрия / С.М. Шокаримов, Р.С. Рафиев, Н.А. Наимов, Дж.Р. Рузиев, И.Ш. Ахмадшоев, Х. Сафиев // III международная научно-практическая конференция на тему: «Развитие химической науки и область её использования», посвященной 80-летию памяти д.х.н., член корр. НАНТ-а профессора Кимсанова Бури Хакимовича. – Душанбе. – 2021г. – С. 224-230.
- 11-М. Шокаримов, С.М.** Омӯзиши параметрҳои физикавӣ химиявӣ технологияи ҳосил намудани фториди алюминий аз омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторид // С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Ҷ.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, И.Ш. Ахмадшоев / Маводи конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи “вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили

физико-химиявӣ”, бахшида ба эълон гардидани ҳадафи чоруми стратегӣ-саноатукунонии кишвар, солҳои 2022-2026-солҳои рушди саноат, 65-солагии таъсисёбии кафедраи “Химияи умумӣ ва ғайриорганикӣ” ва ғиромидошти хотири арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои химия, профессор, Лутфулло Солиев. – Душанбе. – 2023. – С. 60-63.

12-М. Шокаримов, С.М. Технологияи ҳосил намудани оксиди силитсийи аморфӣ аз омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторид // С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Ҷ.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, И.Ш. Аҳмадшоев / ҳамонҷо. – Душанбе. – 2023. – С. 40-43.

13-М. Шокаримов, С.М. Омӯзиши технологияи ҳосил намудани криолит аз маҳлули фториди алюминий / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Ҷ.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, И.Ш. Аҳмадшоев // Маводи конференсияи илмӣ-назариявии байналмиллалӣ дар мавзӯи “Рушди илмҳои химия, технология ва экология” бахшида ба 20-солагии таъсисёбии кафедраи “Технология ва экологияи химиявӣ” ва “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф”. – Душанбе. – 12-13-уми майи соли 2023. – С. 39-41.

14-М. Шокаримов, С.М. Омӯзиши технологияи ҳосил намудани шишаи моеъ аз оксиди силитсийи аморфӣ / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Ҷ.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, И.Ш. Аҳмадшоев // ҳамонҷо. – С. 43-44.

15-М. Шокаримов, С.М. Таҳияи схемаи принципалию технологияи коркарди комплекси омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторид / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Ҷ.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, И.Ш. Аҳмадшоев // ҳамонҷо. – С. 45-46.

16-М. Шокаримов, С.М. Процесс парообразования раствора кремнефтористоводородной и плавиковой кислот / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов., Р.С. Рафиев, И.М. Носиров и др. // Сборник материалов Международной научно – практической конференции «Новые достижения в области естественных наук и информационных технологий», посвящённой «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук на 2020-2040 гг.». -Душанбе. -30 мая 2023 г. -С. 117-118.

17-М. Сатторов, С.А. Технология получения жидкого стекла из аморфного кремнезёма, полученного гидролизом раствора метасиликата натрия / С.А. Сатторов, Н.А. Наимов, Р.С. Рафиев, У. Мирсаидов, С.М. Шокаримов, Х. Сафиев // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти академика НАНТ, доктора химических наук, профессора Сафиева Хайдара на тему: «Развитие новых направлений в химии и химической технологии». – Душанбе. – 26 октября 2023г. – С. 15-19.

18-М. Шокаримов, С.М. Кинетикаи таъзияи гидроксиди алюминий дар омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторид / С.М. Шокаримов Н.А. Наимов Р.С. Рафиев Ҷ.Р. Рузиев. // Конференсияи VI илмӣ байналмиллатӣ: «Масъалаҳои химияи физикӣ ва координатсионӣ», бахшида ба «Бисолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» (солҳои 2020-2040), 90-солагии доктори илмҳои химия, профессор Ҳомид Муҳсинович Якубов, ғиромидошти хотираи доктори илҳои химия, профессор Зухуриддин Нуридинович Юсуфов, 75-солағӣ ва 53-солагии фаъолияти илмӣ – таълимӣ д.и.х., проф. Раҳимова М. – Душанбе. – 15-16-уми майи соли 2024. – С. 192-198.

19-М. Шокаримов, С.М. Омӯзиши технологияи ҳосил намудани криолит бо истифода аз маҳлули сульфати натрий / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Р.С. Рафиев, С.А. Сатторов // Маводи конференсияи умумидонишгоҳии илмию назариявии ҳайати устодону кормандони ДМТ бахшида ба “30-юмин солгарди қабули Конститутсияи Ҷумҳурии Тоҷикистон”, “Соли маърифати ҳуқуқӣ эълон шудани соли 2024” ва “Бисолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф». - Душанбе. - 2024. - С. 116-119.

Патентҳо барои ихтироот:

20-М. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 1128. Способ комплексной переработки кремнефтористоводородной кислоты / Кабир Шерали, Сафиев Х., Мирпочоев Х.А., Муродиён Асрор, Наимов Н.А., Шокаримов С.М. и др. // МПК C01F7/00. №2001455; заявл. 12.08.2020; зарегистрировано 28.12.2020, Бюл.167, 2021. -3с.

21-М. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 1319. Способ получения смеси

кремнефторида и фторида натрия / Н.Х. Раджабзода, Х. Сафиев, Х.А. Мирпочоев, А. Муродиён, Н.А. Наимов, Дж.Р. Рузиев, **С.М. Шокаримов**, И.Ш. Ахмадшоев и др. // МПК C01B33/10. №2201672; заявл. 28.04.2022; зарегистрировано 21.11.2022, Бюл.189, 2022. -3с.

22-М. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 1482. Способ комплексной переработки смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот / Н.Х. Раджабзода, У. Мирсаидов, Н.А. Наимов, А. Муродиён, С.А. Сатторов, И.Ш. Ахмадшоев, А.А. Аслонов, **С.М. Шокаримов**, Г. Аминджони // МПК C01D 3/02. C03C 3/4, №2301904; заявл. 01.12.2023; зарегистрировано 4.04.2024, Бюл.206, 2024. -4с.

23-М. Малый патент РТ №ТJ1531. Способ комплексной переработки побочного продукта производства плавиковой кислоты / Н.Х. Раджабзода, Н.А. Наимов, Х.А. Мирпочаев, **С.М. Шокаримов**, С.А. Сатторов, Г. Аминджони, Р.С. Рафиев // МПК C01D 3/02. №22401946; заявл. 04.04.2024; зарегистрировано 04.09.2024, Бюл. 210, 2024, -5с.

**ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ» ОАО
«ТАДЖИКСКАЯ АЛЮМИНИЕВАЯ КОМПАНИЯ»**

УДК: 546.161 (575.3)

На правах рукописи

ББК: 24.1 (2Т)



Ш-78

ШОКАРИМЗОДА Сироджиддин Мирзо

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СМЕСИ
КРЕМНЕФТОРИСТОВОДОРОДНОЙ И ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени

доктора философии (PhD) - доктора по специальности

6D072000 – Химическая технология неорганических веществ

(6D072001– Технология неорганических веществ)

Душанбе – 2026

Диссертационная работа выполнена в лаборатории экологических исследований и переработки промышленных отходов Государственного учреждения «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «Таджикская Алюминиевая Компания» и на кафедре прикладной химии химического факультета Таджикского национального университета.

Научные руководители:

Рафиев Рустам Сафарович – кандидат химических наук, заведующий кафедрой прикладной химии химического факультета Таджикского национального университета

Наимов Носир Абдурахмонович – кандидат технических наук, директор ГУ «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «Таджикская Алюминиевая Компания»

Официальные оппоненты:

Гайбуллаева Зумрат Хабибовна – доктор технических наук, и.о. профессора, заведующая кафедрой «Технология производственных процессов» филиала Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими при ОАО «АЗОТ».

Садриддинзода Сабур Садриддин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и архитектура» Дангаринского государственного университета.

Ведущая организация:

Кафедра «Общая и неорганическая химия» факультета химии Таджикского государственного педагогического университета имени С. Айни.

Защита состоится 18 марта 2026 года в 09:00 часов на заседании диссертационного совета 6D.КОА-042 при Институте химии им. В.И. Никитина НАНТ и Агентстве по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: f.khamidov@cbrn.tj, тел.: (+992) 934-36-64-63.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистан, www.chemistry.tj.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



Хамидов Ф.А.

Введение

Актуальность темы исследования. Металл алюминий, благодаря своим соответствующим физико-химическим свойствам, является одним из наиболее востребованных металлов, что, в свою очередь, приводит к увеличению стоимости его сырья. В связи с этим многие предприятия по производству алюминия сталкиваются с кризисами, и учёные стремятся найти пути снижения себестоимости алюминиевого сырья за счёт разработки новых и малозатратных технологий.

С целью обеспечения крупнейшего предприятия страны – ОАО «Таджикская алюминиевая компания» (ОАО «ТАЛКО») в районе Ёвон был построен новый завод по производству фторида алюминия и криолита под названием ООО «ТАЛКО Кемикал», который начал свою деятельность в 2016 году. Предприятие в первую очередь производит серную кислоту, на основе которой из высококачественного флюоритового концентрата синтезирует фтороводород (HF). Следует отметить, что гарантии выпуск безводной HF с чистотой 99,9%, является флюоритовый концентрата марки ФФ-97 и выше. В связи с этим наличие примесей, особенно диоксида кремния в составе концентрата, приводит к образованию побочного продукта – кремнефтористоводородной кислоты (КФВК). Другим источником образования КФВК является производство фосфорных удобрений и экстракционной фосфорной кислоты.

Таким образом, безусловно, наличие подобных соединений на производственных предприятиях приводит к возникновению рисков как экологического, так и экономического характера. Поэтому переработка смеси кислот с целью получения полезных продуктов является актуальной и неотложной задачей.

В этой связи актуальной представляется задача комплексной переработки побочного продукта с целью его эффективной нейтрализации и получения востребованных фторидных и силикатных соединений.

Степень научной разработанности исследуемой проблемы. Вопрос утилизации кремнефтористых отходов (КФВК), возникающих как сопутствующий продукт при производстве фосфорсодержащих соединений, получил значительное внимание в научных исследованиях. Например, учёными: Раковым Э.Г. [1], Бабкиным В.В. [2], Шариповым Т.В. [3], Кочетковым С.П. [4], Бушуевым Н.Н. [5], Зайцевым В.А. [6], Позином М.Е. [7], Моргуновой Э.М. [8] и другими были предложены ряд технологических решений, основанных на использовании гидроксида натрия, карбоната натрия и гидроксида алюминия, позволяющих синтезировать востребованные фторсодержащие соединения.

В то же время, при переработке флюорита с использованием серной кислоты на производственной площадке ООО «ТАЛКО Кемикал» образуется комплекс кислот, эффективная переработка которого остаётся недостаточно изученной и требует дальнейших исследований. Например, в связи с данным вопросом исследования были проведены таджикскими учёными: У.М. Мирсаидовым, Н.А. Наимовым и С.А. Сатторовым [9, 10], которые охватывают ограниченный круг. Учитывая вышеизложенное, данная работа сосредоточена на разработке эффективных технологических решений для нейтрализации специфической смеси кислот, образующейся в процессе переработки флюорита.

Связь исследования с программами (проектами), научными темами.

Исследования, представленные в диссертации, реализованы в рамках утверждённых научных планов Государственного учреждения «Научно-исследовательский институт металлургии» (ГУ «НИИМ») ОАО «ТАЛКО», а также в соответствии с тематикой прикладных исследований, проводимых на кафедре прикладной химии химического факультета Таджикского национального университета. Исследование соответствует приоритетным направлениям, в том числе четвёртой национальной цели – ускоренной индустриализации страны, программе «Годы развития промышленности» (2020-2026) и двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических дисциплин в сфере науки и образования (2020-2040), и направлено на разработку ресурсосберегающих технологий и экологически безопасных методов переработки техногенных отходов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования направлено на формирование научно обоснованных подходов к комплексной переработке побочных продуктов, образующихся на предприятии ООО «ТАЛКО Кемикал», в частности смеси КФВК и фтороводородной кислоты. В рамках работы изучаются физико-химические закономерности и оптимальные технологические режимы нейтрализации указанных компонентов с применением гидроксидов алюминия и натрия, хлорида и карбоната натрия. Ключевая задача заключается в получении широкой номенклатуры востребованных продуктов, таких как фторид алюминия, белой сажи, криолит, жидкое стекло, кремнефторид натрия (КФН), а также его композиции с фторидом натрия.

Задачи исследования:

- Идентифицировать химический состав комплексной смеси кислот, образующейся в технологическом процессе на предприятии «ТАЛКО Кемикал», как исходный этап разработки методов её утилизации.
- Обосновать и реализовать процесс нейтрализации смеси кислот натрийсодержащими реагентами с целью получения целевого продукта – композиции Na_2SiF_6 и NaF .
- Обосновать с термодинамической точки зрения возможность и эффективность получения фторида алюминия в результате нейтрализации кремнефтористых отходов гидроксидом алюминия, исследовать влияние технологических параметров на формирование аморфной структуры SiO_2 и кристаллической фазы AlF_3 , а также провести кинетический анализ процесса утилизации побочного продукта и установить оптимальные режимы кристаллизации фторидных фаз.
- Предложить эффективный способ синтеза криолита посредством обработки раствора фторида алюминия фторидом натрия и разработать условия переработки аморфного SiO_2 , направленные на получение жидкого стекла с заданными эксплуатационными характеристиками.
- Провести комплексную оптимизацию технологических режимов переработки смеси КФВК и HF на промышленном уровне, обеспечивающую максимальное извлечение целевых компонентов и снижение отходов.
- Спроектировать принципиальные и аппаратные решения, обеспечивающие экологически безопасную и ресурсосберегающую переработку кислотных отходов с получением востребованных соединений, и провести оценку технико-экономической эффективности и экологической целесообразности предлагаемой технологии с точки зрения её потенциальной промышленной реализации.

Объект исследования. В качестве объекта исследования рассматривается кислотосодержащий побочный продукт, образующийся в технологическом цикле предприятия ООО «ТАЛКО Кемикал». Указанный продукт представляет собой смесь кремнефтористоводородной и фтороводородной кислот, обладающую высоким реакционным потенциалом и представляющую интерес для разработки эффективных методов её утилизации и переработки.

Предмет исследования. Предметом настоящей работы являются технологические процессы переработки вторичной смеси кислот, образующейся в результате промышленной деятельности, с целью получения ценных неорганических продуктов. Исследование охватывает химические превращения, протекающие при взаимодействии компонентов смеси кислот с реагентами на основе алюминия и натрия, а также условия синтеза целевых соединений, включая фториды алюминия и натрия, КФН, кремнегеля, криолит, жидкое стекло и др.

Научная новизна исследования:

1. Установлены условия утилизации смеси кислот натрийсодержащими реагентами с получением КФН, фторида натрия и их смеси.
2. Разработан подход к одновременному синтезу трёх продуктов – фторида алюминия, кремнегеля и жидкого стекла – при утилизации смеси кислот гидроксидом алюминия.
3. На основе комплексных лабораторных, пилотных и промышленных исследований предложены практические подходы к реализации технологии глубокой переработки смеси

кислот.

4. Выполнена технико-экономическая оценка эффективности предложенной технологии, подтверждающая целесообразность получения широкого спектра продуктов.

Теоретическая и научно-практическая значимость исследования заключается в обосновании процессов превращения кислотной смеси в целевые соединения. Она также проявляется в возможности получения следующих продуктов:

- смесь КФН и NaF – для производства электролитов, силуминов, флюсов;
- AlF_3 и криолит – для алюминиевой промышленности;
- аморфный диоксид кремния – для фармацевтики, резинотехнических изделий, солнечной энергетики;
- жидкое стекло – для строительства и обогащительных производств.

Разработанные технологические и аппаратурные схемы внедрены на производствах ОАО «ТАЛКО» и ООО «ТАЛКО Кемикал», что подтверждено актами испытаний и внедрения.

Положения, выносимые на защиту:

1. Научно обоснованные данные о физико-химических характеристиках побочной кислотной смеси (КФВК и HF), продуктах её конверсии и технологиях переработки реагентами натрия (NaOH, Na_2CO_3 , NaCl) с получением целевой композиции Na_2SiF_6 и NaF.
2. Термодинамическое и кинетическое обоснование процессов синтеза AlF_3 , аморфного SiO_2 и криолита при нейтрализации гидроксидом алюминия, а также установление взаимосвязи физико-химических и технологических параметров нейтрализации с выходом и качеством целевых продуктов (AlF_3 , SiO_2 , жидкое стекло, криолит).
3. Инновационные технологические и аппаратурные решения комплексной переработки кислотной смеси с получением продуктов химического назначения, подтверждённые результатами промышленной апробации и технико-экономическим обоснованием разработанных технологий.

Уровень достоверности работы: Достоверность полученных результатов обеспечена применением комплекса современных методов физико-химических исследований, статистической обработкой данных и сравнением результатов с данными исследований других авторов. Результаты исследования обладают высокой степенью точности и научной обоснованности.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Настоящая диссертационная работа соответствует направлению подготовки по научной специальности 6D072001 – *Технология неорганических веществ* и охватывает ряд положений, предусмотренных её классификацией (пункты 1, 2, 4, 5 и 9).

Так, в подглавах 3.1, 3.4, 3.5 и 3.7 подробно рассмотрены процессы получения таких неорганических соединений, как смесь КФН и NaF, аморфный диоксид Si, трифторид Al, Na_3AlF_6 и жидкое стекло, что соответствует пункту 1.

В подразделах 3.3 и 3.6 приведены результаты термодинамического и кинетического моделирования, обосновывающие выбор параметров переработки кислотной смеси (соответствует положению 2).

Методы переработки сырья, а также последовательность проведения технологических операций изложены в подглавах 3.1, 3.4, 3.5, 3.7 и 4.1-4.5, что отражает соответствие пункту 4.

Поскольку смесь кремнефтористоводородной и фтороводородной кислот является вторичным продуктом, её обезвреживание представляет собой важную технологическую задачу. В главах 3 и 4 рассмотрены подходы к её повторной переработке и нейтрализации (соответствует пункту 5).

В подглавах 3.2, 3.8 и 4.1 представлены принципиальные технологические схемы, а в подглавах 4.6 и 4.7 – технико-экономическая оценка разработанных решений, что соответствует пункту 9.

Личный вклад соискателя в исследование состоит из самостоятельного планирования научных работ, глубокого анализа отечественной и зарубежной научной литературы, разработки и обработки исследовательских задач с использованием определённых методов,

проведения экспериментов, написания статей, обработки статистических данных экспериментальных результатов, подготовки выводов научной работы.

Апробация и внедрение результатов диссертации. Основные результаты диссертации обсуждались на следующих республиканских и международных конференциях: Материалы Республиканской научно-преподавательского состава, сотрудников и студентов ТНУ (Душанбе 2020г., 2024г.), Материалы X Всероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов» с международным участием (Иркутск, 22-24.04.2020 г.), III международная научно-практическая конференция на тему: «Развитие химической науки и область её использования», посвященной 80-летию памяти д.х.н., член корр. НАНТ-а профессора Кимсанова Б.Х. (10.11.2021г.), Материалы республиканской научно-практической конференции на тему «Текущее состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной объявлению четвертой стратегической цели – индустриализации страны, 2022-2026 годы – годы развития промышленности, 65-летию основания кафедры «Общей и неорганической химии» и памяти деятеля науки и техники Таджикистана, д.х.н., профессора Лутфулло Солиева (Душанбе, 2023), Материалы международной научно-теоретической конференции на тему «Развитие химических наук, технологии и экологии», посвященной 20-летию основания кафедры «Технология и химическая экология» и «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» (12-13 мая 2023 г.), Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Новые достижения в области естественных наук и информационных технологий», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук на 2020-2040 гг.» (30 мая 2023 г.), Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти академика НАНТ, д.х.н., профессора Сафиева Хайдара на тему: «Развитие новых направлений в химии и химической технологии» (26 октября 2023г.), VI Международная научная конференция: «Вопросы физической и координационной химии», посвященная «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования», 90-летию д.х.н., проф. Хомида Мухсиновича Якубова, памяти д.х.н., проф. Зухуриддина Нуридиновича Юсуфова (75-летие) и 53-летию научно-преподавательской деятельности д.х.н., проф. Рахимовой Мубаширахон (15-16 мая 2024 г.).

Публикации по теме диссертации. Результаты опубликованы в 19 работах, включая 6 статей ВАК РТ и 13 тезисов. Получено 4 малого патента РТ. Проведена производственная апробация, подтвержденная 6 актами внедрения и успешными испытаниями опытной партии.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает введение, четыре главы основного содержания, обсуждение результатов, выводы и список литературы из 120 источников. Общий объем – 166 страниц, содержащих 32 иллюстрации и 36 таблиц, отражающих экспериментальные данные и технологические решения. Дополнительные материалы, подтверждающие достоверность результатов, представлены в 12 приложениях.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вводный раздел содержит методологические основы работы: обоснование актуальности, постановку целевых ориентиров, определение исследовательских задач и формулировку научно-практической значимости.

В **начальной главе** систематизированы теоретические и прикладные аспекты генезиса и ремедиации КФВК, что позволило сформировать концептуальную основу для дальнейших экспериментальных изысканий.

Аналитический раздел (**глава 2**) посвящен характеристике технологического происхождения, химической организации и методов контроля кислотного реагента, образуемого на производственной площадке ООО «ТАЛКО Кемикал».

Центральная часть работы (**глава 3**) демонстрирует разработанные технологические решения для многоуровневой конверсии кислотных компонентов в востребованные продукты, включая фторидные соединения, аморфный диоксид кремния, силикатные растворы и хлористоводородную кислоту.

В **четвёртой главе** изложены производство опытных партий продуктов, их экспериментальные и производственные испытания, внедрение технологии в производство, а также технико-экономические расчёты разработанных технологий.

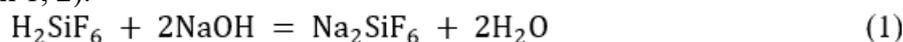
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ КИСЛОТНЫХ ОТХОДОВ

Синтез фторидных соединений натрия из кислотных отходов с использованием натриевых реагентов

В ООО «ТАЛКО Кемикал» в процессе сульфатизации флюорита HF связывается с диоксидом кремния, входящим в состав концентрата, образуя тетрафторид кремния, который после абсорбции превращается в КФВК. Следует отметить, что ООО «ТАЛКО Кемикал» ежегодно производит до 4 тыс. т смеси КФВК (25%) и фторидной кислот, и длительное хранение этих веществ оказывает негативное влияние на экологическую ситуацию.

Таким образом, утилизация побочного продукта с применением гидроксида, карбоната и хлорида натрия является эффективным методом получения фторидных солей – кремнефторида натрия (Na_2SiF_6) и фторида натрия (NaF). Реализация процесса осуществляется по 2 вариантам: – с использованием гидроксида или карбоната натрия; – с применением хлорида натрия.

Реакции между смесью кислот и NaOH приводят к образованию фторида и кремнефторида натрия (реакции 1, 2).



Температура, продолжительность процесса и концентрация NaOH – основные параметры, определяющие эффективность технологии (рис. 1).

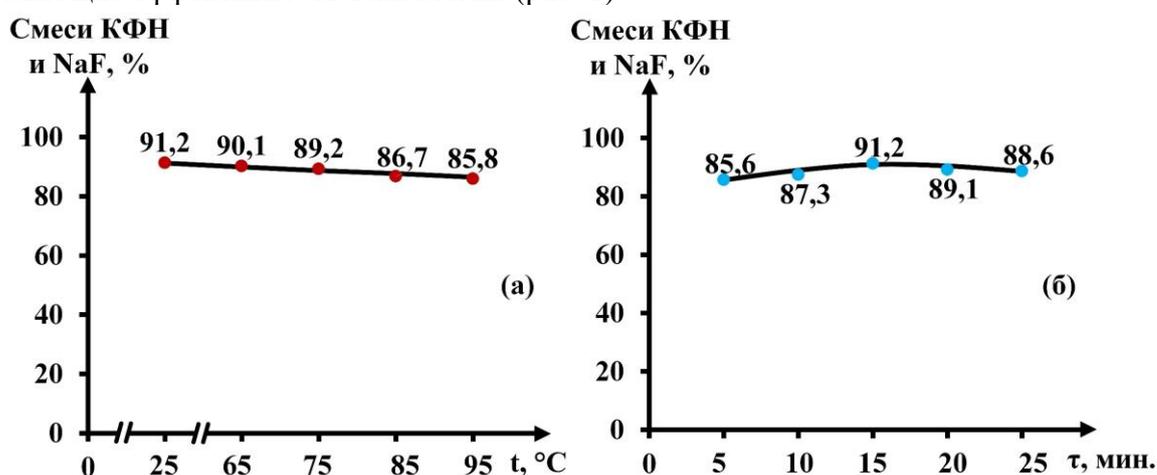


Рисунок 1 – Зависимость степени извлечения фторсолей от температуры (а) и длительности (б)

Реакция взаимодействия NaOH с смесью кислот является экзотермической, в результате чего реакционная смесь нагревается до температуры 65 °С. Поэтому процесс вначале проводят без дополнительного повышения температуры. Согласно рисунку 1а, повышение температуры выше 65 °С снижает выход продукта с 90,1% до 85,8%. Это связано с увеличением растворимости компонентов в горячей воде и испарением смеси кислот.

Из рисунка 1б видно, что при увеличении времени процесса более 20 мин. растворимость фторсолей увеличивается, а выход смеси солей уменьшается с 91,2% до 88,6%.

На рисунке 2 показано влияние концентрации гидроксида натрия на выход фторсолей.

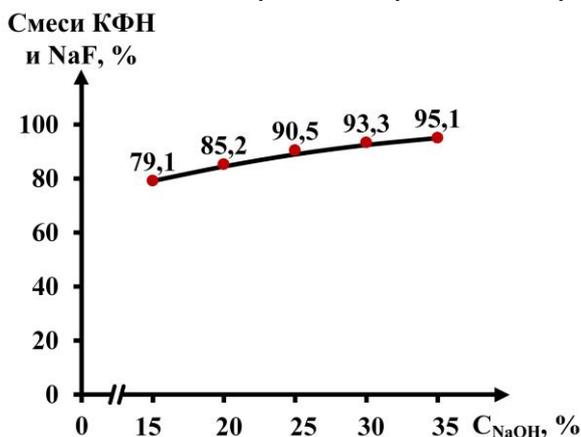


Рисунок 2. – Зависимость степени выделения фторсолей от концентрации NaOH

Рост концентрации NaOH с 15 % до 35 % обеспечивает увеличение выхода до 95,1 %, при этом возрастает вязкость раствора. Оптимальные параметры: 25°С, 20 мин, 25% NaOH, обеспечивающие выход фторсолей >90%. Состав продукта: 67,8% Na₂SiF₆ и 31,5% NaF, подтвержденный химическим анализом и РФА. Жидкая фракция регенерируется для повторного использования.

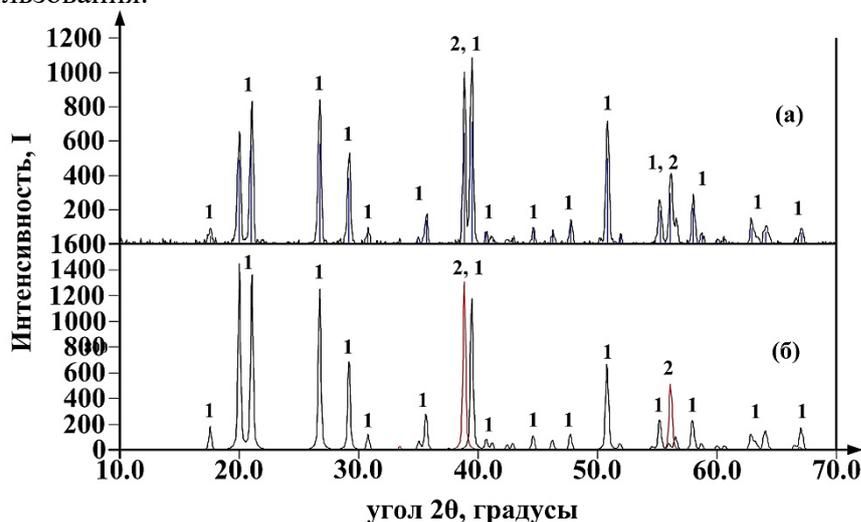
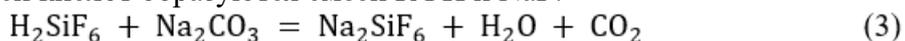
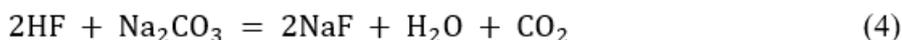


Рисунок 3. – РФА опытного образца (а) и стандартного образца (б):
1-малладрит (Na₂SiF₆), 2-виллиомит (NaF)

Результаты рентгенографического исследования (рис. 3) демонстрируют полное совпадение пиков анализируемой смеси фторсолей (верхний график) с референсными образцами (нижний график). Полученные данные однозначно подтверждают наличие в продукте двух целевых минеральных фаз: малладрита (PDF 33-1280) и виллиомита (PDF 88-2299), что свидетельствует о успешном синтезе заданных соединений.

Дальнейшие исследования проводились с использованием карбоната натрия. При взаимодействии Na₂CO₃ со смеси кислот образуются смеси КФН и NaF:





Технология наиболее эффективна при температуре 25 °С, продолжительности 15 мин и концентрации Na_2CO_3 25 %, обеспечивая выход фторсолей свыше 95 %.

При проведении РФА было установлено, что образцы, полученные с использованием карбоната натрия, соответствуют стандартным образцам минералов малладрита (PDF 33-1280) и виллиомита (PDF 88-2299), аналогично применению NaOH .

Использование местного хлорида натрия в переработке кислотной смеси изучено в рамках ресурсосберегающего направления. Экспериментальная схема адаптирована на основе методик, применённых для щелочных реагентов.



Обработка кислотной смеси с NaCl приводит к образованию целевых продуктов – Na_2SiF_6 , NaF и HCl (реакции 5, 6). Эффективность процесса варьируется в зависимости от температуры, времени и концентрации реагента, что отражено на рисунках 4.

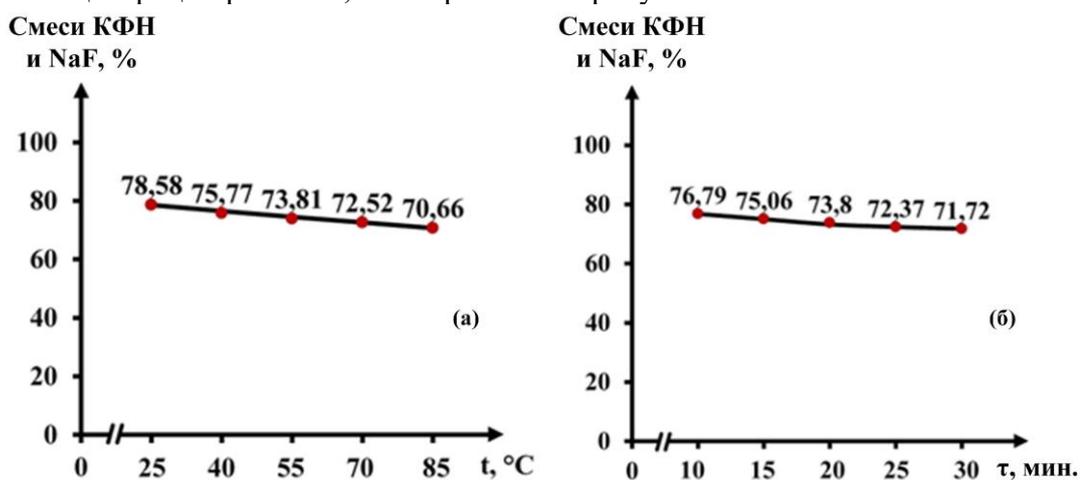


Рисунок 4. – Зависимость степени выделения фторсолей от температуры (а) и времени (б)

Повышение температуры свыше 25 °С приводит к снижению эффективности извлечения фторсолей вследствие увеличения их растворимости в образующейся соляной кислоте (рис. 4а). Увеличение времени процесса более 5-10 минут также нецелесообразно, поскольку способствует росту растворимости целевых продуктов в кислотной среде (рис. 4б).

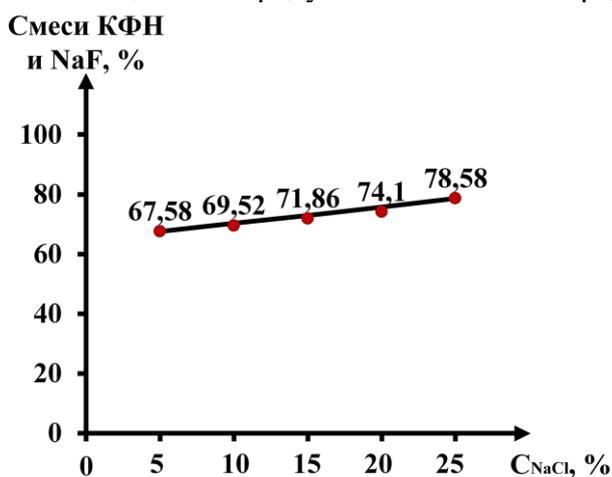


Рисунок 5. – Зависимость степени извлечения фторсолей от концентрации NaCl

Согласно рисунку 5, при увеличении концентрации раствора NaCl до максимума (25%) степень выделения фторсолей превышает 78%. Наибольшая эффективность извлечения фторсодержащих соединений (более 78%) достигается при обработке кислотной смеси раствором NaCl при температуре 25 °С, τ – 5-10 минут и концентрации хлорида натрия 25%.

Химический анализ показал преобладание КФН (95,8%) при минимальном содержании NaF (3,5%), что объясняется полным растворением фторида натрия в солянокислой среде. Для верификации состава осадка (рис. 6) и выпаренной соли проведен РФ-анализ, подтвердивший кристаллическую структуру продуктов и соответствие химическому составу.

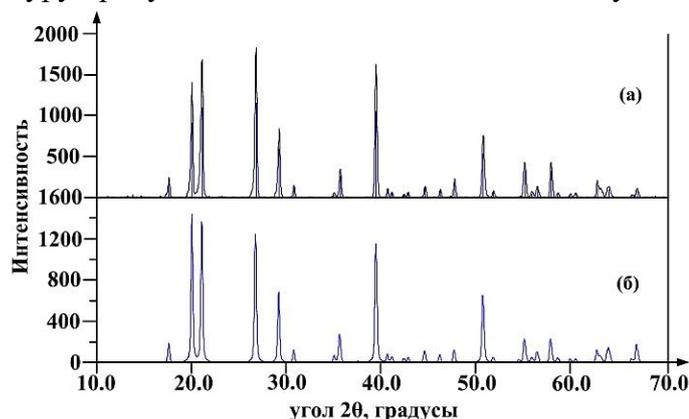


Рисунок 6. – РФА твердого остатка (а) и стандартного образца малладрита (б)

Рентгенограмма (рис. 6) свидетельствует о принадлежности образца к малладриту (PDF 33-1280); отсутствие пиков виллиомита обусловлено низким содержанием NaF ($\leq 5\%$). Согласно проведённому РФА выпаренной соли, наблюдались только линии минерала виллиомита (PDF 36-1455), что подтверждает его растворение в полученной HCl.

Остаток раствора можно повторно обработать смесью кислот, при этом возможен протекание следующей реакции:



Реакция 7 демонстрирует, что при добавлении NaF к смеси кислот вновь образуются КФН и HF. Полученную суспензию фильтруют, при этом жидкая фаза состоит из смеси 4%-ного HF и 13%-ного HCl. Композиции на основе HCl и HF используются как реагенты для очистки солевых отложений в теплообменниках горячей воды или перерабатываются с NaOH, формируя смесь NaCl и NaF (реакция 8).



Данная смесь, может быть, рециклирована в технологическом процессе для повторной обработки кислотных составов либо применена в качестве сырья для: а) гидрохимического синтеза криолита, б) производства литейных флюсов. Такой подход обеспечивает замкнутый цикл использования материалов и соответствует принципам ресурсосберегающих технологий.

Разработка принципиальная технологическая схема обработки смеси КФВК и плавиковой кислот с целью получения смеси КФН и фторида натрия

В ходе проведённых исследований была сформирована технологическая последовательность, позволяющая перерабатывать кислотную смесь с целью получения соединений КФН и NaF (см. рисунок 7).

Первый вариант предусматривает дозированное добавление кислотной смеси в раствор NaCl (25%). В результате реакции образуется осадок, который отделяется фильтрацией и промывается. Оставшийся раствор, содержащий NaF и хлористую кислоту, реагирует с КФВК, приводя к осаждению КФН. Твёрдые продукты, полученные на двух этапах, объединяются и подвергаются сушке.

Альтернативный метод позволяет получить комбинированную соль, включающую КФН и NaF. Этот материал пригоден для прямого применения в электролизных процессах, направленных на производство алюминиевых сплавов (в частности, силуминов), а также в создании электролитических расплавов, цементных составов и литейных флюсов.

В заключение, оба технологических варианта нейтрализации кислотной смеси демонстрируют простоту реализации, экологическую безопасность и экономическую эффективность, обусловленную использованием доступного сырья и низкими энергозатратами.

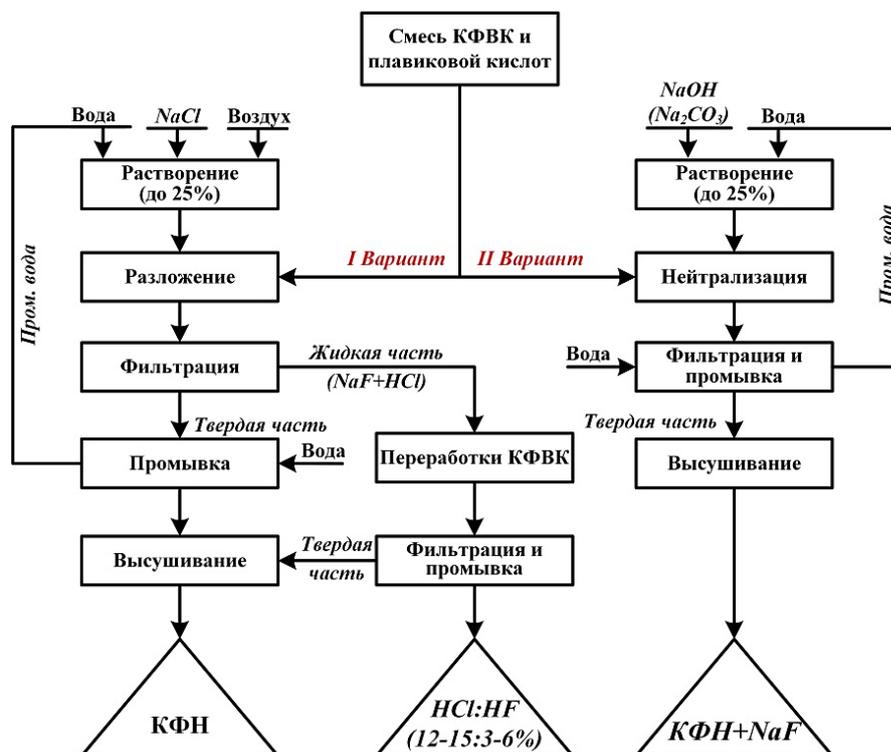
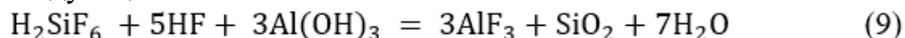


Рисунок 7. – Принципиальная схема и технология производства смеси КФН и фторида натрия из смеси кислот с использованием натриевых солей

Термодинамические аспекты утилизации побочного продукта с применением гидроксида алюминия

В процессе утилизации побочного продукта с применением гидроксида алюминия осуществляется синтез AlF_3 по следующей схеме:



В температурном интервале 303-363 К изучены термодинамические параметры реакции обработки смеси кислот гидроксидом алюминия. Рассчитаны константа равновесия и изменение свободной энергии Гиббса, подтверждающие осуществимость процесса. Визуализация зависимости ΔG от температуры представлена на рис. 8.

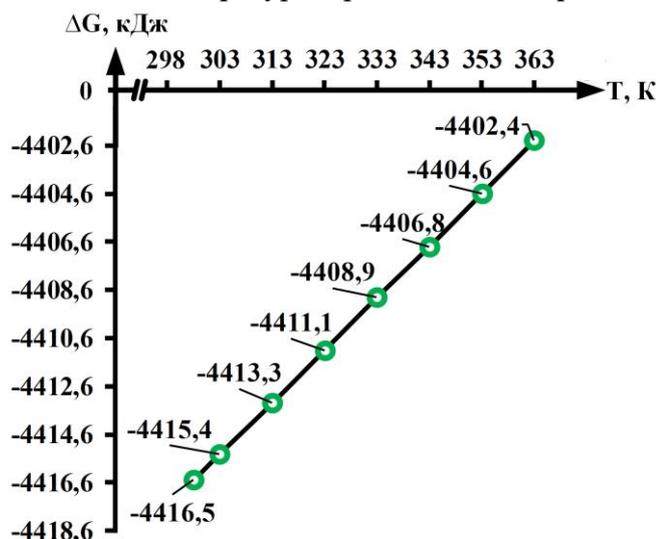


Рисунок 8. – Температурная зависимость изменения свободной энергии Гиббса для реакции 9

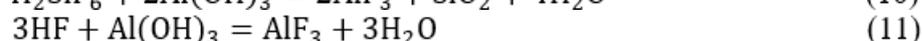
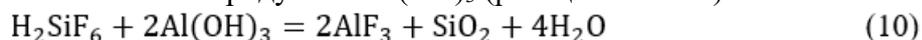
Анализ рисунка 8 демонстрирует, что с ростом температуры значения свободной энергии Гиббса уменьшают свою отрицательную величину, приближаясь к положительной области. Данная тенденция указывает на снижение термодинамической предпочтительности процесса

переработки кислотной смеси при повышенных температурах.

Следует подчеркнуть, что взаимодействие $\text{Al}(\text{OH})_3$ с концентрированной КФВК сопровождается выраженным экзотермическим эффектом и приводит к образованию осадка сложного состава, включающего кристаллический AlF_3 и аморфный SiO_2 , что затрудняет последующее разделение фаз. Для повышения управляемости процесса смеси кислот предварительно разбавляют до 15 % по КФВК, что способствует формированию растворимой формы AlF_3 в кислой среде. При таких условиях реакция с $\text{Al}(\text{OH})_3$ протекает медленно, однако при повышении температуры до 95°C её скорость значительно возрастает. Согласно термодинамическому анализу, процесс является самопроизвольным и приводит к образованию смеси AlF_3 и аморфного SiO_2 .

Химико-технологические параметры получения AlF_3 и аморфного SiO_2 из побочного продукта

Разработка доступной и эффективной технологии производства AlF_3 , особенно на основе переработки отходов, остаётся предметом значительного научного и практического интереса. В этой связи в лабораторных условиях была исследована возможность синтеза трифторида алюминия путём взаимодействия побочного продукта с $\text{Al}(\text{OH})_3$ (реакции 10 и 11).



Скорость протекания химических реакций определяется четырьмя ключевыми параметрами: температура, время, концентрация и дозировка кислоты. В связи с этим процесс получения аморфного SiO_2 был изучен в зависимости от указанных параметров (рисунок 9).

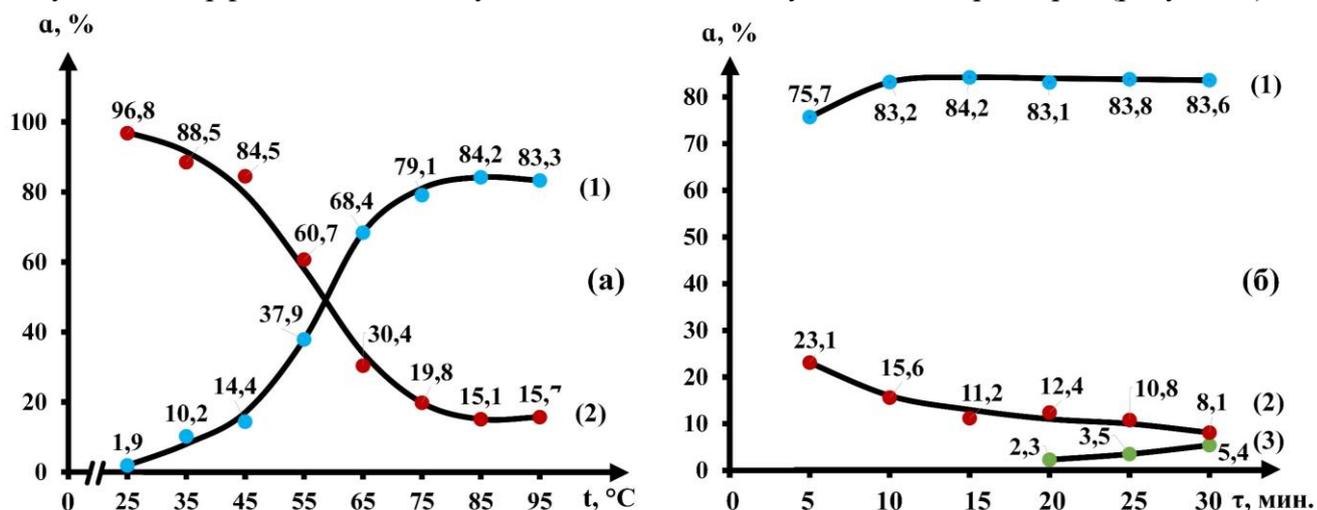


Рисунок 9. – Зависимость степени извлечения аморфного SiO_2 от температуры (а) и времени (б): 1 – выход SiO_2 ; 2 – примесь $\text{Al}(\text{OH})_3$; 3 – кристаллизованный AlF_3

Анализ рисунка 9а показывает, что рост температуры ($25\text{--}85^\circ\text{C}$) ускоряет реакцию (10) и вызывает испарение 15 % смеси кислот. При этих условиях степень выделения аморфного оксида кремния (рис. 9а, 1) достигает 84%, однако примерно 15% $\text{Al}(\text{OH})_3$ (рис. 9а, 2) остаётся непрореагировавшим и фиксируется в продукте в виде примеси. Повышение температуры выше 85°C не оказывает существенного влияния на выход аморфного SiO_2 (рис. 9а, 1), однако в этом случае наблюдается активное испарение жидкой фазы с частичной кристаллизацией фторида алюминия, что является нежелательным.

Из рисунка 9б видно, что после прохождения более 15 мин. количество аморфного SiO_2 (рис. 9б, 1) не изменяется. Однако в результате испарения на этом этапе происходит кристаллизация AlF_3 (рис. 9б, 3), что приводит к загрязнению аморфного SiO_2 . При увеличении времени реакции с 5 до 15 мин. количество примесного $\text{Al}(\text{OH})_3$ (рисунок 9б, 2) в составе продукта уменьшается с 23,1% до 11,2%. На рисунке 10 приведена степень выделения аморфного оксида кремния в зависимости от концентрации и дозировки КФВК.

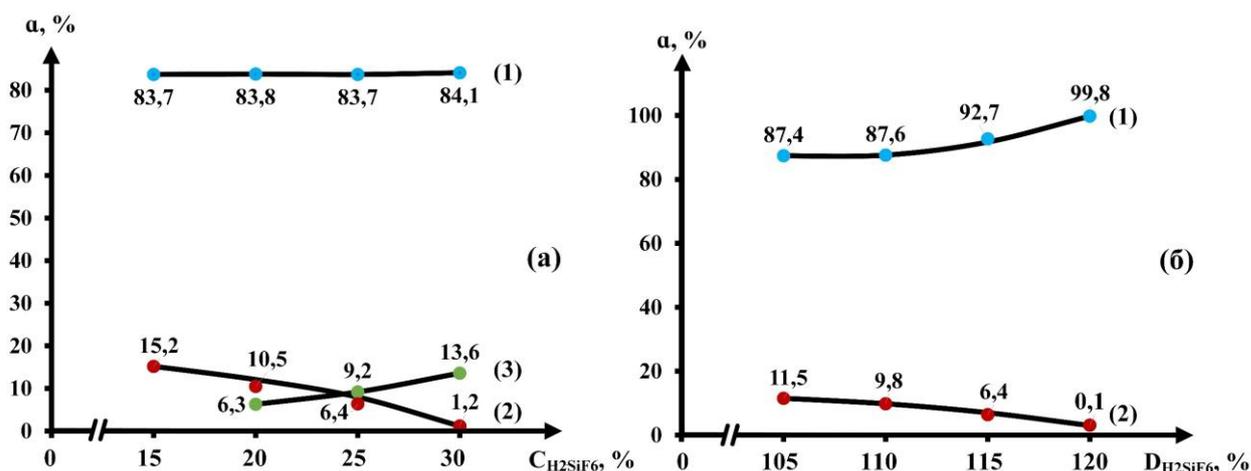


Рисунок 10. – Степень выхода SiO₂ в зависимости от концентрации (а) и дозировки КФВК (б): 1 – выход аморфного SiO₂; 2 – остаток Al(OH)₃; 3 – кристаллизованный AlF₃.

При повышении концентрации КФВК скорость протекания реакций 10-11 увеличивается, однако из-за образования насыщенного раствора AlF₃ происходит его кристаллизация (рисунок 10а, 3), что загрязняет продукт данного этапа. Поэтому использование КФВК с концентрацией 15% считается оптимальным. Для полного растворения гидроксида Al увеличили доля КФВК до 120% по стехиометрии, что обеспечило полное протекание реакции 10 (рисунок 10б).

Как видно из рисунка 10б, при увеличении дозировки КГСФ до 120% по сравнению со стехиометрией степень извлечения аморфного оксида кремния достигает 99,8%, а количество осадочного гидроксида алюминия (рисунок 10б, 2) снижается до минимального значения – 0,1%. Определено, что чистота аморфного оксида кремния достигает 98%.

Вместе с тем, для изучения формирования кристаллизации раствора AlF₃, образующегося в реакциях 10 и 11, после фильтрации и отделения аморфного SiO₂ проведены многочисленные исследования в зависимости от изменения температуры, времени и дозировки центра кристаллизации (AlF₃). Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Влияние различных параметров на кристаллизацию AlF₃

№	Условия кристаллизации			Степень кристаллизации AlF ₃ , %	
	t, °C	τ, час	Количества затравки (AlF ₃), %		
1	50	1,0	20	5,01	
2	60			23,36	
3	70			27,34	
4	80			40,49	
5	90			64,9	
6	90	2,0		85,17	
7		2,5		89,59	
8		3,0		94,63	
9		3,5		95,05	
10		4,0		97,96	
11		3,0		10	48,32
12				15	72,97
13				25	95,01
14				30	96,07

Оптимальная степень кристаллизации фторида алюминия (более 94%) достигается при температуре 90 °C, продолжительности процесса 3 часа и дозировке затравки 20% от исходной массы.

Результаты РФА, высушенного AlF_3 представлены на рисунке 11.

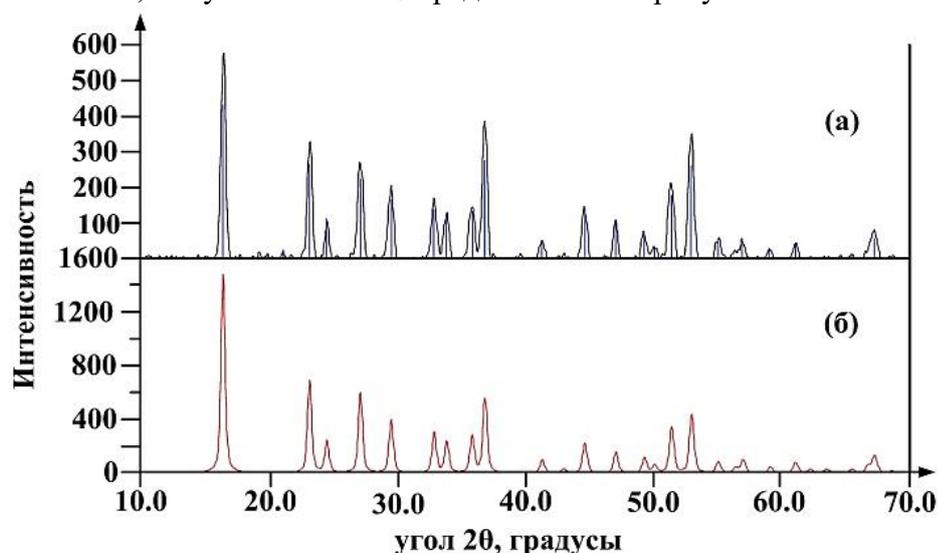


Рисунок 11. – РФА анализируемого образца (а) и эталона розенбергит (б)

Из рисунка 11 видно, что образец относится к минералу розенбергит ($AlF_3 \cdot 3H_2O$) (PDF – 35-827), что свидетельствует о прохождении данной технологии. С целью удаления кристаллизационной воды из состава AlF_3 , образец подвергается обработке при температуре 500 °С. Рентгенофазовым анализом установлено, что появившиеся дифракционные пики соответствуют искусственному соединению AlF_3 , номер которого в базе PDF 80-1007.

Степень чистоты синтезированного трифторида алюминия была определена в Центральной лаборатории АО «ТАЛКО». Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. - Сравнительная характеристика образца, прокалённого при 500 °С, и стандартного AlF_3

Показатели	ГОСТ 19181-78		Сравняемый образец
	Высшая	Первый сорт	
Массовая доля, %			
AlF_3 , %, не менее	93	88	97,8
Свободный Al_2O_3 , %, не более	4	7	1,12
Сумма $SiO_2+Fe_2O_3$, %, не более	0,3	0,4	0,35
п.п.п., %, не более	2,5	3,5	0,5

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что массовая доля фторида алюминия превышает 98%, что подтверждает его высокую степень чистоты. Проведенные физико-химические исследования подтвердили соответствие полученного продукта требованиям ГОСТ 19181-78, что позволяет рекомендовать его в качестве сырья для электролитического производства алюминия.

Технология синтеза криолита из фторидных растворов

Разработанная технология синтеза криолита основана на осаждении из водных растворов фторида алюминия и натрия в лабораторных условиях, что подтверждает возможность получения целевого продукта заданного качества с использованием регламентированных реагентов. В результате осадочной реакции, представленной под номером 12, образуется кристаллический криолит, что подтверждает технологическую возможность его получения из побочного продукта.



Параметры синтеза криолита (25-85 °С, 5-25 мин) не оказывают значимого влияния на степень осаждения, которая стабильно превышает 98 %. Дозировка NaF ниже 90 % снижает выход, а превышение 110 % приводит к образованию хиолита, что нежелательно. Оптимальные параметры: температура 65-85 °С, продолжительность 5-10 мин., дозировка фторид натрия 100%.

В таблице 3 приведён химический состав полученного криолита, который, согласно результатам, соответствует стандартным требованиям.

Таблица 3. – Сравнение химического состава полученного криолита со стандартным

Показатели	ГОСТ 10561-80. Норма марок			Криолит испытуемый
	Высшая	Первый	КП	
Массовая доля, %:				
F, не менее	54	54	52	53,8
Al, на более	18	19	23	12,6
Na, не менее	23	22	13	32,6
SiO ₂ , не более	0,5	0,9	1,5	0,12
Fe ₂ O ₃ , не более	0,06	0,08	0,1	0,03
SO ₄ , не более	0,5	1,0	1,0	0,03
Об, не более	0,2	0,5	0,8	0,22

Рентгенофазовый анализ, проведенный для верификации данных химического исследования и подтверждения реакции синтеза криолита, показал наличие четких дифракционных пиков, соответствующих кристаллической структуре Na₃AlF₆ (рис. 12).

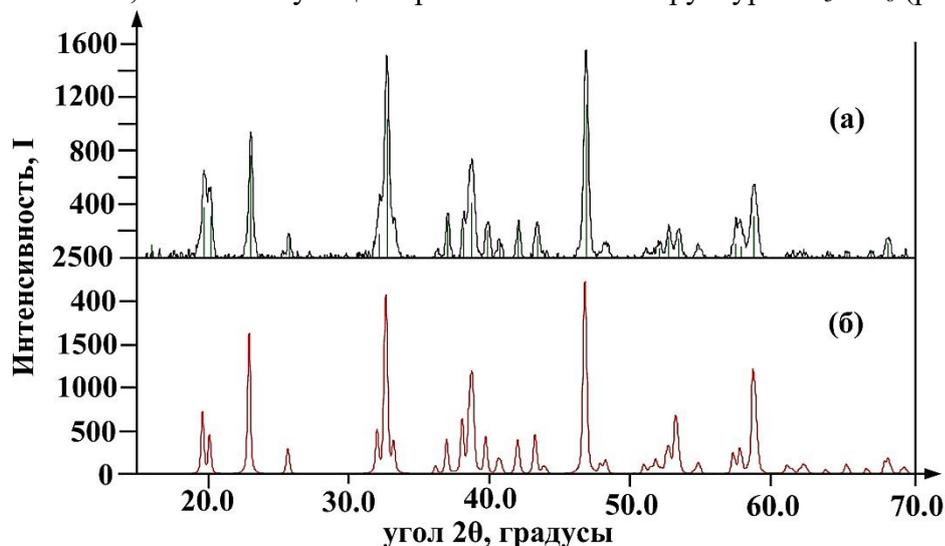


Рисунок 12. – Рентгенофазовый анализ: (а) спектр исследуемого образца, (б) эталонный спектр криолита Na₃AlF₆

Анализ рентгенограммы (рисунок 12) показал, что из 24 зарегистрированных дифракционных пиков 22 совпадают с характеристиками минерала криолита согласно базе данных PDF № 70-1606. Это подтверждает достоверность результатов химического анализа и свидетельствует о протекании реакции 12 с образованием кристаллической фазы Na₃AlF₆.

Как отмечалось ранее, увеличение дозировки раствора NaF приводит к образованию минерала хиолита, номер которого в базе данных PDF равен 30-1144.

Указывалось, что температура оказывает значительное влияние на скорость фильтрации криолита, и были проведены соответствующие исследования. Экспериментальные исследования проводились с применением стандартного лабораторного оборудования: фильтрационной воронки и вакуумной фильтрационной установки (таблица 4).

Таблица 4. – Изучение скорости фильтрации криолита в зависимости от температуры

№	Температура, °С	Скорость фильтрации в зависимости от:	
		обычной воронки, мин.	вакуум-фильтра, мин.
1	25	210	35
2	45	160	17
3	65	75	8
4	85	60	5

Повышение температуры с 25 до 85 °С снижает время фильтрации криолита с 210 до 60 мин. Использование вакуумного устройства дополнительно сокращает время с 35 до 5 мин. Таким образом, для получения криолита оптимально поддерживать температуру в диапазоне 65-85 °С и проводить фильтрации с использованием вакуумного устройства.

Метод отличается технологической простотой, высокой эффективностью и сниженным уровнем энергозатрат, что делает его перспективным для промышленного применения.

Характер кинетических процессов при обработке производственного побочного продукта гидроксидом алюминия

Как установлено ранее, процесс нейтрализации смеси кислот гиббситом протекает поэтапно. На первом этапе происходит образование аморфной формы SiO_2 и растворимого трифторида алюминия. На втором этапе, по мере изменения условий среды, наблюдается кристаллизация AlF_3 из раствора.

Нейтрализация смеси кислот с использованием гиббсита осуществляется при температуре 90 °С, продолжительности 15 минут, концентрации H_2SiF_6 15%, HF 8%, и дозировке кислот, составляющей 120% от стехиометрии. При указанных параметрах достигается высокая степень осаждения аморфной формы диоксида кремния (98,5%) и извлечения фторида алюминия в раствор (95,5%).

Исследовали кинетику нейтрализации смеси кислот с $\text{Al}(\text{OH})_3$, в частности, изучали разложение $\text{Al}(\text{OH})_3$ для получения аморфного SiO_2 при температурах 30-90 °С и продолжительности 5-15 минут. Изучение степени выделения аморфного SiO_2 в зависимости от времени разложения при различных температурных условиях представлено на рисунке 13.

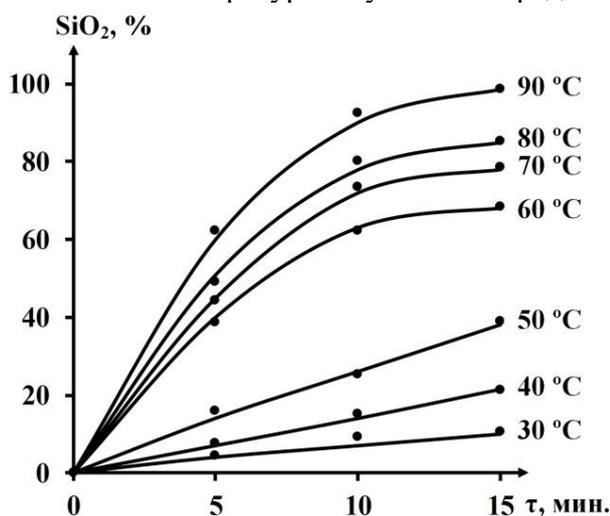


Рисунок 13. – Зависимость выхода аморфного оксида кремния от продолжительности процесса при различных температурах

При 30-50 °С кинетические кривые линейны (рис. 13), тогда как при 60-90 °С они переходят от линейной к параболической форме. Расчёты выполнены по уравнению первого порядка.

На рисунке 14 представлены результаты кинетических расчетов процесса разложения гидроксида алюминия в смеси КФВК и фтористоводородной кислот.

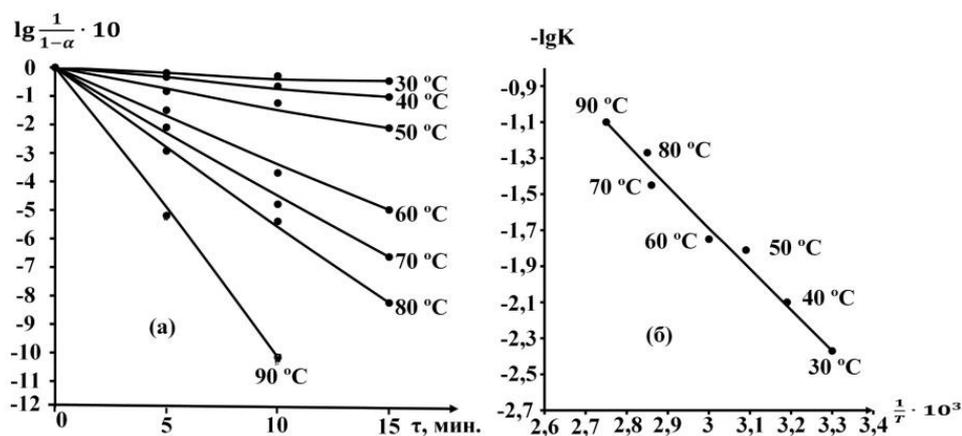


Рисунок 14. – Обзор графиков: (а) – зависимость $\lg(1/(1-\alpha))$ от времени реакции, (б) – зависимость $\lg K$ от обратной абсолютной температуры ($1/T$).

Как видно из графика зависимости $\lg(1/(1-\alpha))$ от времени (рисунок 14а), полученные линии имеют отрицательные значения. При анализе этих кривых была рассчитана константа скорости реакции нейтрализации в рассматриваемом температурном диапазоне.

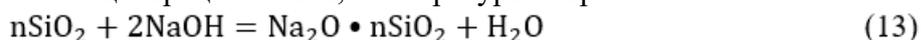
График на рисунке 14б отражает линейную зависимость $\lg K$ от обратной температуры ($1/T$), подтверждая предсказуемое влияние температурного фактора на кинетические параметры.

Энергия активации образования аморфного SiO_2 , рассчитанная по уравнению Аррениуса (50,77 кДж/моль), указывает на кинетический режим процесса. При изучении растворения AlF_3 в интервале 30-90 °С выявлено: при 30-50 °С кинетические кривые линейны, при 60-90 °С - параболически. Энергия активации для AlF_3 составила 38,71 кДж/моль, что соответствует переходной области.

Таким образом, рассчитанные кинетические параметры позволяют определить механизм процесса при разложении гидроксида алюминия в смеси кислот и выбрать оптимальные условия для реализации данной технологии.

Технология получения жидкого стекла из аморфного диоксида кремния

В лабораторных условиях исследована реакция получения жидкого стекла из аморфного SiO_2 (реакция 13) при изменении концентрации NaOH , температуры и времени.



Установлено, что повышение этих параметров (NaOH : 5-25%, температура: 25-90 °С, время: 15-60 мин) способствует увеличению растворимости SiO_2 . Оптимальные условия для регулировки силикатного модуля: 15% C_{NaOH} , 85-90 °С, 60-70 мин. Анализ свойств продукта, выполненный в ЦЛ АО «ТАЛКО», показал соответствие стандартным показателям (таблица 5).

Таблица 5. – Сравнение физико-химических свойств жидкого стекла с нормативными значениями

Показатели	ГОСТ 13078-81, Марки			Сравняемый продукт
	А	Б	СЖН 1	
Массовая доля, %				
SiO_2	22-29	24-31	29-36	28,1
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$, не более		0,25		0,15
Na_2O	9-12	8-12	10-13	9,17
Силикатный модуль	2,3-2,6		2,6-3,0	3,2
Плотность, г/см ³	1,36-1,45		1,47-1,52	1,4

Данные таблицы 5 подтверждают соответствие полученного жидкого стекла стандартам марок А и Б по ГОСТ 13078-81. Это свидетельствует о целесообразности его производства из

аморфного диоксида кремния. Технология отличается низкой энергоёмкостью и не требует сложного оборудования, что делает её доступной для промышленного применения. Полученное жидкое стекло может быть эффективно использовано в строительстве и в алюминиевой промышленности – в качестве кислото- и термостойких цементующих материалов.

Технологическая схема комплексной переработки смеси кислот

На основе полученных данных сформирована принципиальная технологическая схема синтеза фтор и кремнийсодержащих компонентов из смеси кислот (рисунок 15).

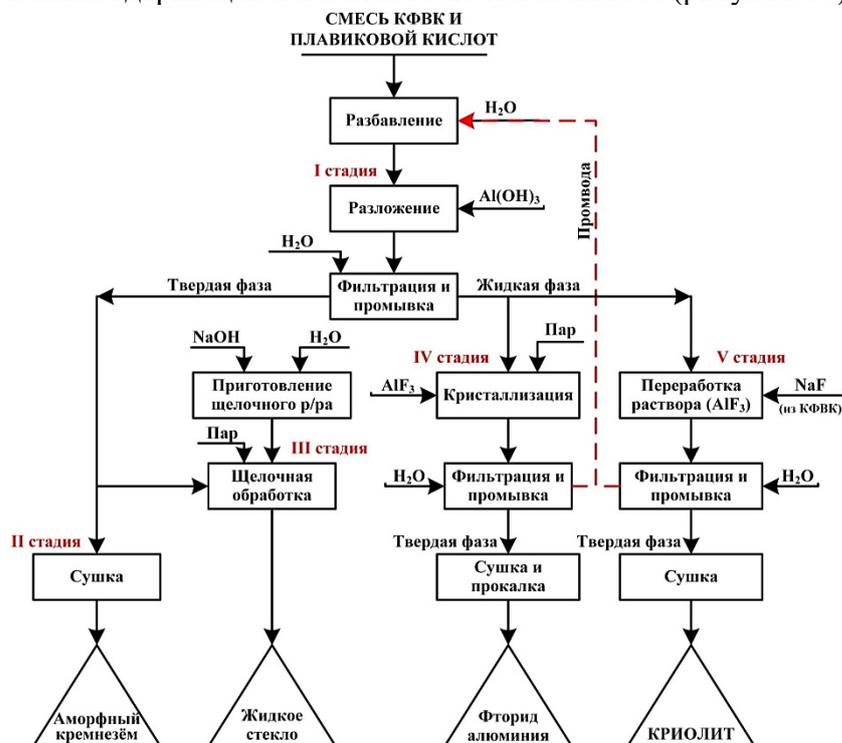


Рисунок 15. – Технологическая схема комплексной переработки смеси кислот

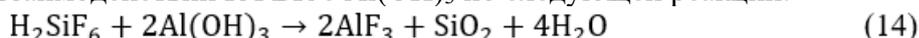
Данная технология позволяет комплексно и надежно перерабатывать смесь кислот с соблюдением экологических и экономических норм, производя различные виды ценных продуктов. Интеграция комплексной переработки в производственный контур «ТАЛКО Кемикал» позволяет не только расширить ассортимент извлекаемых компонентов, но и существенно сократить транспортные и энергетические издержки.

ГЛАВА IV. ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ПРОДУКЦИИ ПЕРЕРАБОТКИ СМЕСИ КФВК И ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТ. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ

Технология получения фторида алюминия и криолита в опытно-промышленных условиях из кислотной системы

Переработка смеси кислот в Совместном Технопарке ООО «ТАЛКО Кемикал» и ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО» была выполнена по двухстадийной схеме (см. рисунке 16).

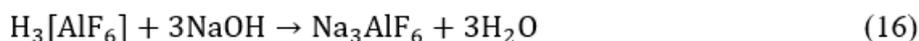
AlF_3 синтезируется при взаимодействии КФВК с $\text{Al}(\text{OH})_3$ по следующей реакции.



При избытке $\text{Al}(\text{OH})_3$ происходит образование фторалюминиевой кислоты в результате реакции с фторидной кислотой.



После удаления SiO_2 и AlF_3 фторалюминиевая кислота реагирует с NaOH , образуя криолит по следующей схеме.



В качестве альтернативы, криолит может быть получен из фторалюминиевой кислоты с

использованием NaCl (реакция 17).



Реакция 17 демонстрирует, что наряду с образованием криолита происходит выделение соляной кислоты с концентрацией порядка 10-15%.

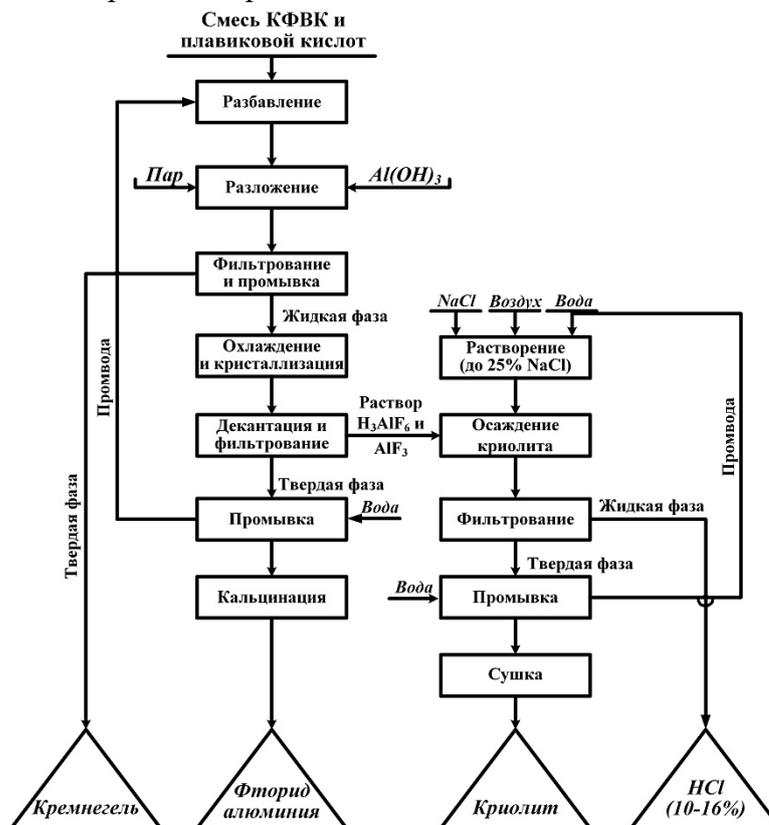


Рисунок 16. – Последовательность стадий переработки КФВК и плавиковой кислот

Опытно-промышленные испытания, выполненные по технологической схеме (рисунок 22), проводились со смесью кислот, включающей 25 % КФВК и 14 % HF.

Согласно стехиометрическим расчетам, для снижения концентрации КФВК до 15% количество 370 кг смеси кислот было разбавлено 630 кг воды. В ходе переработки разбавленной кислотной смеси в реакционную систему было внесено 260 кг гидроксида алюминия. По завершении 30-минутного процесса разложения происходило осаждение аморфного диоксида кремния, который промывался водой. Кристаллизация трифторида алюминия осуществлялась самопроизвольно при охлаждении раствора, после чего твёрдая фаза отделялась фильтрацией от фторалюминиевой кислоты. К отделённой кислоте добавлялось рассчитанное количество насыщенного раствора NaCl, после чего происходило осаждение криолита.

По результатам опытно-промышленных испытаний получены: 265 кг AlF₃ (98 %), 40 кг криолита и 8 кг аморфного SiO₂. Технология утверждена актом испытания от 03.05.2019. Анализ показал соответствие свойств продуктов требованиям ГОСТ 19181-78 и ГОСТ 10561-80, а также стандартам импортной продукции и образцам ООО «ТАЛКО Кемикал».

Производство КФН из смеси кислот с использованием гидроксида и хлорида натрия

В Совместном технопарке были проведены опытно-промышленные испытания по производству КФН двумя методами – с использованием NaOH и NaCl. Эксперименты были выполнены согласно разработанным схемам (рисунки 7 и 18).

Опытно-промышленное испытание проводилось с использованием 1000 кг КФВК (25%) и 2090 кг раствора NaCl (25%). В результате было получено 330 кг КФН и 1100 кг 15-17% раствора HCl. На основании результатов испытаний был составлен акт от 03.05.2019.

Произведённая продукция представляет собой кристаллический порошок белого цвета. В

результате физико-химических анализов были определены основные показатели КФН: содержание КФН – не менее 95%; содержание HCl – не более 1,0%; влажность – не более 1,0%.

Вторым вариантом переработки КФВК является использование гидроксида натрия. Опытное производство КФН было организовано с использованием 1000 кг 25%-ного раствора КФВК и 300 кг 20%-ного раствора гидроксида натрия. В результате было получено 350 кг продукта. По итогам испытаний был составлен акт от 03.05.2019.

Основные физико-химические показатели КФН: содержание КФН – не менее 95%; содержание HCl – не более 1,0%; влажность – не более 1,0%.

Физико-химические свойства КФН соответствуют нормативным требованиям ГОСТ 87-66. Опытно-промышленное количество синтетического КФН успешно прошло испытания в электролизном производстве ОАО «ТАЛКО».

Производство опытного количества жидкого стекла из аморфного диоксида кремния и его испытание в качестве связующего материала

В результате лабораторных испытаний, проведённых с 11 по 22 апреля 2022 года, из ~600 г аморфного SiO₂ было синтезировано более 2 кг жидкого стекла. Химический анализ, выполненный в лаборатории цеха обожжённых анодов АО «ТАЛКО», показал следующие характеристики (мас. %): SiO₂ – 29,5; Fe₂O₃ + Al₂O₃ – 0,15; Na₂O – 9,5; силикатный модуль – 2,91; плотность – 1,41 г/см³. Полученный продукт соответствует требованиям марок А и В по ГОСТ 13078-81 и ТИ 117-05-20. С 24 мая по 1 июня 2022 года материал прошёл проверку в качестве жаростойкого цемента в цехе огнеупорных и строительных материалов (ЦОСМ) ОАО «ТАЛКО» и был сопоставлен с заводским аналогом.

Для приготовления смеси использовали 50% порошка мертеля и 50% испытуемого жидкого стекла согласно технологической инструкции ТИ 065-03-21 АО «ТАЛКО». В первом варианте эксперимента огнеупорный кирпич смачивали смесью и накладывали на другой кирпич. Во втором варианте раствор толщиной 4 мм наносили на первый кирпич, затем укладывали сверху второй. Аналогичные испытания были проведены и с жидким стеклом, производимым на предприятии.

Проведенные с 25.05 по 01.06.2022 испытания в тоннельной печи ЦОСМ при температуре 1100-1200 °С подтвердили, что опытные образцы жидкого стекла полностью соответствуют продукции АО «ТАЛКО» по термостойким характеристикам. Полученный материал пригоден для изготовления жаростойкого цемента и применения при капитальном ремонте электролизёров. На основании успешных испытаний 22.06.2022 был подписан соответствующий акт утверждения.

Внедрения технологии производства смеси КФН и фторида натрия на предприятии ООО «ТАЛКО Кемикал»

В 2023 году в Совместном технопарке согласно технологической схеме рисунка 7 (стр. 39) было произведено около 43 тонн смеси КФН и фторида натрия. 30.11.2023 примерно 18 тонн этой смеси были доставлены из ООО «ТАЛКО Кемикал» в АО «ТАЛКО», где, после сушки, она была успешно применена в процессе электролиза.

Согласно РФА, полученная смесь фторсодержащих солей соответствует стандартным минералам малладрит (PDF – 33-1280) и виллиомит (PDF – 88-1299), что подтверждается рентгенограммами рисунка 4 (стр. 35).

Таким образом, после успешного получения опытно-промышленного количества фторсодержащих солей, был официально утверждён акт о внедрении данной технологии в Совместном технопарке (район Ёвон).

Производство опытной партии литейного флюса на основе смеси КФН и фторида натрия и его испытание в литейном производстве ОАО «ТАЛКО»

В период с 08.07 по 15.07.2024г. в цехе газоочистки и в опытно-электролизном цехе ОАО «ТАЛКО» было произведено 2100 кг покрывного и рафинирующего флюса марки «ПРФ-23» (покрывно-рафинирующий флюс 2023), которое разработано ГУ «НИИМ» АО «ТАЛКО».

В период с 05.08 по 05.09.2024 года на всех смесителях литейного участка №2 ОАО «ТАЛКО» успешно была проведена опытно-промышленная эксплуатация флюса «ПРФ-23» в тестовом режиме. Согласно результатам испытаний, флюс «ПРФ-23» по всем физико-химическим и экологическим параметрам соответствует нормативным требованиям.

Следует отметить, что смесь КФН и NaF использовалась в соотношении 60/40%, поэтому в составе 2100 кг флюса содержится 15% Na_2SiF_6 , а доля кремния (Si) составляет 2,23%. В ходе расчетов было определено, что в случае восстановления кремния, его содержание в 1 тонне первичного алюминия может составить примерно 0,001%.

Таким образом, с использованием опытного флюса было переработано более 2000 тонн первичного алюминия. По итогам опытно-промышленных испытаний флюс «ПРФ-23» рекомендован к применению в литейном производстве ОАО «ТАЛКО». На основании проведенных испытаний был составлен и утвержден акт от 11.11.2024 года.

Технико-экономические показатели производства фторида алюминия из побочного продукта производства плавиковой кислоты

На основе материального баланса синтеза 1 тонны AlF_3 из кислотной смеси и $\text{Al}(\text{OH})_3$ разработана упрощенная аппаратурно-технологическая схема (рис. 17), адаптированная под оборудование Совместного Технопарка. Решение обеспечивает минимальные капитальные затраты и возможность промышленной реализации процесса.

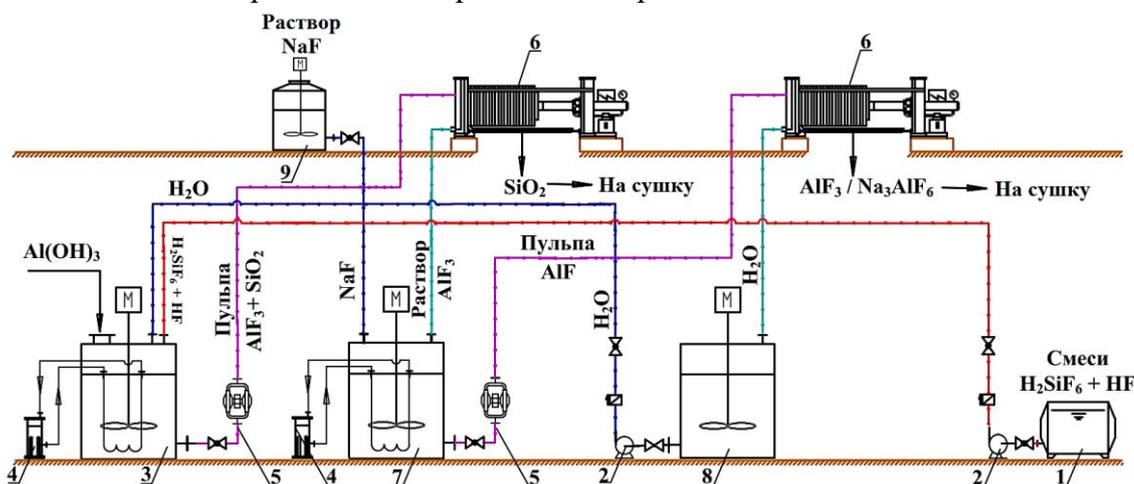


Рисунок 17. - Аппаратурно-технологическая схема производства фторида алюминия
 1 - ёмкость для смеси кислот; 2 - центробежный насос; 3 - реактор с мешалкой; 4 - парогенератор; 5 - пневматический мембранный насос; 6 - рамный фильтр-пресс; 7 - кристаллизационный реактор; 8 - ёмкость для фильтрата; 9 - ёмкость для раствора NaF.

После расчёта затрат была определена себестоимость 1 тонны AlF_3 (таблица 6).

Таблица 6. – Технико-экономические расчёты по производству 1 т фторида алюминия

№	Расходы	Ед. изм.	Расходы для 1 т продукции	Стоимость за 1 т	
				сомони	доллар
I. Расход сырья					
1	Смеси кислот	т	1,7692	504,22	45,83
2	Гидроксид алюминия	т	0,9286	4387,6	398,8
II. Расход воды, электроэнергии и газа					
3	Вода	м ³	2,572	7,71	0,7
4	Природный газ	м ³	4,5	7,42	0,67
5	Электрoэнергия	кВт/ч	Общ. 50	27,5	2,5
III. Затраты на оплату труда					
6	Зарплата	-	-	110	10
7	Социальные налоги	-	25%	27,5	2,5

Продолжение таблицы 6

8	Накладные расходы	-	5%	5,5	0,5
9	Амортизация	-	0,08%	40,7	3,2
10	Другие	-	5%	5,5	0,5
11	Себестоимость	т	-	5120,65	465,5
12	Мировая цена	т	-	12 000	1090,9
13	Рентабельность за 1 т	т	-	6879,35	625,39
При производстве 1 т фторида алюминия образуется 0,245 т аморфного SiO ₂ , стоимость которого на мировом рынке составляет 5500 сомони (5500 × 0,245 = 1347,5 сомони).					

Расчеты демонстрируют двукратное снижение себестоимости производства фторида алюминия по сравнению с импортными аналогами. Дополнительный экономический эффект достигается за счет побочного получения аморфного SiO₂ (рыночная стоимость ~5500 сомони/тонн). Внедрение технологии обеспечивает значительную экономическую эффективность и снижение экологической нагрузки.

Технико-экономические основы производства смеси фторсолей из побочного продукта

Разработанная технология подтверждена материальным балансом производства 1 тонны смеси КФН и фторида натрия с использованием каустической соды. Процесс реализован на базе Совместного Технопарка с применением специализированной аппаратурно-технологической схемы (рис. 18), что демонстрирует техническую осуществимость и производственную адаптируемость метода.

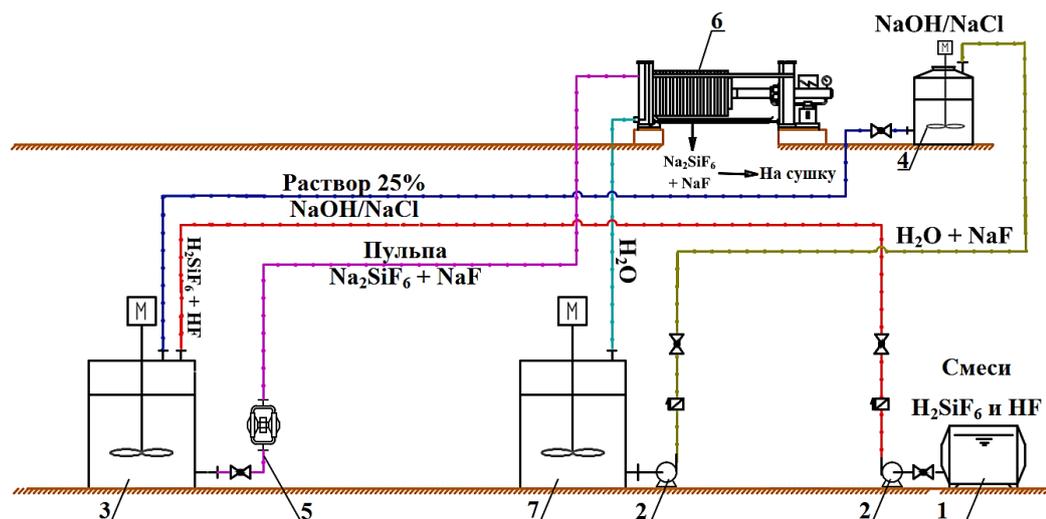


Рисунок 18. – Последовательность аппаратных стадий нейтрализации кислотной смеси NaOH/NaCl

1 – резервуар для смеси; 2 – центробежный насос; 3 – реакционный узел с мешалкой; 4 – промежуточная ёмкость; 5 – диафрагменный насос; 6 – рамный фильтрпресс; 7 – сборник фильтрата

Себестоимость 1 т продукта определена по результатам экономического анализа, отражённого в таблице 7.

Таблица 7. – Технико-экономические расчёты производства 1 т фторсолей

№	Расходы	Ед. изм.	Расходы за 1 т продукции	Цена за 1 т	
				сомони	доллар
I. Расход сырья					
1	Смеси кислот	т	1,191	339,43	30,85
2	NaOH	т	6,249	1792,2	162,9
II. Расход воды, электричество и газ					
3	Воды	м ³	1,8747	5,62	0,51

4	Природный газ	м ³	4,5	7,42	0,67
5	Электричество	кВт/ч	Σ12,04	6,62	0,60
III. Затраты на оплату труда					
6	Зарплата	-	-	31,43	2,85
7	Социальные налоги	-	25%	7,85	0,71
8	Накладные расходы	-	5%	1,57	0,14
9	Амортизация	-	0,08%	40,7	3,7
10	Другие	-	5%	1,57	0,14
11	Себестоимость	т	-	2234,42	203,1
12	Мировая цена	т	-	8000	727,2
13	Рентабельность за 1 т	т	-	5765,58	524,1

Согласно данным таблицы 7, себестоимость полученной смеси более чем втрое ниже стоимости импортируемого КФН. Приблизительный состав смеси составляет 60% КФН и 40% NaF. Учитывая, что рыночная цена NaF превышает 15 000 сомони (≈1363 USD), стоимость предлагаемого продукта оказывается примерно в шесть раз ниже, что подтверждает его экономическую привлекательность. Следовательно, внедрение данной технологии обеспечивает значительный экологический и экономический эффект.

Например, экономическая эффективность Технопарка по производству фторида алюминия, аморфного диоксида кремния, смеси фторсолей за год представлена в таблице 8.

Таблица 8. – Техничко-экономические показатели при внедрении указанных технологий

Продукты	Ед. изм.	Кол. производимой продукции	Себестоимость, сомони		Стоимость на мировом рынке, сомони		Рентабельность, сомони (доллар)
			Для единицы	В целом	Для единицы	В целом	
Технология производства фторида алюминия и аморфного диоксида кремния							
AlF ₃	т/г	3 610,8	5329	19 241 953	12 000	43 329 600	28 958 447 (2 632 586)
Аморфный SiO ₂	т/г	885,6	Поб. продукт	Поб. продукт	5500	4 870 800	
Технология производства смеси КФН и фторида натрия							
КФН+NaF	т/г	13 744,8	2234,4	30 711 381	8000	109 958 400	79 247 019 (7 204 274)
Сумма	-	-	-	-	-	-	108 205 466 (9 836 860)

Как видно из таблицы 8, с использованием имеющегося оборудования Технопарка за год возможно произвести более 3,5 тыс. т AlF₃, 800 т аморфного кремнезема и более 13,5 тыс. т смеси КФН и фторида натрия.

Внедрение технологии переработки кислотной смеси на базе Совместного Технопарка позволяет утилизировать более 8 тыс. тонн отходов в год, устраняя экологические риски предприятия «ТАЛКО Кемикал». Производство трифторида алюминия вдвое дешевле импортных аналогов, а получаемые продукты (аморфный диоксид кремния, фторидные смеси) имеют многоцелевое применение в промышленности. Технология обеспечивает замкнутый цикл переработки, создаёт новые рабочие места и прошла промышленную апробацию как экономически и экологически целесообразное решение.

ВЫВОДЫ

1. С помощью физико-химических методов был определён состав побочного продукта ООО «ТАЛКО Кемикал» - смеси КФВК и фтористоводородной кислот, которая в зависимости от циркуляции содержит 33% КФВК и 21% HF [1-А, 2-А, 4-А, 5-А, 6-А, 16-А].
2. Оптимальные параметры технологии обработки смеси кислот гидроксидом, карбонатом и хлоридом натрия, в зависимости от температуры, продолжительности и концентрации натриевых солей были исследованы в двух этапах [1-А, 8-А, 9-А, 21-А, 22-А]:
 - а) При использовании карбоната и гидроксида натрия (температура 25 °С, продолжительность 15-20 мин, концентрация NaOH 25%) выход смеси фторсодержащих солей превышает 95%.
 - б) При применении хлорида натрия (температура 25 °С, продолжительность 5–10 мин, концентрация NaCl 25%) степень отделения фторсолей составляет 78%.
3. Установлено, что обработка смеси КФВК и фтороводородной кислоты гидроксидом алюминия в диапазоне 303-363 К термодинамически обоснована и обеспечивает получение аморфной формы SiO₂ и раствора AlF₃ [16-А].
4. Исследована технология получения аморфного кремнезёма, жидкого стекла, фторида алюминия и криолита из смеси кислот с использованием Al(OH)₃, оптимальные параметры которой следующие [3-А, 4-А, 5-А, 7-А, 10-А, 11-А, 12-А, 13-А, 14-А, 17-А, 19-А, 20-А, 23-А]:
 - а) для получения аморфного SiO₂: температура – 85 °С, продолжительность – 15 мин., концентрация КФВК – 15%, избыток КФВК – 120% по стехиометрии. В таких условиях степень выделения аморфного SiO₂ составляет 99,8%, его чистота превышает 98%;
 - б) для кристаллизации раствора фторида алюминия: температура – 90 °С, продолжительность – 180 мин., дозировка центра кристаллизации – 20% от исходной массы. При этих условиях степень кристаллизации AlF₃ составляет более 94%, чистота – 97,8%;
 - в) для получения жидкого стекла из аморфного SiO₂: температура – 85-90 °С, продолжительность процесса – 60-70 мин., концентрация гидроксида натрия – 15%. В таких условиях степень растворения аморфного кремнезёма в растворе NaOH превышает 95%;
 - г) для получения криолита из растворов AlF₃ и NaF: температура – 65-85 °С, продолжительность процесса – 5-10 мин., дозировка раствора NaF – 100% по стехиометрии. При этих условиях степень выделения криолита превышает 98%, а чистота соответствует требованиям технического искусственного криолита (ГОСТ 10561-80).
5. Установлены кинетические параметры процессов, протекающих в смеси кислот: разложение гидроксида алюминия с образованием аморфной формы SiO₂ (E_a = 50,77 кДж/моль) и раствора AlF₃ (E_a = 38,71 кДж/моль) при 30-90 °С и 5-15 мин, а также кристаллизация AlF₃ (E_a = 39,8 кДж/моль) при тех же температурах и продолжительности 30-180 мин [2-А, 16-А, 18-А].
6. В условиях Совместного Технопарка проведены опытно-промышленные работы по получению фторида алюминия, криолита, аморфной формы SiO₂, КФН, жидкого стекла, флюсов и других продуктов из смеси кислот. Испытания продукции подтверждены соответствующими актами [3-А, 4-А].
7. Технология нейтрализации кислотной системы с получением КФН и NaF, разработанная на основе исследовательских и опытно-промышленных работ, успешно внедрена в практическое производство.
8. Разработан комплекс технологических схем [1-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 10-А, 15-А, 20-А, 21-А, 22-А, 23-А], включающих:
 - технологию утилизации кислотной смеси с получением КФН и NaF;
 - синтез AlF₃, аморфного SiO₂, жидкого стекла и криолита из смеси КФВК и HF;
 - аппаратно-технологические решения для комплексной переработки кислотной смеси на оборудовании Технопарка с получением фторсодержащих и силикатных продуктов.
9. Обоснованы ключевые технико-экономические параметры технологии комплексной переработки кислотной смеси [6-А], подтвержденные опытно-промышленными испытаниями и направленные на производство широкого спектра фторсодержащих и силикатных продуктов.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Учитывая полученные экспериментальные и производственные данные, разработанные технологические решения могут быть рекомендованы для внедрения на профильных предприятиях:

- На заводах по производству фосфорной кислоты и фосфорных удобрений — для эффективной нейтрализации побочных продуктов с одновременным получением ценных фторсодержащих и силикатных соединений;
- На площадке ООО «ТАЛКО Кемикал», где указанные компоненты образуются как побочные продукты, целесообразно внедрение технологии синтеза AlF_3 , аморфной формы SiO_2 и жидкого стекла. Реализация процесса позволит улучшить экологическую ситуацию и повысить ресурсную эффективность производства;
- Информация, по технико-экономической оценке, передана предприятию по производству плавиковой кислоты, на основании которой себестоимость AlF_3 , смеси КФН и NaF примерно в два раза ниже стоимости импортной продукции. Аморфная форма SiO_2 является побочным продуктом с ценой около 500 долларов;
- Производство смеси КФН и фторида натрия на предприятии ТАЛКО Кемикал уже налажено, смесь кислот практически полностью переработана. Рекомендуется и дальше использовать эту технологию для обезвреживания смеси кислот;
- Данные продукты могут быть полностью использованы в производстве алюминия методом электролиза. ОАО «ТАЛКО» рекомендуется применять такие продукты для снижения себестоимости металла.

Список литературы

11. Раков, Э.Г. Химия и технология неорганических фторидов. – М.: Изд-во МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1990. – 162 с.
12. Бабкин, В.В. Фосфорные удобрения России / В.В. Бабкин, А.А. Бродский. М.: ТОО «Агрохимпринт». – 1995. – 464 с.
13. Шарипов, Т.В. Переработка фосфоритов Каратау в фторсиликат натрия: дис. канд. техн. наук: 05.17.01. – Уфа, 2014. – 178 с.
14. Кочетков, С.П. Концентрирование и очистка экстракционной фосфорной кислоты / С.П. Кочетков, Н.Н. Смирнов, А.П. Ильин // ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т.- Иваново, 2007. 304с. ISBN 5-9616-0212-5.
15. Бушуев, Н.Н. Физико-химические основы влияния примесей фосфатного сырья в технологии фосфорсодержащих минеральных удобрений и чистых веществ: дис. ...докт. техн. наук. – М.: 2000. - 338 с.
16. Зайцев, В.А. Производство фтористых соединений при переработке фосфатного сырья / В.А. Зайцев, А.А. Новиков, В.И. Родин. М.: Химия. – 1982. – 246 с.
17. Позин, М.Е. Технология минеральных удобрений / М.Е. Позин // Изд.4-е, перераб. – Л.: Химия. – 1974. – 370 с.
18. Моргунова, Э.М. Получение кондиционных фтористых солей из КФВК, загрязненной двуокисью кремния / Э.М. Моргунова, А.С. Шубин, Т.И. Богун и др. // Химия и технология фтористых соединений: сб. тр. УНИХИМ. – Вып. 53. – Свердловск. – 1982. – С. 56-63.
19. Сатторов, С.А. Технология комплексной переработки побочного продукта производства плавиковой кислоты с каолиновой глиной месторождения «Чашма-Санг» / С.А. Сатторов, Н.А. Наимов, А. Муродиён, Х. Сафиев, У.М. Мирсаидов // Доклады НАН Таджикистана. – Том 67. - №1-2. – 2024. – С. 95-103.
20. Сатторов, С.А. Кинетика разложения мусковит-ставролитовых сланцев и гидроксида алюминия смесью кремнефтористоводородной и плавиковой кислот / С.А. Сатторов, Н.А. Наимов, У.М. Мирсаидов, К.Дж. Суяриён [и др.] // Вестник технологического университета. – 2024. – Т.27. - №6. – С. 18-23. DOI10.55421/1998-7072_2024_27_6_18.

ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных
ВАК при Президенте Республики Таджикистан:*

1-А. Шокаримов, С.М. Исследование технологии получения смеси кремнефторида и фторида натрия из побочного продукта производства плавиковой кислоты / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Ч.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев и др. // Вестник Таджикского национального университета, Серия естественных наук. – 2024. - №2. – С. 110-123.

2-А. Шокаримов, С.М. Кинетика разложения гидроксида алюминия смесью кремнефтористоводородной и плавиковой кислот / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Дж.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, Х. Сафиев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. - №2 (66). – 2024. – С. 79-85.

3-А. Шокаримов, С.М. Производство опытной партии фтористых солей из побочного продукта производства плавиковой кислоты с использованием хлорида натрия / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Р.С. Рафиев, Дж.Р. Рузиев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. - № 2 (66). – 2024. – С. 70-74.

4-А. Раджабзода, Н.Х. Выпуск опытно-промышленных партий криолита с использованием хлорида и гидроксида натрия и их испытания при производстве алюминия / Н.Х. Раджабзода, Н.А. Наимов, Х.А. Мирпочоев, **С.М. Шокаримов**, Х.Х. Усмонов // Вестник технологического университета. - 2024. - Т.27. - №4. - С. 57-62. DOI 10.55421/1998-7072_2024_27_4_57.

5-А. Раджабзода, Н.Х. Технология комплексной переработки смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот – побочного продукта производства плавиковой кислоты / Н.Х. Раджабзода, **С.М. Шокаримов**, Н.А. Наимов, Р.С. Рафиев, С.А. Сатторов // Вестник технологического университета. - 2024. - Т.27. - №8. - С. 87-94.

6-А. Раджабзода, Н.Х. Технично-экономические основы технологии производства фторида натрия и аморфного кремнезёма из смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот / Н.Х. Раджабзода, Н.А. Наимов, С.А. Сатторов, У.М. Мирсаидов, **С.М. Шокаримов** // Вестник ТНУ, серия естественных наук. - № 2. – 2025. – С. 222-233.

Публикации в материалах научных конференций:

7-А. Шокаримов, С.М. Получение фторида алюминия из кремнефтористоводородной кислоты / С.М. Шокаримов, Р.С. Рафиев, Дж.Р. Рузиев, Х. Сафиев // Материалы Республиканской научно-преподавательского состава, сотрудников и студентов ТНУ, посвященной «5500 – летию древнего Саразма», «700-летия выдающегося таджикского поэта Камола Худжанди» и «20 – летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования». – Душанбе. – 2020г. -С. 42-43.

8-А. Шокаримов, С.М. Получение кремнефторида натрия из кремнефтористоводородной кислоты с использованием хлорида натрия / С.М. Шокаримов, Р.С. Рафиев, Дж.Р. Рузиев, Х. Сафиев // там же. – стр. 43-44.

9-А. Шокаримов, С.М. Комплексная переработка кремнефтористоводородной кислоты с использованием хлорида натрия / Ш. Кабир, Х. Сафиев, С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Дж.Р. Рузиев и др. // Материалы X Всероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов» с международным участием. – Иркутск. – 22-24 апреля 2020 г. – стр. 93-95.

10-А. Шокаримов, С.М. Комплексная переработка смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот с применением гидроксидов алюминия и натрия / С.М. Шокаримов, Р.С. Рафиев, Н.А. Наимов, Дж.Р. Рузиев, И.Ш. Ахмадшоев, Х. Сафиев // III международная научно-практическая конференция на тему: «Развитие химической науки и область её использования», посвященной 80-летию памяти д.х.н., член корр. НАНТ-а профессора Кимсанова Бури Хакимовича. – Душанбе. – 2021г. – стр. 224-230.

11-А. Шокаримов, С.М. Омӯзиши параметрҳои физикавӣ химиявӣ технологияи ҳосил намудани фториди алюминий аз омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторид // С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Дж.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, И.Ш. Ахмадшоев / Материалы

республиканской научно-практической конференции на тему «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной провозглашению четвертой стратегической цели – индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорганическая химия» и посвященной памяти заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, д.т.н., профессора, Лутфулло Солиева. – Душанбе. – 2023. – стр. 60-63.

12-А. Шокаримов, С.М. Технологии ҳосил намудани оксиди силитсийи аморфӣ аз омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторид // С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Дж.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, И.Ш. Аҳмадшоев / там же. – Душанбе. – 2023. – стр. 40-43.

13-А. Шокаримов, С.М. Омӯзиши технологияи ҳосил намудани криолит аз маҳлули фториди алюминий / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Қ.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, И.Ш. Аҳмадшоев // Материалы международной научно – методической конференции на тему: «Прогресс наука химия, технология и экология» посвященной 20 – летию образования кафедры «Химической технологии и экологии» и «Двадцатилетию изучения и развития естественно – математических и точных дисциплин в области науки и образования». – Душанбе. – 12-13 мая 2023г. – стр. 39-41.

14-А. Шокаримов, С.М. Омӯзиши технологияи ҳосил намудани шишаи моеъ аз оксиди силитсийи аморфӣ / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Қ.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, И.Ш. Аҳмадшоев // там же. – стр. 43-44.

15-А. Шокаримов, С.М. Таҳияи схемаи принсипиалию технологияи коркарди комплекси омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторид / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Қ.Р. Рузиев, Р.С. Рафиев, И.Ш. Аҳмадшоев // там же. – стр. 45-46.

16-А. Шокаримов, С.М. Процесс парообразования раствора кремнефтористоводородной и плавиковой кислот / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов., Р.С. Рафиев, И.М. Носиров и др. // Сборник материалов Международной научно – практической конференции «Новые достижения в области естественных наук и информационных технологий», посвящённой «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук на 2020-2040 гг.». - Душанбе. - 30 мая 2023 г. - стр. 117-118.

17-А. Сатторов, С.А. Технология получения жидкого стекла из аморфного кремнезёма, полученного гидролизом раствора метасиликата натрия / С.А. Сатторов, Н.А. Наимов, Р.С. Рафиев, У. Мирсаидов, **С.М. Шокаримов**, Х. Сафиев // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти академика НАНТ, доктора химических наук, профессора Сафиева Хайдара на тему: «Развитие новых направлений в химии и химической технологии». – Душанбе. – 26 октября 2023г. – стр. 15-19.

18-А. Шокаримов, С.М. Кинетика разложения гидроксида алюминия в смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот / С.М. Шокаримов Н.А. Наимов Р.С. Рафиев Дж.Р. Рузиев. // VI международной научной конференции: «Вопросы физической и координационной химий», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» (2020-2040 годы), 90-летию д.х.н., профессора Якубова Хаида Мухсиновича и памяти д.х.н., профессора Юсуфова Зухуриддина Нуриддиновича, 75-летию и 53-летию научно-педагогической деятельности д.х.н., профессора Рахимовой Мубаширхон. – Душанбе. – 15-16 мая 2024г. – стр. 192-198.

19-А. Шокаримов, С.М. Изучение технологии получения криолита с использованием раствора сульфата натрия / С.М. Шокаримов, Н.А. Наимов, Р.С. Рафиев, С.А. Сатторов // Материалы общеуниверситетской научно-теоретической конференции преподавателей и сотрудников ТНУ, посвященной «30-летию принятия Конституции Республики Таджикистан», «Объявлению 2024 года – Годом правового просвещения» и «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)». - Душанбе. - 2024. - стр. 116-119.

Патенты на изобретение:

20-А. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 1128. Способ комплексной переработки кремнефтористоводородной кислоты / Кабир Шерали, Сафиев Х., Мирпочоев Х.А., Муродиён Асрор, Наимов Н.А., **Шокаримов С.М.** и др. // МПК C01F7/00. №2001455; заявл. 12.08.2020; зарегистрировано 28.12.2020, Бюл.167, 2021. -3с.

21-А. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 1319. Способ получения смеси кремнефторида и фторида натрия / Н.Х. Раджабзода, Х. Сафиев, Х.А. Мирпочоев, А. Муродиён, Н.А. Наимов, Дж.Р. Рузиев, **С.М. Шокаримов**, И.Ш. Ахмадшоев и др. // МПК C01B33/10. №2201672; заявл. 28.04.2022; зарегистрировано 21.11.2022, Бюл.189, 2022. -3с.

22-А. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 1482. Способ комплексной переработки смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот / Н.Х. Раджабзода, У. Мирсаидов, Н.А. Наимов, А. Муродиён, С.А. Сатторов, И.Ш. Ахмадшоев, А.А. Аслонов, **С.М. Шокаримов**, Г. Аминджони // МПК C01D 3/02. C03C 3/4, №2301904; заявл. 01.12.2023; зарегистрировано 4.04.2024, Бюл.206, 2024. -4с.

23-А. Малый патент РТ №ТJ1531. Способ комплексной переработки побочного продукта производства плавиковой кислоты / Н.Х. Раджабзода, Н.А. Наимов, Х.А. Мирпочаев, **С.М. Шокаримов**, С.А. Сатторов, Г. Аминджони, Р.С. Рафиев // МПК C01D 3/02. №22401946; заявл. 04.04.2024; зарегистрировано 04.09.2024, Бюл. 210, 2024, -5с.

АННОТАТСИЯ

ба диссертатсияи Шокаримзода Сирочиддин Мирзо дар мавзӯи «Таҳияи технологияи коркарди омехтаи кислотаҳои гидрогенсилитсийфторид ва фторид» барои дарёфти дараҷаи илмии доктори фалсафа (PhD) доктор аз рӯи ихтисоси 6D072000 – Технологияи химиявӣ (6D072001 – Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ)

Калимаҳои калиди: *кислотаи фторид, кислотаи гидрогенсилитсийфторид, фториди алюминий, криолит, фториди натрий, силитсийфториди натрий, омехтаи силитсийфторид ва фториди натрий, оксиди аморфӣи силитсий, шишаи моеъ, истеҳсоли алюминий.*

Объект ва усулҳои таҳқиқот, таҷҳизоти истифодашуда: Объекти таҳқиқот омехтаи кислотаҳо мебошад, ки дар раванди истеҳсоли кислотаи фторид дар корхонаҳои саноатӣ ба вуҷуд меояд. Дар доираи технологияи коркарди омехтаи КГСФ ва HF гидроксиди алюминий ва пайвастиҳои натрийдор (хлорид, карбонат, гидроксид) истифода шуданд, ки дар натиҷа як қатор намакҳои арзишманди фтордор, инчунин SiO₂-и аморфӣ, шишаи моеъ ва кислотаи хлорид ба даст омаданд. Барои таҳлили маводи ибтидоӣ, миёна ва маҳсулоти ниҳоӣ асбобҳои муосири таҳлилий истифода гардиданд. Барои гузаронидани корҳои таҷрибавию саноатӣ таҷҳизоти Технопарки муштарак ба кор бурда шуд.

Мақсади кор: Ҳадафи асосии диссертатсия омӯзиши ҷанбаҳои физикавию химиявӣ ва технологӣ дар коркарди комплекси маҳсулоти иловагии ЧДММ «ТАЛКО Кемикал», яъне омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид мебошад. Бо истифодаи пайвастиҳои гидроксидҳои алюминий ва натрий, хлорид ва карбонати натрий як қатор маҳсулоти арзишманд ба даст оварда мешаванд, аз ҷумла: фториди алюминий, дуоксиди силитсийи аморфӣ, шишаи моеъ, криолит, СФН, омехтаи СФН ва фториди натрий, инчунин дигар моддаҳо.

Натиҷаҳои бадастомада ва навгонии илмӣ. Технологияи нейтрализатсияи маҳсулоти иловагии истеҳсоли HF – омехтаи кислотаҳо бо дарназардошти параметрҳои гуногуни физикавию химиявӣ ҳамаҷониба омӯхта шудааст. Дар ин технология намакҳои дорои натрий, Al(OH)₃ ва ашёи хом маҳаллӣ истифода шудаанд, ки имкони ба даст овардани доираи васеи маҳсулотро фароҳам овардааст. Технологияҳои таҳияшуда бомуваффақият дар ЧДММ «ТАЛКО Кемикал» татбиқ гардида, маҳсулоти ҳосилшуда озмоишҳои таҷрибавию саноатиро бо натиҷаҳои мусбат гузаштаанд. Дар асоси таҷрибаҳои лабораторӣ ва истеҳсолий схемаҳои технологӣ ва таҷҳизотӣ таҳия гардида, самаранокии иқтисодии онҳо низ арзёбӣ шудааст.

Арзиш ва аҳамияти назариявию амалӣ кор дар он асос меёбад, ки усулҳои таҳияшудаи нейтрализатсияи омехтаи КГСФ ва кислотаи фторид шароит фароҳам меоранд то омехтаи Na₂SiF₆ ва фториди натрий – ашёи хом барои истеҳсоли электролит, хӯлаи алюминию силитсий (силумин), флюс ва дигар маводҳо ба даст оварда шавад. Ҳамчунин фториди алюминий ва криолит – ашёи хом барои истеҳсоли алюминий, дуоксиди силитсийи аморфӣ – ашёи хом барои саноати фармасевтӣ, резина ва батареяҳои офтобӣ, шишаи моеъ – ашёи хом барои соҳаи сохтмон, комбинатҳои бойгардонии маъдан ва дигар бахшҳо ба даст оварда мешаванд. Илова бар ин, схемаҳои асосии технологӣ ва таҷҳизотӣ барои коркарди комплекси омехтаи кислотаҳо таҳия шудаанд, ки дар асоси онҳо технологияҳо ба истеҳсолот ворид карда шуданд. Истеҳсоли маҳсулот дар корхонаҳои ҚСК «ШАТ» ва ЧДММ «ТАЛКО Кемикал» озмоиш шуда, бо ҳуҷҷатҳои дахлдор тасдиқ гардидааст.

Соҳаи истифодабарӣ: Технологияҳои таҳияшуда ва маҳсулоти бадастомада дар саноати химия ва металлургия, истеҳсоли шиша, соҳаи сохтмон, инчунин соҳаи экология ва ҳифзи муҳити зист истифода мешаванд.

АННОТАЦИЯ

к диссертации Шокаримзода Сироджиддина Мирзо на тему «Разработка технологии переработки смеси кремнефтористоводородной и плавиковой кислот» на соискание учёной степени доктора философии (PhD) доктора по специальности 6D072000 – Химическая технология (6D072001 – Технология неорганических веществ)

Ключевые слова: *фтороводородная кислота, кремнефтористоводородная кислота, фторид алюминия, криолит, фторид натрия, кремнефторида натрия, смесь кремнефторида и фторида натрия, аморфный оксид кремния, жидкое стекло, производство алюминия.*

Объект и методы исследования, используемое оборудование: Исследуемым объектом выступает смесь кислот, формирующаяся в процессе получения фтороводородной кислоты на промышленных предприятиях. В рамках технологии переработки смеси КФВК и HF были задействованы гидроксид алюминия и натриевые соединения (хлорид, карбонат, гидроксид), в результате чего получают различные ценные фторсодержащие соли, а также аморфный SiO₂, жидкое стекло и соляная кислота. Для анализа исходных, промежуточных материалов и конечных продуктов использовались современные аналитические приборы. Для проведения опытно-производственных работ было задействовано оборудование Совместного Технопарка.

Цель работы: Основной целью диссертации является изучение физико-химических и технологических аспектов комплексной переработки побочных продуктов предприятия ООО «ТАЛКО Кемикал», а именно смеси КФВК и фтороводородной кислот. С использованием соединений гидроксидов алюминия и натрия, хлорида и карбоната натрия с получение целого ряда ценных продуктов, таких как фторид алюминия, аморфный диоксид кремния, жидкое стекло, криолит, КФН, смесь КФН и фторида натрия, а также других веществ.

Полученные результаты и научная новизна: Технология нейтрализации побочного продукта производства HF – смеси кислот – всесторонне изучена с учётом различных физико-химических параметров. В данной технологии использованы натрийсодержащие соли, Al(OH)₃ и местное сырьё, что позволило получить широкий спектр продуктов. Разработанная технология успешно внедрена на ООО «ТАЛКО Кемикал», а полученные продукты прошли опытно-промышленные испытания с положительными результатами. На основе лабораторных и производственных экспериментов были разработаны технологические и аппаратурные схемы, а также произведена оценка их экономической эффективности.

Теоретическая и практическая ценность работы: основана на том, что разработанные методы нейтрализации смеси КФВК и фтороводородной кислот создают условия для получения смеси Na₂SiF₆ и фторида натрия – сырья для производства электролита, алюминиево-кремниевого сплава (силумина), флюса и других материалов, а также фторида алюминия и криолита – сырья для производства алюминия, аморфного диоксида кремния – сырья для фармацевтической, резиновой промышленности, солнечных батарей, жидкого стекла – сырья для строительной отрасли, обогатительных комбинатов и др. Кроме того, разработаны принципиальные технологические и аппаратурные схемы комплексной переработки смеси кислот, на основе которых технологии внедрены в производство. Выпуск продукции прошёл испытания на предприятиях ОАО «ТАЛКО» и ООО «ТАЛКО Кемикал» и подтверждён соответствующими документами.

Область применения: Разработанная технология и полученные продукты находят применение в химической и металлургической промышленности, стекольном производстве, строительной отрасли, а также в сфере экологии и охраны окружающей среды.

ABSTRACT

to the dissertation of Shokarimzoda Sirojiddin Mirzo on the theme “Development of technology of processing of a mixture of fluorosilicic and hydrofluoric acids” for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) doctor on the specialty 6D072000 – Chemical Technology (6D072001 – Technology of inorganic substances)

Keywords: *hydrofluoric acid, fluorosilicic acid, aluminum fluoride, cryolite, sodium fluoride, sodium silicofluoride, mixture of sodium silicofluoride and sodium fluoride, amorphous silicon oxide, liquid glass, aluminum production.*

Object and methods of research, equipment used: The object of study is a mixture of acids formed during the production of hydrofluoric acid at industrial enterprises. Aluminium hydroxide and sodium compounds (chloride, carbonate, hydroxide) were used in the processing of the HF and FSA mixture, resulting in various valuable fluorine-containing salts, as well as amorphous SiO₂, liquid glass and hydrochloric acid. Modern analytical instruments were used to analyse the raw materials, intermediate materials and end products. Equipment from the Joint Technopark was used to carry out the pilot production work.

Purpose of work: The main purpose of the dissertation is to study the physicochemical and technological aspects of the comprehensive processing of by-products of TALCO Chemical LLC, namely mixtures of FSA and hydrofluoric acids. Using compounds of aluminium and sodium hydroxides, sodium chloride and sodium carbonate, a whole range of valuable products are obtained, such as aluminium fluoride, amorphous silicon dioxide, liquid glass, cryolite, SSF, a mixture of SSF and sodium fluoride, as well as other substances.

Results obtained and scientific novelty: The technology for neutralising the by-product of HF production – acid mixtures – has been comprehensively studied, taking into account various physical and chemical parameters. This technology uses sodium-containing salts, Al(OH)₃ and local raw materials, which has made it possible to obtain a wide range of products. The developed technology has been successfully implemented at TALCO Chemical LLC, and the products obtained have undergone pilot-scale testing with positive results. Based on laboratory and production experiments, technological and equipment diagrams were developed, and their economic efficiency was assessed.

Theoretical and practical value of the work based on the fact that the developed methods for neutralising mixtures of FSA and hydrofluoric acids create conditions for obtaining mixtures of Na₂SiF₆ and sodium fluoride – raw materials for the production of electrolyte, aluminium-silicon alloy (silumin), flux and other materials, as well as aluminium fluoride and cryolite – raw materials for the production of aluminium, amorphous silicon dioxide – raw materials for the pharmaceutical and rubber industries, solar batteries, liquid glass – raw materials for the construction industry, enrichment plants, etc. In addition, fundamental technological and equipment schemes for the comprehensive processing of acid mixtures have been developed, on the basis of which the technologies have been introduced into production. The products have been tested at the enterprises of JSC TALCO and LLC TALCO Chemical and confirmed by the relevant documents.

Field of application: The developed technology and obtained products are used in the chemical and metallurgical industries, glass production, construction, as well as in the field of ecology and environmental protection.

Разрешено в печать 07.01.2026.
Формат 21x29,7 1/4. Бумага офсетная.
Печать лазерная. Тираж 100 экз.

Отпечатано в копицентре «SIMO»
г. Душанбе, ул. Дехлави 1.