

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/13.06.2025.T.106.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI**

XOSHIMOV ILHOMJON ERKIN O‘G‘LI

**FOSFOR KISLOTASI VA KALSIYLI XOMASHYO ASOSIDA OZUQAVIY
KALSIY FOSFATLARINI OLISH TEXNOLOGIYASI**

02.00.13 – Noorganik moddalar va ular asosidagi materiallar texnologiyasi

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYA AVTOREFERATI**

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of dissertation abstract of doctor of Philosophy (PhD)

Xoshimov Ilhomjon Erkin o‘g‘li

Fosfor kislotasi va kalsiyli xomashyo asosida ozuqaviy kalsiy fosfatlarini olish
texnologiyasi..... 5

Хошимов Илхомжон Эркин ўғли

Технология получения кормовых фосфатов кальция на основе фосфорной
кислоты и кальцийсодержащего сырья 21

Khoshimov Ilhomjon

Technology for production of feed-grade calcium phosphates from phosphoric
acid and calcium-containing raw materials 40

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ

List of published works 44

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/13.06.2025.T.106.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI**

XOSHIMOV ILHOMJON ERKIN O‘G‘LI

**FOSFOR KISLOTASI VA KALSIYLI XOMASHYO ASOSIDA OZUQAVIY
KALSIY FOSFATLARINI OLISH TEXNOLOGIYASI**

02.00.13 – Noorganik moddalar va ular asosidagi materiallar texnologiyasi

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYA AVTOREFERATI**

Farg‘ona – 2026

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.PhD/T5240 raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya ishi Umumiy va noorganik kimyo institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume) Ilmiy kengash veb-sahifasida va «Ziyonet» axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Seytnazarov Atanazar Reypnazarovich
texnika fanlar doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Tojiyev Rustambek Rasulovich
texnika fanlar doktori, professor

Reymov Axmed Mambetkarimovich
texnika fanlar doktori, professor, akademik

Yetakchi tashkilot:

Namangan davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi Farg'ona davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/13.06.2025.T.106.04 raqamli Ilmiy kengashning 2026 yil «8» yanvar soat 10:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 150100, Farg'ona shahri, Farg'ona ko'chasi, 86-uy. Tel.:(+99873) 241-12-06; e-mail: info@fstu.uz).

Dissertatsiya bilan Farg'ona davlat texnika universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№_____ raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 150100, Farg'ona shahri, Farg'ona ko'chasi, 86-uy. Tel.:(+99873) 241-12-06; e-mail: info@fstu.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «__» «_____» kuni tarqatildi.

(2025 yil «__» «_____» dagi №_____ - raqamli reestr bayonnomasi).

Z.A. Xamrakulov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi, t.f.f.d., dots.

G'.R. Mirzaqulov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash kotibi, t.f.f.d. (PhD).

Z.K. Dexkanov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar
raisi, t.f.f.d., prof.

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyo aholisi sonining ortishi bilan chorvachilik, parrandachilik va baliqchilik sohaslarining rivojlanishi muhim ahamiyat kasb etmoqda. Bu esa oziq-ovqat mahsulotlari hajmining ko'payishi va sifatining oshishiga, natijada esa har qanday mamlakatning oziq-ovqat xavfsizligi hamda iqtisodiy o'sishini ta'minlashga xizmat qiladi. Ushbu omillar qishloq xo'jaligida ozuqaviy fosfatlaridan, jumladan, mono-, di-, monodi- va trikalsiyfosfatlardan (MKF, DKF, MDKF va TKF) kukun va donadorlangan shaklda yanada kengroq foydalanishni talab etmoqda. Ayni paytda, jahon miqyosida donadorlangan MKF ulushi barqaror ravishda oshib bormoqda. Shu sababli, mahalliy xomashyo resurslari asosida yuqori samarali ozuqaviy fosfatlar ishlab chiqarish texnologiyalarini joriy etish muhim ahamiyatga ega.

Jahon miqyosida natriy, kaliy va kalsiyning turli markali ozuqaviy fosfatlari olish texnologiyasini ishlab chiqishga qaratilgan ilmiy-tadqiqot ishlari faol olib borilmoqda. Shu sababli, past navli ekstraksion fosfat kislotasini (EFK) tozalashga alohida e'tibor qaratilmoqda; tozalangan EFKni zarur konsentratsiyalargacha quyushtirish; ohaktosh uni va termik fosfat kislotasi (TFK) hamda tozalangan EFK asosida parchalab ozuqaviy kalsiy fosfatlarini olishning maqbul sharoitlarini aniqlash; shuningdek, kuydirilgan suyak unini qayta ishlash asosida turli MKF olish texnologiyasini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda keng miqyosdagi ilmiy-tadqiqot ishlari va innovatsion ishlanmalarni amalga oshirish natijasida mineral va organomineral o'g'itlar, shuningdek, mahalliy xomashyo resurslari asosida ozuqaviy ammoniy fosfatlari ishlab chiqarish sohasida muhim yutuqlarga erishilmoqdi. O'zbekiston rivojlanishining 2022-2026 yillarga mo'ljallangan yangi taraqqiyot strategiyasining uchinchi yo'nalishida "...milliy iqtisodiyot barqarorligini ta'minlashga qaratilgan sanoat siyosatini amalga oshirishni davom ettirish, yalpi ichki mahsulotda sanoatning ulushini ko'paytirish va sanoat ishlab chiqarishi hajmini 1,4 barobarga oshirish..." kabi muhim vazifalar belgilab berilgan. Shu nuqtai nazardan, EFKni tozalash va quyushtirish texnologiyasini ishlab chiqish, TFK va konsentrlangan EFK hamda tabiiy ohaktosh va kuydirilgan suyak unini qayta ishlash yo'li bilan turli ozuqaviy MKF, DKF va TKF olish texnologiyasini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son "2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi farmoni va 2023-yil 12-oktabrdagi PF-169-son "Sanoatni va uning bazaviy tarmoqlarini jadal rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi Farmonlari, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 6-noyabrdagi PQ-4005-son "Baliqchilik tarmog'ini yanada rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi va 2022-yil 8-fevraldagi PQ-120-son "O'zbekiston Respublikasida 2022-2026-yillarda chorvachilik va uning

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022 - 2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son Farmoni

tarmoqlarini rivojlantirish dasturini tasdiqlash to‘g‘risida”gi hamda 2021-yil 13-fevraldagi PQ-4992-son “Kimyo sanoati korxonalarini yanada isloh qilish va moliyaviy sog‘lomlashtirish, yuqori qo‘shimcha qiymatga ega kimyo mahsulotlari ishlab chiqarishni rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Qarorlarida, shuningdek ushbu sohada qabul qilingan boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni bajarishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII “Kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi: ilmiy-texnik adabiyotlarda EFKni turli usullar bilan tozalashga oid ma‘lumotlar mavjud. Bunga neytrallash, quyuqlashtirish, puflash, ion-almashinish, sorbsiya, sovitish va kristallizatsiya, organik erituvchilar yordamida ekstraktsiya kabi usullar kiradi (M.E. Pozin, N.N. Bushuev, E.P. Zlobina, Hamza Wiem, K. G‘afurov, N. Baxriddinov, X.Ch. Mirzakulov, T.I. Nurmurodov, S.P. Kochetkov, A.P. Ilin, V.F. Iskulov, B.M. Beglov, Sh.S. Namazov, B.N. Qarshiyev va boshqalar).

Xibin apatitidan olingan EFK uchun ftorni yo‘qotish jarayoni gazsimon issiqlik tashuvchilar yordamida uchuvchan (ftorli) birikmalarni puflash orqali eng samarali kechadi. Biroq Qaratau va Qizilqum fosforitlaridan olingan kislotalarda bu usul qiyinchilik tug‘diradi, chunki MgF_2 kolloid eritmasi hosil bo‘lib, uni sovutganda tizim qattiq quyuqlashib, yopishqoq gelga o‘xshash sust harakatlanuvchi massaga aylanadi (M.E. Pozin, S.P. Kochetkov, K. G‘afurov). EFK tarkibidagi ftorni ishqoriy metallar kremneftoridlari ko‘rinishida ajratib olish usuli esa sanoatda keng qo‘llanilmagan, chunki bunday usulda kamyob va qimmatbaho ishqoriy metall tuzlari yuqori sarf me‘yorini talab etadi (N.N. Bushuev, E.P. Zlobina, I.A. Petropavlovskiy). EFKni ftordan, kalsiy, magniy, temir va boshqa aralashmalardan tozalash usullaridan biri - ion-almashinish usulidir (L.N. Filatova, X. Duan, C. Wang, T. Wang). Ammo bu usul sanoatda ikki sababga ko‘ra qo‘llanilmaydi: 1) past unumdorlik; 2) ionitlarni regeneratsiyalashdan keyin hosil bo‘ladigan suyultirilgan eritmalarini qayta ishlash murakkabligi. EFKni aralashmalardan tozalashning samarali usullaridan biri organik erituvchilar, masalan, tributillfosfat yordamida ekstraktsiya qilish hisoblanadi (V.M. Lembrikov, L.V. Konyaxina, V.V. Volkova). Ammo erituvchining yuqori tannarxi jarayonni iqtisodiy jihatdan samarasiz qiladi. Bundan tashqari, bunday erituvchi O‘zbekistonda ishlab chiqarilmaydi. Oldindan tozalash bosqichi - sulfatsizlantirish uchun kalsiy minerallaridan, masalan, $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$ yoki erkin kalsiy saqlovchi fosfatli xomashyodan foydalanish mumkin (B.N. Qarshiyev, X.Ch. Mirzakulov, N.N. Bushuev). Biroq bunday holda sulfatsizlanish darajasi 85% dan oshmaydi. Eng chuqur sulfatsizlantirish $BaCO_3$ qo‘llash orqali erishish mumkin (X.Ch. Mirzakulov, M.A. Shaymardanova, G.E. Melikulova). Ammo bariy tuzlaridan foydalanish ularning toksikligi bilan bog‘liq xavf tufayli cheklangan.

Ozuqaviy kalsiy fosfatlarini olish texnologiyalariga oid ko'plab ilmiy manbalar mavjud (M.A. Konstantinovskaya, B.V. Levin, N.M. Litusova, V.I. Rodin, Y. Zhou, S. Yang, Matthew T. Kane, X.Ch. Mirzakulov, G.E. Melikulova, M.A. Shaymardanova, P.M. Zaytsev). Jumladan, N.M. Litusova apatitdan olingan, kremniy dioksidi yordamida ftordan tozalangan EFK asosida granulalangan MKF, MDKF va DKF ishlab chiqarish usulini ishlab chiqqan. Biroq bu jarayonda 25-26% P₂O₅ gacha suyultirilgan fosfat kislotasidan foydalanilgan bo'lib, bu ortiqcha suv miqdorini yo'qotish uchun quritish bosqichida qo'shimcha issiqlik energiyasi sarfini talab etadi.

G.E. Melikulova tomonidan esa SO₄²⁻, F⁻, Al³⁺ va Fe³⁺ ionlaridan chuqur tozalangan EFK asosida CaCO₃, BaCO₃, Na₂CO₃ va NH₃ qo'llash orqali granulalangan MKF ishlab chiqarish texnologiyasi taklif etilgan. Unda qaytarilgan mahsulot (retur) CaCO₃ parchalanish jarayoni amalga oshadigan shnekli aralashtirgichga emas, balki quritish barabaniga yuboriladi. Bu esa granulalarning shakllanishi va mexanik mustahkamligini to'liq ta'minlamaydi.

Sulfatsizlantirish jarayonining samaradorligini oshirish uchun nisbatan kamroq toksik material - SrCO₃ dan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Bunda hosil bo'ladigan SrSO₄ cho'kmasi Na₂CO₃ yordamida konvertatsiya qilinib, qayta sulfatsizlantirish sikliga qaytariladi, Na₂SO₄ eritmasi esa qimmatli qo'shimcha mahsulot sifatida olinadi. Mustahkam granulalangan MKF ishlab chiqarish uchun esa kalsiyli materiallarning konsentrlangan fosfat kislotasi bilan parchalanish jarayonini retur mahsuloti ishtirokida amalga oshirish zarur hisoblanadi.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.

Dissertatsion tadqiqoti Umumiy va noorganik kimyo instituti ilmiy-tadqiqot ishlarining rajasining "Mahalliy xomashyo asosida yangi turdagi mineral va organomineral o'g'itlar, ozuqa fosfatlari hamda magniy gidroksidini olishning "yashil" texnologiyalarini ishlab chiqishning ilmiy asoslarini yaratish" mavzusidagi byudjet loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi ekstraksiyon fosfat kislotasini tozalash hamda termik va tozalangan fosfat kislotasi va kalsiy saqlovchi xomashyo asosida kalsiy ozuqa fosfatlari olish texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari: ekstraksiyon fosfat kislotasini (EFK) aralashmalardan tozalashning va kalsiy ozuqa fosfatlarini olishning mavjud usullariga adabiyot tahlili;

termik fosfat kislotasi va ohaktosh uni asosida granulalangan ozuqa MKF hamda kukun shaklidagi ДКФ va ТКФ olish jarayonini, kislotalarning stexiometrik me'yorlariga bog'liq holda o'rganish;

EFKni SrCO₃ va Na₂CO₃ yordamida mos ravishda sulfatsizlantirish va ftorsizlantirish jarayonlarini o'rganish hamda tozalangan kislotani qaynatib quyushtirish usuli bilan konsentrlash. Tozalangan EFKning reologik xususiyatlarini (zichlik, qovushqoqlik) tadqiq etish;

tozalangan va konsentrlangan EFK hamda ohaktosh uni asosida MKF, ДКФ va ТКФ olish jarayonlarini o'rganish;

EFKni tozalash va konsentrlash jarayonining texnologik sxemasini ishlab chiqish va konsentrlangan EFK ishlab chiqarish uchun moddiy balansni tuzish;

termik va tozalangan, konsentrlangan EFK hamda kuydirilgan suyak uni asosida donadorlangan ozuqaviy MKF olish jarayonini o'rganish;

donadorlangan MKF hamda kukun shaklidagi ДКФ va ТКФ (ozuqa maqsadlarida) ishlab chiqarish jarayonlari uchun texnologik sxemalar va material oqimlarini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obyekti termik va ekstraksion fosfat kislotalari, tozalangan va konsentrlangan EFK eritmalari, kalsiy karbonat, ohaktosh uni, kuydirilgan suyak uni, donadorlangan MKF hamda kukun shaklidagi ДКФ va ТКФ hisoblanadi.

Tadqiqotning predmeti stronsiy karbonat va natriy karbonat asosida EFKni tozalash; tozalangan EFKni bug'latish usuli bilan konsentratsiyalash; kalsiy karbonati, ohaktosh uni va kuydirilgan suyak unini TFK va EFK bilan parchalab donadorlangan MKF olish; kalsiy karbonat va ohaktoshni kislotalar bilan parchalab DKF va TKF olishdan iborat.

Tadqiqotning usullari. Ishda analitik (fotokolorimetrik, titrimetrik) va fizik-kimyoviy (SEM-EDS – skanerlovchi elektron mikroskop-energiya dispersiyali spektr, rentgenografik, IQ-spektroskopik) tahlil usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

donadorlangan va kukun holdagi MKF, DKF va TKF uchun EFKni sulfatsizlantirishning qulay sharoitini ta'minlaydigan maqbul sharoitlari aniqlangan;

sulfatsizlantirilgan EFK tarkibidagi ftor miqdorini kamaytirish uchun Na_2CO_3 yordamida EFK tarkibidagi ftorni 0,45% dan 0,18% gacha tozalash jarayonining qulay sharoitlari aniqlangan;

donadorlangan ozuqaviy MKF olish uchun EFK konsentratsiyasi - 50% P_2O_5 , H_3PO_4 tozaligi - 95%, parchalanish vaqti - 15 daqiqa, retur ulushi - tayyor mahsulot massasining 50% ni tashkil qiladigan maqbul sharoitlari topilgan;

termik yoki tozalangan H_3PO_4 konsentratsiyasi mos ravishda 95% va 100% ni tashkil etishi va returli rejimda DKF va retursiz rejimda TKF olish jarayonlari asoslangan;

kuydirilgan suyak unini TFK va tozalangan EFK bilan 1:0,7 retur nisbati asosida bir bosqichli, bitta qurilmada qayta ishlab ozuqaviy MKF olishning prinsipial imkoniyati aniqlangan;

EFK, TFK, toza kalsiy karbonat, ohaktosh va suyak uni asosida donadorlangan MKF, shuningdek, kukunsimon DKF va TKF tarkiblarini olish texnologiyalari ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

stronsiy va natriy karbonatlari hamda bug'latish usuli yordamida tozalangan, konsentrlangan EFK olish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

termik va tozalangan EFK hamda ohaktosh uni asosida olingan donadorlangan ozuqaviy MKF olish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

termik va tozalangan EFK hamda ohaktosh uni asosida olingan kukunsimon DKF va TKF olish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

termik va tozalangan EFK va kuydirilgan suyak unini qayta ishlash asosida ozuqa MKF olish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

taklif etilgan texnologiyalar “Elektrokimyozavod” QK-AJning tajriba qurilmalarida sinovdan o‘tkazilgan va MKF, DKF, TKFlarning tajriba partiyalari ishlab chiqarilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Kimyoviy va fizik-kimyoviy tadqiqotlar natijalari tajriba-sanoat va zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil usullaridan foydalanib laboratoriya sharoitida olingani tajriba ma’lumotlari va ozuqaviy kalsiy fosfatlar olish texnologiyalarini “Elektrokimyozavod” QK-AJning ishlab chiqarish sharoitidagi tajriba sanoat qurilmalarida sinovdan o‘tkazilganligi tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati shundan iboratki, ular SrCO_3 va NaCO_3 hamda bug‘latish usulidan foydalanib EFKni sulfat va ftorid ionlaridan tozalash, ohaktosh va kuydirilgan suyak unining termik fosfat kislotasi hamda tozalangan, konsentrlangan EFK bilan parchalanishi asosida donadorlangan MKF, kukunsimon DKF va TKF olish jarayonlariga asos yaratdi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati esa shundaki, ishlab chiqilgan texnologiyalar ozuqa fosfatlarini ishlab chiqarishni ta’minlashi mumkin bo‘lib, ular GOST 23999-80 talablariga to‘liq javob beradi. Mazkur texnologiyalar chorvachilik, parrandachilik va baliqchilik uchun mo‘ljallangan yangi turdagi import o‘rnini bosuvchi mahsulotlarni loyihalashda qo‘llanishi mumkin bo‘lib, mamlakatning oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlashga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etilishi. Termik yoki tozalangan fosfat kislotasi va ohaktosh uniga asoslangan granulalangan MKF, kukunsimon DKF va TKF ishlab chiqarish texnologiyalarini ishlab chiqishga oid olingan ilmiy natijalar asosida:

EFKni tozalab, ohaktosh va suyak uni asosida donadorlangan MKF olish texnologiyasi “Elektrokimyozavod” QK-AJning “2026-2030 yillarda amaliyotga joriy etish bo‘yicha istiqbolli ishlanmalari ro‘yxati”ga kiritilgan (“Elektrokimyozavod” AJ-QKning 2025 yil 16 iyundagi 63-son ma’lumotnomasi). Natijada, yillik quvvati 20 ming tonna (100% P_2O_5 hisobida 10,4 ming tonna) donadorlangan MKF ishlab chiqarish va chorvachilik sanoatining barqarorligini ta’minlash imkonini beradi;

Tozalangan EFK va ohaktosh uniga asoslangan kalsiyli ozuqaviy DKF va TKF olish texnologiyasi “Elektrokimyozavod” QK-AJning “2026-2030 yillarda amaliyotga joriy etish bo‘yicha istiqbolli ishlanmalari ro‘yxati”ga kiritilgan (“Elektrokimyozavod” AJ-QKning 2025 yil 16 iyundagi 63-son ma’lumotnomasi). Natijada, chorvachilik, parrandachilik, baliqchilik va qator boshqa go’sht mahsulotlari ishlab chiqarish tarmoqlarini rivojlantirishga xizmat qiluvchi fosfor-kalsiyli ozuqa qo‘shimchalarini olish imkoniyatini beradi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 5 ta xalqaro va 5 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o‘tgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 18 ta ilmiy ish chop etilgan bo‘lib, shundan 8 tasi ilmiy maqola hisoblanadi. Ulardan 5 tasi xorijiy jurnallarda, 3 tasi esa O‘zbekiston Respublikasi Oliy

attestatsiya komissiyasi tomonidan PhD darajasidagi doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan respublika jurnallarida nashr qilingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tuzilishi kirish, to‘rt bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati, shartli belgilar va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 119 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning **kirish** qismida ishning dolzarbligi va ahamiyati asoslab berilgan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan, obykti va predmeti tavsiflangan, uning respublika fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, ilmiy yangilik va amaliy natijalar bayon etilgan, natijalarni amaliyotga joriy etilish darajasi qayd etilgan hamda chop etilgan ilmiy ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma‘lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning birinchi bobi **“Ekstraksion fosfat kislotasini (EFK) tozalash usullarini tahlil qilish va uning asosida ozuqaviy kalsiy fosfatlarini olish”**ga bag‘ishlangan. Unda ozuqa fosfatlarining jahon miqyosidagi o‘rni yoritilgan, mono-, di- va trikalsiyfosfatlarni (MKF, DKF, TKF) olish usullari va ularning xossalari, shuningdek, ishlab chiqarishning asosiy texnologik bosqichlari hamda tayyor mahsulotlarga qo‘yiladigan standart texnik talablar tahlil qilingan. Kalsiyli ozuqa fosfatlarining chorvachilikda qo‘llanish samaradorligi tavsiflangan. Qishloq xo‘jaligi hayvonlari va parrandalarini oziqlantirishda suyak uni hamda uning asosida olingan ozuqa fosfatlarining ahamiyati ko‘rsatilgan. Ozuqa fosfatlari va yuqori navli fosfat tuzlarini olish uchun EFKni tozalash usullari bayon etilgan. Adabiyot ma‘lumotlari tahliliga asoslanib, tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan.

Dissertatsiyaning ikkinchi bobi **“Ozuqaviy fosfatlar ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan asosiy xomashyo va yordamchi materiallarning hususiyatlari”**ga bag‘ishlangan. Unda EFK, ohaktosh uni va suyak unining tarkibi hamda xossalari keltirilgan. Boshlang‘ich xomashyo va tayyor mahsulotlarning kimyoviy va fizik-kimyoviy tahlil metodikalari tavsiflangan. Ohaktosh va suyak unini parchalash uchun dastlab 60,3% P_2O_5 konsentratsiyali termik fosfat kislotasi (TFK) qo‘llanilgan. Tozalangan va konsentrlangan fosfat kislotasidan MKF, DKF va TKF namunalari olish maqsadida, AJ “Ammofos-Maxam” ishlab chiqargan EFK tarkibi (18,95% P_2O_5 , 0,45% F, 0,27% CaO, 0,26% MgO, 0,41% Fe_2O_3 , 0,56% Al_2O_3 , 2,96% SO_3) stronsiy karbonati («kimyoviy toza», kamida 98% $SrCO_3$) yordamida sulfatlardan tozalandi, natriy karbonati (kamida 98% Na_2CO_3) yordamida esa ftorlardan tozalandi. $SrSO_4$ konversiyasi orqali stronsiy elementini qayta sulfatdan tozalash texnologik sikliga qaytarish uchun ham Na_2CO_3 reagent sifatida ishlatildi. Tozalangan EFK bug‘latish usuli bilan 40-60% P_2O_5 gacha konsentrlandi. Kalsiyli materiallardan 99,5% $CaCO_3$ miqdoriga ega kalsiy karbonati, Navoiy viloyatidagi G‘ozg‘on konidan olingan ohaktosh (55,29% CaO, 43,44% CO_2 , 0,58% MgO, 0,20% SO_3) hamda 800°C da kuydirilgan, 41,02%

P₂O₅, 50,68% CaO, 2,65% MgO, 0,113% F miqdoriga ega va zichligi ρ = 1,681 g/sm³ bo‘lgan suyak uni ishlatildi. Suyak uni asosan Ca₃(PO₄)₂ dan iboratdir.

Xomashyo va tayyor mahsulotlarning kimyoviy tarkibi standart metodikalar hamda GOST 23999-80 talablariga muvofiq aniqlangan. MKFning granulometrik tarkibi elaklash usuli bilan, gigroskopikligi eksikator usuli bilan, mustahkamligi esa GOST 21560.2-82 ga asosan belgilandi. Rentgenofazali tahlil “Panalytical Empyrean” difraktometri (Niderlandiya), infraqizil (IQ) spektrlari esa Perkin Elmer spektrometrida (4000–450 sm⁻¹ diapazon) o‘lchandi. Sirt mikrotuzilmasi SEM-EVO MA 10 skanerlovchi elektron mikroskopida (Zeiss, Germaniya) tadqiq qilindi.

Dissertatsiyaning **“Ekstraksiya fosfat kislotasini tozalash va kontsentratsiyalash jarayonlarini o‘rganish”** deb nomlangan uchinchi bobida EFKning reaksiyalar borishiga ta’sir etuvchi fizik-kimyoviy va reologik xossalari o‘rganildi. Tajriba ishlari uchun oldingi bobda keltirilgan tarkibga ega ishlab chiqarish EFKsi qo‘llanildi. Sulfat ionlarini cho‘ktirish uchun EFKga qo‘shiladigan SrCO₃ miqdori reaksiyaga ko‘ra 95-105% oralig‘ida hisoblab chiqildi:



Dastlabki EFK vintli aralashtirgichli reaktorga yuklandi va suvli termostatda 75°C gacha qizdirildi. So‘ngra unga hisoblangan miqdordagi SrCO₃ kukuni asta-sekin qo‘shildi. Jarayonning aralashtirish davomiyligi 30 daqiqani tashkil etdi. Belgilangan vaqt tugagach, reaktor tarkibi 60-65°C da 60 daqiqa davomida tindirildi. Shundan so‘ng cho‘kindilar sulfatsizlantirilgan EFKdan filtrlash usuli orqali ajratib olindi, quritildi va tortildi. Natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Ekstraksiya fosfat kislotasining tarkibi va stronsiy karbonati me‘yoriga bog‘liq holda sulfatsizlanish darajasi

SrCO ₃ me‘yori, %	EFK, og‘ir. %		Quruq cho‘kindidagi P ₂ O ₅ miqdori, %	Sulfatsizlanish darajasi, %
	P ₂ O ₅	SO ₃		
95	20,86	0,15	0,71	96,17
97,5	20,86	0,13	0,73	96,48
100	20,53	0,10	0,79	97,34
102,5	21,04	0,10	0,82	97,36
105	21,39	0,10	0,91	97,37

SrCO₃ ning maqbul me‘yori 100% bo‘lib, bunda EFKning qoniqarli darajada sulfatsizlanishi (97,34%) ta‘minlandi. Miqdorni bundan orttirish esa ko‘rsatkichning sezilarli oshishiga olib kelmadi.

Sulfatsizlantirilgan EFK tarkibida 20,53% P₂O₅, 0,28% CaO, 0,27% MgO, 0,45% Fe₂O₃, 0,62% Al₂O₃ va 0,10% SO₃ mavjud. Turli xil P₂O₅ konsentratsiyasiga ega eritmalarini olish maqsadida kislota atmosfera bosimi ostida bug‘latishga uchratildi. Bug‘latish jarayoni kvarts aralashtirgich bilan jihozlangan quvurli kvarts reaktorda olib borildi. Kislotani 150, 160, 165 va 180°C (qaynashgacha) haroratlarda bug‘latish natijasida mos ravishda 45,62; 50,01; 55,25

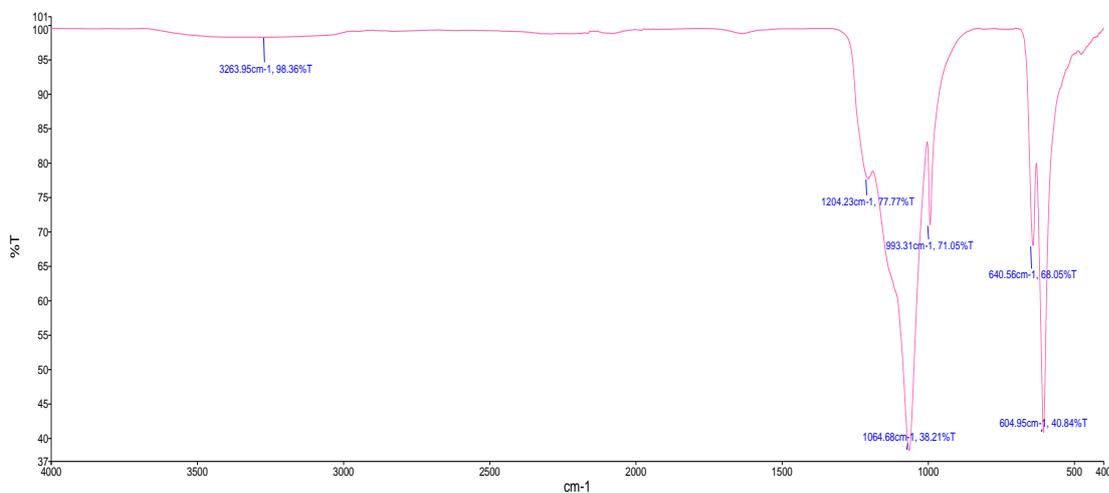
va 60,34% P₂O₅ konsentratsiyali eritmalar olindi, bunda oraliq cho‘kmalar ajratib olindi (2-jadval).

2-jadval.

Sulfatsizlantirilgan va bug‘latilgan EFKning kimyoviy tarkibi

EFKdagi P ₂ O ₅ konsentratsiyasi, %	Komponentlar tarkibi, og‘ir. %					
	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	F
Bug‘langan-sulfatsizlangan EFK						
45.62	0.63	0.60	1.01	1.39	0.21	0.42
50.01	0.69	0.63	1.08	1.54	0.24	0.40
55.25	0.75	0.73	1.23	1.68	0.28	0.38
60.34	0.82	0.78	1.34	1.83	0.30	0.32

Ta’kidlash joizki, EFKni 60% P₂O₅ konsentratsiyagacha bug‘latishda uning quyuqlashishi kuzatilmadi va u suyuq holatda qoldi. EFKni bug‘latish jarayonida esa erimaydigan tuzlarning sezilarli miqdorda cho‘kmaga tushishi sodir bo‘ldi. EFK konsentratsiyasi qancha yuqori bo‘lsa, temir va alyuminiy fosfatlari, magniy, kalsiy sulfat, magniy ftorid va boshqa birikmalar shuncha ko‘proq miqdorda cho‘kmaga ajraladi. EFKdagi P₂O₅ konsentratsiyasining ortishi cho‘kma hajmining ortishiga olib keladi, bu esa kationli aralashmalar (Sr, Ca, Na, K) fosfatlarining eruvchanligi kamayishi natijasida ularning kristallanishi bilan bog‘liqdir. Cho‘kma tarkibini o‘rganish uchun IQ-spektroskopik tahlil o‘tkazildi. Spekrda sulfat-ionlarning (SO₄²⁻) yutilish chiziqlari 604,95 va 640,56 sm⁻¹ da, shuningdek, fosfat-ionlarning (PO₄³⁻) yutilish chizig‘i 993,31 sm⁻¹ da kuzatildi, bu esa cho‘kmada mos keluvchi birikmalarning mavjudligini tasdiqlaydi.



1-rasm. SrSO₄ cho‘kmasining IQ spektroskopik tahlili

Tajribalarning keyingi bosqichida bug‘latilgan EFK 100% me’yorda Na₂CO₃ qo‘llash orqali quyidagi reaksiya asosida ftorlardan tozalandi.



Jarayon yakunlangach, EFK tarkibi ikki qismga ajratildi: tiniq yuqori qism (TYQ) va cho‘kma pastki qism (ChPQ). Ularning tarkibi 3-jadvalda keltirilgan bo‘lib, bu komponentlarning alohida fazalar bo‘yicha taqsimlanish darajasini tahlil qilish imkonini beradi.

3-jadval.

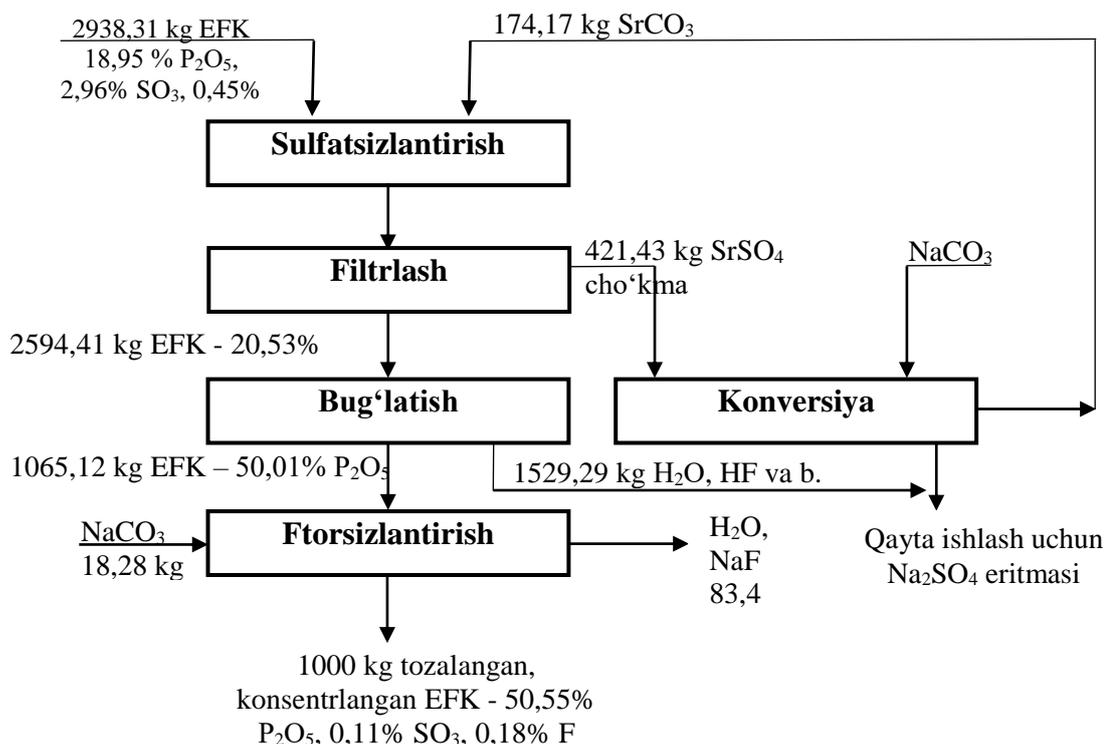
Ftorsizlantirilgan EFK namunalarining tarkibi

P ₂ O ₅ konsentratsiyasi, %	Komponentlarning tarkibi, og'ir. %					
	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	F
Ftorsizlantirilgan EFKning tiniq yuqori qismi (TYQ)						
46.01	0.03	0.39	0.79	0.4	0.09	0.19
50.55	0.03	0.33	0.41	0.37	0.11	0.18
55.65	0.004	0.52	0.27	0.32	0.14	0.20
59.41	0.026	0.41	0.38	0.24	0.17	0.18
Ftorsizlantirilgan EFKning cho'kma pastki qismi (ChPQ)						
43,61	2,20	0,73	6,27	7,46	0,52	4,06
49,61	0,97	2,04	3,37	1,91	0,50;	2,13
51,41	0,14	0,69	1,34	8,02	0,83	0,93
59,32	0,15	0,68	4,19	6,66	0,19	0,47

ChPQ namunalari tarkibida 43,61 dan 59,32% gacha P₂O₅, 0,14 dan 2,20% gacha CaO, 0,68 dan 2,04% gacha MgO, 1,34 dan 6,27% gacha Fe₂O₃, 1,91 dan 7,46% gacha Al₂O₃, 0,19 dan 0,83% gacha SO₃ hamda 0,47 dan 4,06% gacha ftor mavjud. Ular ammosning fosfor komponenti sifatida yoki mustaqil o'g'it sifatida xizmat qilishi mumkin. TYQ namunalari esa 46,01 dan 59,41% gacha P₂O₅ va 0,18-0,20% gacha ftorni o'z ichiga oladi hamda har qanday markadagi ozuqaviy kalsiy fosfatlarini olish uchun to'liq yaroqlidir.

EFK eritmalarining zichlik va qovushqoqlik ko'rsatkichlari ularning konsentratsiyasi va haroratiga bog'liq holda o'rganildi. Bug'latilgan EFKning oquvchanligini saqlab qolish va uning asosida konsentrlangan markadagi ozuqaviy kalsiy fosfatlarini olish maqsadida, bug'latilgan kislota konsentratsiyasi 55-60% P₂O₅ dan oshmasligi lozim. Ta'kidlash joizki, P₂O₅ konsentratsiyasi ortishi bilan EFK eritmalarining zichligi, qovushqoqligi hamda qaynash harorati mutanosib ravishda ortib boradi.

50,55% P₂O₅ saqlovchi 1 tonna tozalangan EFK olish uchun moddiy balans hisoblab chiqildi (2-rasm). 2938,31 kg (18,95% P₂O₅) boshlang'ich EFKni sulfatsizlantirish uchun 174,17 kg SrCO₃ talab etiladi, natijada 421,43 kg SrSO₄ cho'kmasi va 96,64 kg shlam hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan SrSO₄ cho'kmalarini Na₂CO₃ yordamida SrCO₃ ga aylantirib, sulfatsizlanish jarayoniga qaytarish mumkin. Konsentrlash bosqichida 1529,29 kg suv va gazlar bug'latilib, 50% P₂O₅ saqlovchi 1065,12 kg EFK olinadi. Na₂CO₃ bilan ftorni chiqarib tashlash jarayonidan so'ng 83,4 kg cho'kma hosil bo'ladi va yakunda 50,5% P₂O₅ saqlovchi 1000 kg konsentrlangan EFK olinadi. Ishlatilgan Na₂CO₃ esa o'z navbatida qimmatli mahsulotlarga - Na₂SO₄ va NaF yoki fosfat komponentlariga aylanadi. Ushbu jarayon P₂O₅ ni 90% dan ortiq miqdorda tozalangan va bug'latilgan kislota tarkibida olish imkonini beradi.



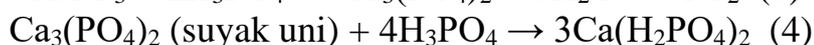
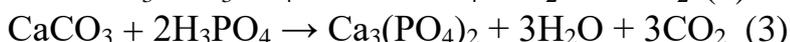
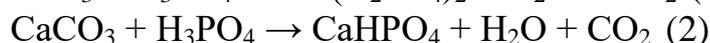
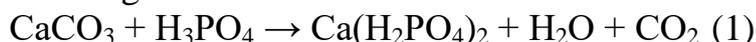
2-rasm. 50,5% P₂O₅ saqllovchi 1 tonna tozalangan va konsentrlangan EFK olish uchun xomashyo materiallari moddiy oqimi

Qizilqum EFKni bug'latish usuli yordamida tozalash va konsentrlashning texnologik sxemasi taklif etildi.

Shu tarzda olingan tozalangan va konsentrlangan EFK yuqori sifatga ega bo'lib, kalsiyli ozuqaviy fosfatlarini ishlab chiqarish uchun xomashyo sifatida tavsiya etiladi.

Dissertatsiyaning to'rtinchi "**Termik fosfat kislotasi, tozalangan va konsentratsiyalangan ekstraksiyon fosfat kislotasi hamda kalsiy saqllovchi xomashyo asosida ozuqaviy kalsiy fosfatlarini olish texnologiyasini ishlab chiqish**" bobida kalsiy karbonat, ohaktosh va 800°C da kuydirilgan suyak unini TFK va bug'latilgan EFK yordamida parchalash, granulalangan MKF, kukun shaklidagi DKF va TKF olish jarayonlari, tayyor mahsulotlarning fizik-kimyoviy va tovar xossalarini o'rganish, hisoblangan moddiy balanslar va turli markadagi ozuqaviy fosfatlarini ishlab chiqarish uchun taklif etilgan texnologik sxemalar, shuningdek yangi turdagi mahsulotlarni ishlab chiqarishning texnik-iqtisodiy samaradorligi keltirilgan.

Ohaktoshni termik va bug'latilgan fosfat kislotasi yordamida parchalanish jarayoni kislotaning 90%, 95% va 100% me'yorlariga muvofiq quyidagi reaksiyalar asosida amalga oshirildi:



MKF va DKF namunalari qaytarma (retur) rejimida, TKF esa qaytarma rejimsiz olinadi. Biroq, DKF va TKF kukun shaklida hosil bo'ladi. Qaytarma

mahsulot (<1 mm) CaCO₃ ning maksimal parchalanishiga, MKF granularining hosil bo'lish hajmi va mustahkamligining oshishiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. DKF ishlab chiqarishda qaytarma mahsulotni qo'llash esa ohak unining fosfat kislotasi bilan parchalanishini va tayyor mahsulotni quritishni intensivlashtirish talabidan kelib chiqadi.

Laboratoriya sharoitida yuqorida ko'rsatilgan P₂O₅ konsentratsiyasiga ega tozalangan EFK (3-jadval) yoki TFK va uning suyultirilgan eritmalari chinni stakanda, termostat ichida 80°C gacha qizdirildi. So'ng chinni stakanga zarur miqdorda ohak uni solindi.

Birinchi bosqichda retur mahsulot ishtirokida (tayyor mahsulot umumiy massasi bo'yicha 30-70%) turli P₂O₅ konsentratsiyalaridagi TFK va bug'latilgan EFK yordamida ohak unini parchalayotgan holda MKF donador namunalari olingan. Aniqlanishicha, fosfat kislotasi konsentratsiyasi qancha yuqori bo'lsa, donadorlash va quritishga yaroqli yumshoq massa olish uchun zarur vaqt shuncha qisqa bo'ladi. Shunday qilib, fosfat kislotasi turidan qat'i nazar, MKF hosil bo'lish reaksiyasini yakunlash uchun: 46,0% P₂O₅ konsentratsiyasida - 60 daqiqa, 50,5% P₂O₅ konsentratsiyasida - 10 daqiqa (TFK uchun - 5 daqiqa) va 60% P₂O₅ - 5 daqiqa vaqt talab qilindi. Keyin nam, yumshoq reaksiya massa intensiv aralashtirish va yumaloqlash usuli yordamida donadorlash jarayonidan o'tkazildi. Olingan MKF granulari 100°C da 4-6 soat davomida quritildi. Granulalarning mustahkamligi o'lchandi va kimyoviy tarkibi aniqlandi. Ta'kidlash lozimki, 46,0, 50,5 va 60% P₂O₅ konsentratsiyalari hamda qaytarma koeffitsientlari 1:0,3; 1:0,5 va 1:0,7 bo'lgan holda ohak unining TFK va tozalangan, bug'latilgan EFK bilan o'zaro ta'siri xususiyatlari bir xil bo'lib, farq faqat mahsulot tarkibidagi komponentlarning absolyut miqdorlarida namoyon bo'ladi. TFK uchun maqbul shartlar quyidagicha aniqlangan: konsentratsiya - 50,5% P₂O₅, me'yor - 95%, parchalanish vaqti - 5 daqiqa, qaytarma koeffitsienti - 1:0,5. Shu shartlarda olingan mahsulotning tarkibi (og'irlik %) quyidagicha: P₂O_{5o'zl.} - 53,42; P₂O_{5suv.} - 52,45; CaO_{o'zl.} - 21,85; CaO_{suv.} - 20,67; pH - 2,93, granulalarning mustahkamligi - 2,70 MPa (4-jadval).

Tozalangan, bug'latilgan EFKning 50,5% konsentratsiyasidan foydalangan holda, maqbul me'yori 95% va retur nisbati 1:0,5, parchalanish vaqti 10 daqiqa bo'ldi. Shu shartlarda olingan donadorlangan MKFning tarkibi (og'irlik %) quyidagicha: P₂O_{5o'zl.} - 50,45; P₂O_{5suv.} - 38,02; CaO_{o'zl.} - 21,14; CaO_{suv.} - 14,39; F - 0,16; pH - 3,16, granulalarning mustahkamligi - 2,13 MPa va fraktsiyasi (2-3 mm) kamida 85%, Ca(H₂PO₄)₂ hosil bo'lish darajasi - 95,96% (4-jadval).

Shunday ko'rsatkichlarga ega ozuqaviy MKFlar to'liq GOCT 23999-80 talablariga javob beradi va mos ravishda 1- va 2-sinfga kiradi. Ikkala holatda ham savdo fraktsiyasi (2-3 mm) 85% dan oshadi. P₂O₅ ning o'zlashuvchan va suvda eruvchan shakllari orasidagi farq mahsulotda DKF miqdorini belgilaydi, biroq TFK qo'llanganda u kam bo'ladi. DKF hosil bo'lishi MKFning gidroliz jarayoni bilan bog'liq bo'lib, quyidagi reaksiya bilan tavsiflanadi:

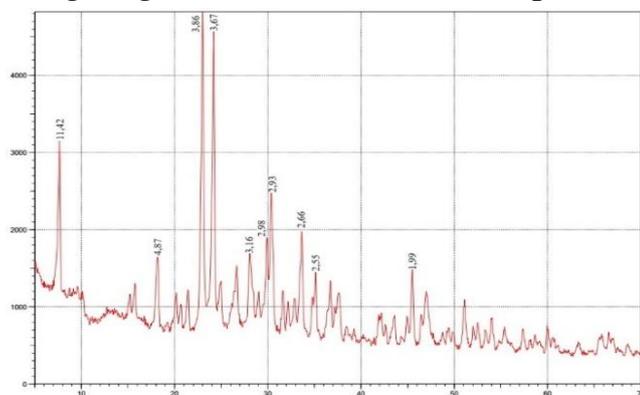


4-jadval.

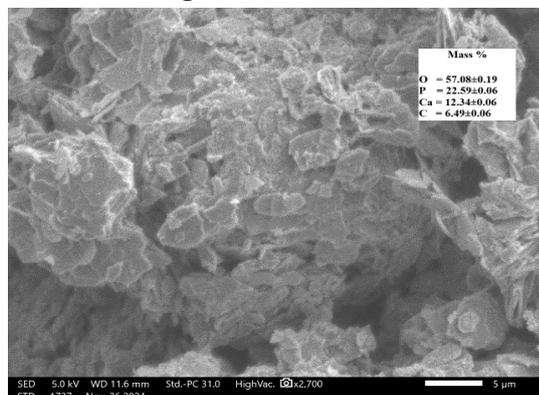
Donadorlangan MKF fosfor kislotasining turi va me'yoriga, shuningdek mahsulot:retur massaviy nisbatiga bog'liq holda (H_3PO_4 konsentratsiyasi - 50,5% P_2O_5 va retur nisbatining - 1:0,5)

H_3PO_4 , me'yori, %	Mahsulot 10% li eritmasining pH ko'rsatki-chi	W_{namlik} , %	Komponentlarning tarkibi, og'ir. %						Granula mustaxkamligi, MPa
			P_2O_5 o'zl. 0,4% HCl	P_2O_5 suv.	CaO umum.	CaO o'zl. 0,4% HCl	CaO suv.	F	
TFK yordamida									
100	2.94	5.32	53.22	53.17	21.11	20.89	20.34	otc.	1.95
95	2.93	4.11	53.16	51.59	21.87	21.84	20.69	otc.	2.56
90	2.86	2.56	52.97	48.92	22.96	22.89	20.89	otc.	2.66
tozalangan, bug'langan EFK yordamida									
100	2.93	1.26	50.86	41.08	20.03	19.26	14.68	0.17	1.86
95	3.16	1.30	50.55	38.02	21.60	21.14	14.39	0.16	2.13
90	3.29	1.16	49.28	37.66	21.02	20.63	14.03	0.15	2.24

3-rasmda tozalangan, bug'latilgan EFKdan olingan ozuqaviy MKFning rentgenogrammasi (a) va mikroskopik tasviri (b) keltirilgan.



a

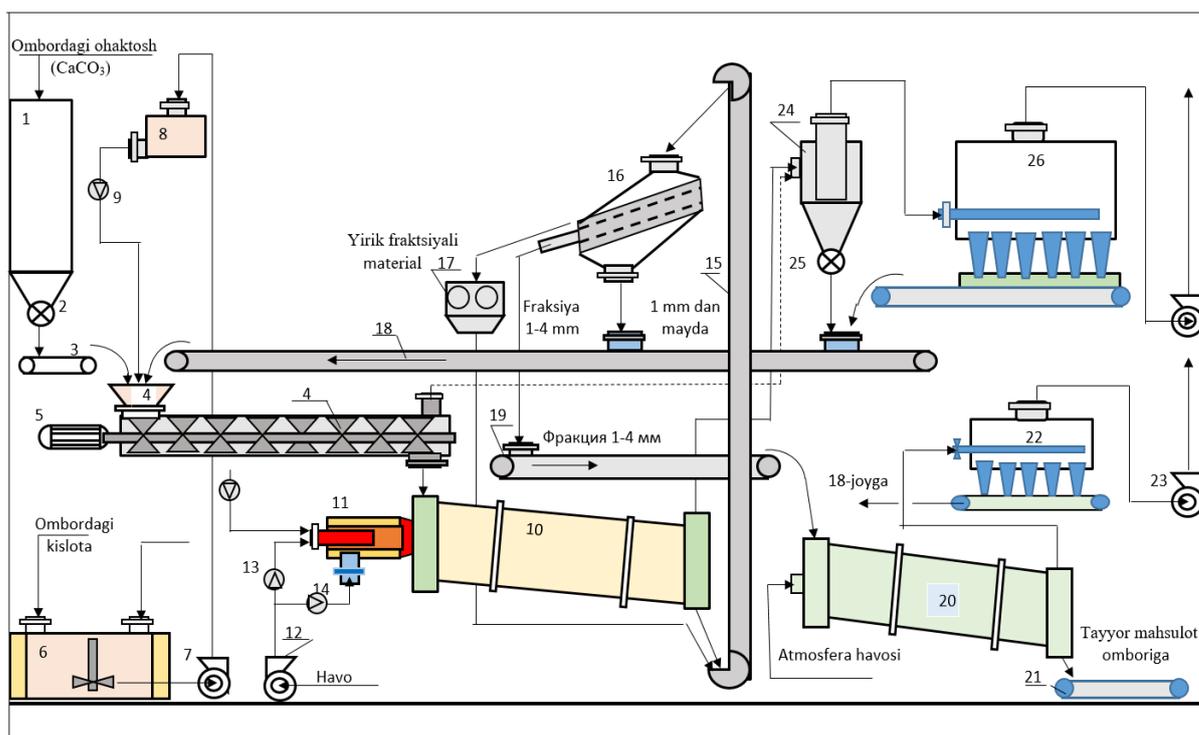


b

3-rasm. Ozuqaviy MKFning rentgenogrammasi (XRD, a) va skanerlovchi elektron mikroskopik tasviri (SEM, b).

Rentgenogrammada asosan monogidratli $Ca(H_2PO_4)_2$ ga xos difraksiyon maksimumlar mavjud – 11,42 (81%); 4,87 (50%); 3,86 (100%); 3,67 (81%); 3,38 (42%); 3,16 (35%); 2,93 (50%); 2,66 (31%); 2,58 (17%); 1,99Å (35%). Qolgan kamroq intensiv cho'qqilar $CaHPO_4$ ga tegishli bo'lsa-da, ularning miqdori juda oz. Kristallar esa monoklin prizmatik shakldagi oq kristallik modda ko'rinishida bo'ladi.

Biz tomonidan MKFning sanoat ishlab chiqarish texnologik sxemasi ishlab chiqildi (4-rasm). Ushbu sxema universal bo'lib, uni termik, shuningdek, tozalash va kontsentratsiyalash jarayonidan keyin ekstraksiyon fosfat kislotasidan foydalangan holda ham qo'llash mumkin. Kislotani ohaktosh yordamida qisqa vaqt ichida deyarli 100 foiz neytrallash darajasiga erishish uchun barcha boshlang'ich komponentlar (H_3PO_4 , $CaCO_3$ va mahsulotning retur qismi) jarayon yakuniga qadar kuchli aralashtirish sharoitida bir vaqtning o'zida reaksiyon zonaga uzatilishi lozim. Shunday qilib, butun jarayon bir bosqichda va bitta aralashtirgichda amalga oshiriladi.



4-rasm. Fosfat kislotasi va kalsiy saqllovchi xomashyodan ozuqaviy MKF ishlab chiqarishning asosiy texnologik sxemasi:

1 - Bunker-dozator; 2 - Shlyuzli oziqlantiruvchi (pitatel); 3 - Lentali oziqlantirgichli og'irlik dozatori; 4 - Yuqori tezlikdagi ikki valikli pichoqli aralashtirgich; 5 - Aralashtirgichning elektroprivodi; 6 - Ortofosfor kislotasi rezervuari; 7 - Markazdan qochma gorizontel nasos; 8 - Bosimli bak; 9 - Suyuqlik sarf o'lchagich; 10 - Qurituvchi baraban; 11 - Issiqlik generatori; 12 - Ventilator; 13,14 - Birlamchi va ikkilamchi havo sarf o'lchagichlari; 15 - Vertikal chelakli zanjirli elevator; 16 - Inersion elak (g'alvir); 17 - Valikli (yoki bolg'ali) maydalagich; 18, 19, 21 - Zanjirli va lentali konveyerlar; 20 - Barabanli sovtkich; 22, 26 - Qopli filtr; 23, 27 - Tortuvchi ventilyator; 24 - CN-15 turidagi quruq tozalash sikloni; 25 - Chang ushlovchi havo shlyuzi.

Taklif etilgan texnologik sxema hamda dissertatsiya ishida keltirilgan asosiy texnologik uskunalarning unumi yiliga 20 ming tonna ozuqaviy monokalsiyfosfat (MKF) ishlab chiqarish quvvatiga ega bo'lgan (100% P_2O_5 hisobida 10,4 ming tonna) zavod qurilmasining batafsil loyihasini ishlab chiqishda boshlang'ich ma'lumotlar bazasi sifatida qo'llanishi mumkin.

Bizning keyingi tadqiqotimizning maqsadi kuygan suyak unini TFK va tozalangan, bug'latilgan EFK bilan (40, 50 va 60% P_2O_5 konsentratsiyada) ishlov berish asosida ozuqaviy MKF olishdan iborat bo'ldi. Kislotaga muvofiq hisoblandi va stoxiometriyadan 80 dan 110% gacha o'zgartirildi. Tajribalar metodikasi avvalgi tajribalar bilan o'xshash tarzda amalga oshirildi.

Tajribalar jarayonida shuni kuzatdikki, 40% P_2O_5 saqllovchi H_3PO_4 qo'llanganda eng qulay sharoitlar yaratiladi: suyak unining maksimal darajada parchalanishi hamda oson donadorlash va quritishga yaroqli qovushqoqligi vaqtinchalik kamayuvchi (tikotropik) reaksiya massasining hosil bo'lishi. Mahsulotlarning tarkibi 5-jadvalda keltirilgan.

5-jadval.

Donadorlangan MKF fosfor kislotasining turi va me'yoriga, shuningdek mahsulot:retur massaviy nisbatiga bog'liq holda (H_3PO_4 konsentratsiyasi – 40% P_2O_5 va retur nisbatining - 1:0,5)

H_3PO_4 , me'yori, %	Mahsulot 10% li eritmasi- ning pH ko'rsat- kichi	W_{namlik} , %	Komponentlarning tarkibi, og'ir. %						
			$P_2O_{5o'zl}$, 0,4% HCl	P_2O_{5suv}	CaO_{umum}	$CaO_{5o'zl}$, 0.4% HCl	CaO_{suv}	MgO_{umum}	F
TFK yordamida									
110	3,95	2,05	55,12	52,19	22,07	21,95	19,11	0,11	0,048
105	4,01	1,96	53,69	50,88	22,34	22,20	18,83	0,12	0,049
100	4,07	1,65	53,46	50,09	22,57	22,53	17,77	1,15	0,05
95	4,15	1,26	52,8	47,82	23,45	23,16	16,37	1,16	0,051
90	4,12	1,15	52,46	44,63	23,87	23,12	15,33	1,19	0,054
85	4,18	1,07	51,98	40,80	23,99	23,55	14,09	1,23	0,056
80	4,51	1,01	50,86	38,40	24,45	24,22	13,79	1,28	0,058
tozalangan, bug'langan EFK yordamida									
110	3,19	1,34	51,19	42,86	23,25	23,17	16,46	0,23	0,17
105	3,25	1,24	50,75	42,08	23,65	23,51	16,26	0,22	0,17
100	3,29	1,13	49,87	41,77	24,33	24,13	16,05	0,22	0,16
95	3,37	0,91	49,52	41,56	24,89	24,66	15,91	0,21	0,16
90	3,43	0,83	49,04	40,68	25,19	25,08	15,73	0,20	0,15
85	3,47	0,75	48,82	40,11	25,71	25,55	15,24	0,19	0,14
80	3,66	0,64	48,73	39,37	26,44	26,36	13,99	0,18	0,13

Aniqlandiki, 80–105% miqdorda TFK qo'llanganda olingan mahsulotlar 2-navga, 110% miqdorda qo'llanganda esa 1-navli MKFga mos keladi.

Tozalangan va bug'latilgan EFKdan foydalanilganda fosfor bo'yicha nisbatan kamroq konsentratsiyali mahsulotlar hosil bo'ladi. MKF olish uchun kislotaning maqbul me'yori 105% bo'lib, returlanish koeffitsiyenti 1:0,7 ga teng. Monokalsiyfosfatning tarkibi (massa %): $P_2O_{5o'zl}$ - 50,75; P_2O_{5suv} - 42,08; CaO_{umum} - 23,65; $CaO_{o'zl}$ - 23,51; CaO_{suv} - 16,26; MgO - 0,22; F - 0,17; H_2O - 2,63; pH - 3,29 va ular mahsulotning 2-naviga kiradi. Biroq barcha mahsulotlar tarkibida F miqdori minimal bo'lib, 0,1-0,2% dan oshmaydi.

Keyingi bosqichda kukun holatida DKF va TKF olish jarayonlari TFK va tozalangan, bug'latilgan EFK yordamida ohaktosh unini qayta ishlash asosida o'rganildi. Bunda TFK 39,75; 50,58 va 60,3% P_2O_5 konsentratsiyalarida, EFK esa 48,01; 48,55; 55,65 va 59,41% P_2O_5 konsentratsiyalarida qo'llanildi. Shu bilan birga, kislotalar stexiometriyadan 90, 95 va 100% me'yorlarda olindi.

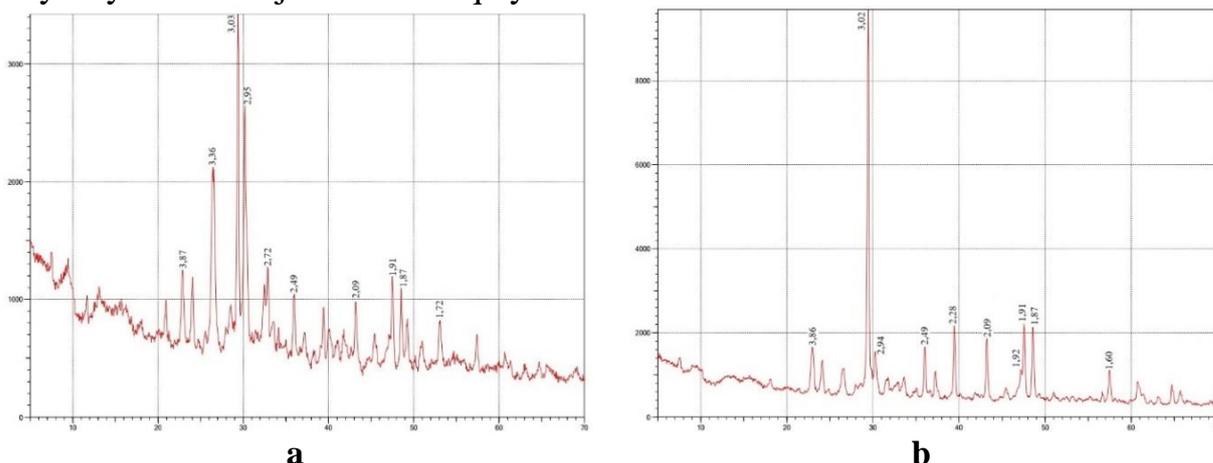
$CaCO_3$ va DKF retur aralashmalari zarur bo'lgan 1:1 nisbatda yaxshilab aralashtirildi. Ustidan 80°C haroratda 5-8 daqiqa davomida tomchilab fosfat kislotasi quyildi. Reaksiyon massa 1 soat davomida ushlab turildi (yetiltirildi). TKF namunalari tayyorlash uchun esa $CaCO_3$ kukunlariga tomchilab H_3PO_4 eritmalari qo'shildi va 10 daqiqa davomida intensiv aralashtirildi. Olingan DKF va TKF kukunlari 100-115 °C haroratda quritildi. Shunday qilib, har bir me'yor uchun mos mahsulotlar olindi.

Olingan ma'lumotlarni tahlil qilish asosida shunday xulosa qilish mumkinki, TFK uchun DKF olishning maqbul sharoiti 50,58% P_2O_5 konsentratsiya va 95% me'yor hisoblanadi. Bu holda mahsulot quyidagi tarkibga ega (og'ir. %): $P_2O_{5\text{umum}}$.

- 47,09; $P_2O_{5o'z}$ l. - 46,97; P_2O_{5suv} . - 4,14; CaO_{umum} . - 39,99; $CaO_{o'z}$ l. - 39,93; CaO_{suv} . - 5,04; H_2O - 0,37; pH - 5,31. TKF olish uchun esa 100% me'yorni va 50,58% P_2O_5 konsentratsiyani qabul qilish mumkin. Bunda mahsulot quyidagi tarkibga ega: P_2O_{5umum} . - 35,95%; $P_2O_{5o'z}$ l. - 35,22%; CaO_{umum} . - 44,49%; $CaO_{o'z}$ l. - 43,94%; H_2O - 2,19%. Uning pH qiymati = 7,7.

Shunga o'xshash holat tozalangan, bug'latilgan EFKdan foydalanilganda ham kuzatildi. Bu yerda DKF uchun maqbul me'yor va konsentratsiya 95% va 48,55%, TKF uchun esa 100% va 48,55% bo'lib, biroq nisbatan pastroq ko'rsatkichlarga ega bo'ldi. Birinchi mahsulotning tarkibi (og'ir. %): P_2O_{5umum} . - 40,01; $P_2O_{5o'z}$ l. - 39,66; P_2O_{5suv} . - 7,62; CaO_{umum} . - 32,35; $CaO_{o'z}$ l. - 32,14; CaO_{suv} . - 4,15; F - 0,13; pH = 4,07. Ikkinchi mahsulot tarkibi (og'ir. %): P_2O_{5umum} . - 29,48; $P_2O_{5o'z}$ l. - 29,28; CaO_{umum} . - 33,87; $CaO_{o'z}$ l. - 33,71; F - 0,12; pH = 5,22. Shunga qaramay, ularning barchasi tarkibi va xossalari jihatidan GOST 23999-80 talablariga javob beradi.

Rentgenogrammada DKF tarkibida $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $CaHPO_4$ va qisman $Ca_3(PO_4)_2 \cdot H_2O$ birikmalari aniqlangan (5-rasm, a). O'z navbatida, TKF tarkibida kalsiyfosfatli birikmalar - $Ca_3(PO_4)_2 \cdot H_2O$, $CaHPO_4$, $CaH_2P_2O_7$, shuningdek, oz miqdorda to'liq parchalanmagan $CaCO_3$ mavjudligi qayd etildi. Demak, ular kimyoviy tahlil natijalarini tasdiqlaydi.



5-rasm. Di- (a) va trikalsiyfosfatlarning (b) rentgenogrammalari (XRD).

Taklif etilgan texnologik sxema asosida DKF va TKF ishlab chiqarishning bir texnologik liniyada amalga oshirish imkoniyati ko'rsatildi hamda material balanslari hisoblab chiqildi. Ishlab chiqilgan turli markadagi ozuqaviy fosfatlarni olish texnologiyalari «Elektrokimyozavod» AK-QK sharoitida sinovdan o'tkazildi.

Shunday qilib, kimyoviy tahlil hamda fizik-kimyoviy tadqiqotlar (IQ-spektroskopiya, rentgenografiya va skanerlovchi elektron mikroskopiya) natijalariga ko'ra, asosiy mahsulotlar - MKF, DKF va TKFning tozaligi kamida 95-97% ni tashkil etishi aniqlandi.

1 tonna MKFning ishlab chiqarish tannarxi (tozalangan EFK va kalsiyli xomashyodan olingan holda) import mahsulotiga nisbatan 1,4-1,5 baravar arzon ekanligi aniqlandi (2025-yil 13-iyun holatiga ko'ra, bozor narxi 500-600 AQSh dollarini tashkil etadi). Shu bilan birga, 1 tonna DKFning tannarxi import analogiga qaraganda 1,5 baravar past ekanligi isbotlandi (bozor narxi 410-460 AQSh dollariga teng).

XVJIOCA

Dissertatsiya ishini bajarilishida olingan asosiy ilmiy va amaliy natijalar quyidagicha:

1. EFK (18,95% P_2O_5 , 2,96% SO_3 , 0,45% F) ni stronsiy karbonati yordamida sulfatdan tozalash jarayoni amalga oshirildi. Maqbul $SrCO_3$ miqdori 100% bo'lib, ushbu sharoitda EFKning sulfatdan tozalanish darajasi 97,34% ni tashkil etdi. Hosil bo'lgan $SrSO_4$ cho'kmasi Na_2CO_3 yordamida konvertatsiya qilinib, sulfatsizlantirish sikliga $SrCO_3$ ko'rinishida qaytariladi. Keyinchalik kislota bug'latish usuli bilan, qaynoq holatgacha (150-180°C) konsentratsiyalanadi. Biroq, bug'latilgan EFKning oquvchanligini (suyuqligini) saqlab qolish maqsadida P_2O_5 konsentratsiyasini 55-60% dan oshirmaslik lozim.

2. Bug'latilgan EFKni Na_2CO_3 yordamida ftorlardan tozalash jarayoni amalga oshirildi. Hosil bo'lgan cho'kmalar ammos fos tarkibiy qismi sifatida qo'llash uchun tavsiya etiladi. Bug'latilgan va tozalangan EFK esa 46,01-59,41% P_2O_5 hamda 0,18-0,20% F ni o'z ichiga oladi va u istalgan turdagi ozuqaviy fosfatlarni olish uchun to'liq yaroqlidir. Shuningdek, 1 tonna tozalangan EFK olish jarayonining moddiy balansi hisoblab chiqildi, bunda qo'shimcha ravishda qimmatli mahsulot - Na_2SO_4 hosil bo'ladi.

3. Termik fosfor kislotasi ishtirokida qaytarma mahsulot (<1 mm, retur) mavjud sharoitda ohaktosh unini parchalash orqali granulalangan ozuqaviy MKF olish jarayoni o'rganildi. Maqbul sharoitlar quyidagicha aniqlandi: H_3PO_4 konsentratsiyasi - 50,5% P_2O_5 , H_3PO_4 me'yori - 95%, parchalanish vaqti - 5 daqiqa, retur nisbatining - 1:0,5. Ushbu sharoitlarda olingan mahsulot quyidagi tarkibga ega (og'irlik %): $P_2O_{5o'zl.}$ - 53,42; $P_2O_{5suv.}$ - 52,45; $CaO_{o'zl.}$ - 21,85; $CaO_{suv.}$ - 20,67; pH = 2,93. Granula mustahkamligi - 2,70 MPa bo'lib, tovar fraksiyasi (2-3 mm) kamida 85% ni tashkil etadi.

4. Tozalangan va bug'latilgan EFK hamda ohaktosh uni asosida MKF olish jarayoni o'rganildi. Biroq, $Ca(H_2PO_4)_2$ hosil bo'lish reaksiyasining to'liq yakunlanishi uchun 10 daqiqa talab etiladi. TFK qo'llanilganda, olingan mahsulot ($P_2O_{5o'zl.}$ - 53,42%) GOST 23999-80 talablariga ko'ra 1-navli mahsulotga mos keladi. Tozalangan EFK ishlatilgan holatda esa bu ko'rsatkich ($P_2O_{5o'zl.}$ - 50,45%) 2-navli mahsulotga to'g'ri keladi. Ularning kristallari oq rangli, monoklin prizmatik shakldagi kristall modda ko'rinishidadir.

5. 800°C da kuydirilgan suyak uni asosida TFK va tozalangan, bug'latilgan EFK bilan ishlov berish orqali ozuqaviy MKF olish imkoniyati ko'rsatildi. 40% P_2O_5 miqdorli H_3PO_4 qo'llanilganda suyak unining maksimal darajada parchalanishi hamda granulatsiya va quritishga qulay bo'lgan tiksotropik reaksiya massasi hosil bo'lishi kuzatildi. Barcha namunalarda ftor miqdori minimal bo'lib, 0,1-0,2% dan oshmaydi.

6. Ohaktosh uniga asoslangan holda TFK hamda tozalangan va bug'latilgan EFK bilan ishlov berish orqali kukunsimon DKF va TKF olish jarayonlari o'rganildi. Aniqlanishicha, DKF olish uchun har qanday turdagi kislota bo'yicha maqbul me'yor 95%, TKF uchun esa 100% bo'lib, ularning konsentratsiyasi 50% P_2O_5 dan oshmasligi lozim. Olingan DKF tarkibida 40%, TKF tarkibida esa 30% $P_2O_{5o'zl.}$ mavjud bo'lib, ular GOST 23999-80 talablariga to'liq javob beradi.

7. Granulalangan MKF, kukunsimon DKF va TKF ishlab chiqarish uchun texnologik sxemalar taklif etildi hamda ularning moddiy balanslari hisoblab chiqildi. Turli markadagi ozuqaviy fosfatlarni olish bo'yicha ishlab chiqilgan texnologiyalar «Elektrokimyozavod» AK-QKda sinovdan o'tkazildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/13.06.2025.Т.106.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ФЕРГАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ФЕРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

ХОШИМОВ ИЛХОМЖОН ЭРКИН УГЛИ

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВЫХ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ
НА ОСНОВЕ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ И
КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

02.00.13 – Технология неорганических веществ и материалов на их основе

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Фергана – 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована под номером B2025.1.PhD/T5240. Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан.

Диссертационная работа выполнена в Институте общей и неорганической химии.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу www.ionx.uz и Информационно-образовательном портале «ZiyoNET» по адресу www.ziynet.uz.

Научный руководитель:	Сейтназаров Атаназар Рейпназарович доктор технических наук, академик
Официальные оппоненты:	Тожиев Рустамбек Расулович доктор технических наук, профессор Reymov Axmed Mambetkarimovich доктор технических наук, профессор, академик
Ведущая организация:	Наманганский государственный технический университет

Защита состоится «8» января 2026 г. в 10:00 часов на заседании Научного совета DSc.03/13.06.2025.T.106.04 при Ферганском государственном техническом университете (адрес: 150100, г. Фергана, ул. Фергана, дом 86. Тел.: (+99873) 241-12-06; e-mail: info@fstu.uz).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Ферганского государственного технического университета за № №_____, с которой можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре (адрес: 150100, г. Фергана, ул. Фергана, дом 86. Тел.: (+99873) 241-12-06; e-mail: info@fstu.uz).

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2025г.

(реестр протокола рассылки №____ от « ____ » _____ 2025г.)

З.А. Хамракулов
Председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., доц.

Ғ.Р. Мирзакулов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней,
PhD.

З.К. Дехканов
Председатель Научного семинара при
Научном совете по присуждению
ученых степеней, д.т.н., проф.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. С ростом численности населения мира ключевую роль приобретает развитие сектора животноводства, птицеводства и рыбоводства, способствующие наращиванию объема и повышению качества продуктов питания, тем самым обеспечению продовольственной безопасности и экономический рост любой страны. Эти факторы вызывает необходимость более интенсивного применения в сельском хозяйстве премиксов и кормовых фосфатов, в том числе моно-, ди-, моноди- и трикальцийфосфатов (МКФ, ДКФ, МДКФ и ТКФ), как в порошкообразном, так и гранулированном виде, причем в мировом масштабе доля гранулированного МКФ неуклонно растет. С этой точки зрения, внедрение в производство высокоэффективных технологии получения кормовых фосфатов на основе местных сырьевых ресурсов является актуальной задачей.

В настоящее время в мире активно ведутся научно-исследовательские работы, направленные на разработку технологии производства различных марок кормовых фосфатов натрия, калия и кальция. В этой связи особое внимание уделяется нахождению оптимальных условий очистки – обессульфачивания и обесфторивания низкокачественной экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК); упаривания очищенной ЭФК до требуемых концентрации; разложения известняковой муки и костной муки с помощью термической фосфорной кислоты (ТФК) и очищенной, упаренной ЭФК с получением кормовых фосфатов кальция; разработке технологии получения различных марок кормовых фосфатов кальция – МКФ, ДКФ и ТКФ на основе переработки известняковой муки и обожженной костной муки, как термической, так и очищенной, к тому же концентрированной ЭФК.

В республике на основе реализации широкомасштабных научно-исследовательских работ и инновационных разработок достигнуты существенные результаты в области производства минеральных и органоминеральных удобрений, а также кормовых фосфатов аммония на основе местных сырьевых ресурсов. В третьем направлении новой стратегии развития Узбекистана на 2022-2026 годы отмечены важные задачи, такие как «...продолжение реализации промышленной политики, направленной на обеспечение стабильности национальной экономики, увеличение доли промышленности в валовом внутреннем продукте и увеличение объема промышленного производства в 1,4 раза...¹». В этом аспекте важное значение имеет разработка технологии очистки и концентрирования ЭФК, получения кормовых МКФ, ДКФ и ТКФ на основе ТФК и концентрированной ЭФК, природной известняковой и обожженной костной муки.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового

¹ Указ Президента Республики Узбекистан УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

Узбекистана на 2022-2026 годы» и УП-169 от 12 октября 2023 года «О дополнительных мерах по ускоренному развитию промышленности и её базовых отраслей» и Постановлениях Президента Республики Узбекистан ПП-4005 от 6 ноября 2018 года «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию рыболовецкой отрасли», ПП-120 от 08 февраля 2022 года «Об утверждении Программы развития сферы животноводства и ее отраслей в Республике Узбекистан на 2022-2026 годы», ПП-4992 от 13 февраля 2021 года «О мерах по дальнейшему реформированию и финансовому оздоровлению предприятий химической промышленности, развитию производства химической продукции с высокой добавленной стоимостью», а также других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Настоящее исследование выполнено в соответствии с VII приоритетным направлением развития науки и технологии Республики «Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы: В научно-технической литературе имеются сведения по очистке ЭФК различными методами, как нейтрализация, выпаривание, отдувка, ионообмен, сорбция, охлаждение и кристаллизация, экстракция с помощью органических растворителей (М.Е. Позин, Н.Н. Бушуев, Е.П. Злобина, Namza Wiem, К. Гафуров, Н. Бахриддинов, Х.Ч. Мирзакулов, Т.И. Нурмуродов, С.П. Кочетков, А.П. Ильин, В.Ф. Искулов, Б.М. Беглов, Ш.С. Намазов, Б.Н. Каршиев и другие).

Для ЭФК из Хибинского апатита процесс обесфторивания идет максимально при отдувке летучих (фтористых) соединений газообразными теплоносителями, однако для кислот из фосфоритов Каратау и Кызылкумов это затруднительно, вследствие образования коллоидного раствора MgF_2 , при его охлаждении система загустевает в вязкую гелеобразную малоподвижную массу (М.Е. Позин, С.П. Кочетков, К. Гафуров). А выделение фтора из ЭФК в виде кремнефторидов щелочных металлов в промышленности не нашло широкого применения из-за высоких норм расхода дефицитных и дорогостоящих солей щелочных металлов (Н.Н. Бушуев, Е.П. Злобина, И.А. Петропавловский). Одним из методов очистки ЭФК от фтора, кальция, магния, железа и других примесей является ионообменный (Л.Н.Филатова, X.Duan, C.Wang, T.Wang). Но этот метод ЭФК не используется в промышленности по двум причинам: 1) низкая производительность; 2) сложность переработки слабых растворов после регенерации ионитов. Эффективным методом очистки ЭФК от примесей можно отнести экстракцию органическим растворителем, например трибутилфосфатом (В.М. Лембриков, Л.В. Коняхина, В.В. Волкова). Но высокая стоимость растворителя делает процесс менее экономичным. К тому же его производство в Узбекистане нет. Для предварительной стадии очистки – обессульфачивания можно применить кальциевые минералы, как $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$ либо фосфатное сырье, содержащее сводный кальций (Б.Н.Каршиев, Х.Ч. Мирзакулов, Н.Н.Бушуев). Но при этом степень обессульфачивания не превышает 85%. Наиболее глубокое

обессульфачивание можно достичь с использованием BaCO_3 (Х.Ч. Мирзакулов, М.А. Шаймарданова, Г.Э. Меликулова). Однако применение солей бария связано с опасностью, обусловленной их токсичностью.

Имеется много информации о технологиях получения кормовых фосфатов кальция (М.А. Константиновская, Б.В. Левин, Н.М. Литусова, В.И. Родин, А.М. Кержнер, Y. Zhou, S. Xiao, S. Yang, Matthew T. Kane, Eddy Fontana, Х.Ч. Мирзакулов, Г.Э. Меликулова, М.А. Шаймарданова, П.М. Зайцев). Н.М. Литусовой разработана способ получения гранулированных кормовых МКФ, МДКФ и ДКФ в гранулированном виде с применением апатитовой ЭФК, обесфторенной с помощью диоксида кремния. Однако в ней использована разбавленная до 25-26% P_2O_5 фосфорная кислота, что приведет за собой дополнительной теплоэнергии в процессе сушки для удаления избыточного количества воды. Г.Э. Меликуловой предложена технология получения гранулированного МКФ на основе глубоководной от ионов SO_4^{2-} ; F^- ; Al^{3+} и Fe^{3+} ЭФК с использованием CaCO_3 , BaCO_3 , Na_2CO_3 и NH_3 . В ней ретурный продукт возвращается не в шнековый смеситель, где происходит процесс разложения CaCO_3 , а сушильный барабан. Это не обеспечивает грануло-образование и прочность гранул продукта. Для повышения эффективности процессов обессульфачивания необходимо применить менее токсичный материал – SrCO_3 . В этом случае образующийся осадок SrSO_4 конвертируется с помощью Na_2CO_3 и возвращается в цикл обессульфачивания, а раствор Na_2SO_4 является ценным продуктом. А для получения прочных гранул МКФ процесс разложения кальциевых материалов концентрированной фосфорной кислотой необходимо провести в присутствии ретурного продукта.

Связь диссертационного исследования с планами научных исследований высшего или научно-исследовательского учреждения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках бюджетного проекта научно-исследовательского плана Института общей и неорганической химии на тему «Создание научных основ разработки “зелёных” технологий получения новых видов минеральных и органоминеральных удобрений, кормовых фосфатов, а также гидроксида магния на основе местного сырья».

Цель исследования является разработка технологии очистки экстракционной фосфорной кислоты и получения кормовых кальциевых фосфатов на основе термической и очищенной фосфорной кислоты и кальцийсодержащего сырья.

Задачи исследования: литературный анализ существующих способов очистки ЭФК от примесей и получения кормовых фосфатов кальция;

исследование процесса получения гранулированного кормового МКФ, порошкообразных ДКФ и ТКФ на основе термической фосфорной кислоты и известняковой муки в зависимости от стехиометрических норм кислот;

исследование процессов обессульфачивания и обесфторивания ЭФК с помощью SrCO_3 и Na_2CO_3 , соответственно с последующим

концентрированием очищенной кислоты методом упаривания. Изучение реологических характеристик (плотность, вязкость) очищенной ЭФК;

изучение процессов получения МКФ, ДКФ и ТКФ на основе очищенной, концентрированной ЭФК и известняковой муки;

разработка технологической схемы процесса очистки и упаривания ЭФК и материального баланса производства концентрированной ЭФК;

исследование процесса получения гранулированного кормового МКФ на основе термической и очищенной, концентрированной ЭФК и обожженной костной муки;

разработка технологических схем и материальных потоков процессов получения гранулированного МКФ, порошкообразных ДКФ и ТКФ, кормового назначения.

Объектом исследования является термическая и экстракционная фосфорная кислоты, очищенные, концентрированные растворы ЭФК, карбонат кальция, известняковая мука, обожженная костная мука, гранулированный МКФ, порошкообразные ДКФ и ТКФ.

Предметом исследования являются процессы очистки ЭФК с использованием карбоната стронция и карбоната натрия; концентрирования очищенной ЭФК методом выпаривания; получения гранулированных МКФ путём разложения карбоната кальция, известняковой муки и прокалённой костной муки ТКФ и ЭФК; а также получения ДКФ и ТКФ путём кислотного разложения карбоната кальция и известняка.

Методы исследования. В работе использованы аналитические (фотоколориметрический, титриметрический) и физико-химические (SEM-EDS – сканирующий электронный микроскоп, рентгенографический, ИК-спектроскопический,) методы анализа.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

определены оптимальные условия десульфатации ЭФК, обеспечивающие получение гранулированных и порошкообразных МКФ, ДКФ и ТКФ;

установлены оптимальные условия снижения содержания фтора в десульфатированной ЭФК с использованием Na_2CO_3 , обеспечивающие очистку ЭФК по фтору с 0,45 % до 0,18 %;

найлены оптимальные условия получения гранулированных кормовых МКФ, включающие концентрацию ЭФК 50 % P_2O_5 , степень чистоты H_3PO_4 - 95 %, продолжительность разложения - 15 минут и долю возврата, составляющую 50 % массы готового продукта;

исследованы процессы получения ДКФ в режиме с возвратом и ТКФ в безвозвратном режиме при использовании термической или очищенной H_3PO_4 с концентрацией 95 % и 100 % соответственно;

показана принципиальная возможность получения кормовых МКФ путём одностадийной переработки прокалённой костной муки с ТКФ и очищенной ЭФК в одном аппарате при соотношении возврата 1:0,7;

разработаны технологии получения гранулированных МКФ, а также порошкообразных ДКФ и ТКФ на основе ЭФК, ТФК, чистого карбоната кальция, известняка и костной муки.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана технология получения очищенной и концентрированной ЭФК с использованием карбонатов стронция и натрия, а также метода выпаривания;

разработана технология получения гранулированных кормовых МКФ на основе термической и очищенной ЭФК и известняковой муки;

разработана технология получения порошкообразных ДКФ и ТКФ на основе термической и очищенной ЭФК и известняковой муки;

разработана технология получения кормовых МКФ на основе переработки термической и очищенной ЭФК с прокалённой костной мукой;

предложенные технологии апробированы на опытных установках СП-АО «Elektrokimyo zavod», при этом получены опытные партии МКФ, ДКФ и ТКФ.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов химических и физико-химических исследований подтверждена получением экспериментальных данных в лабораторных условиях с использованием опытно-промышленных и современных физико-химических методов анализа, а также апробацией технологий получения кормовых кальцийфосфатов на опытно-промышленных установках в производственных условиях СП-АО «Электрокимёзавод».

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования определяется тем, что они заложили основу процессов очистки ЭФК от сульфатных и фторидных ионов с применением карбонатов стронция и натрия, упаривания, получения гранулированного МКФ, порошкообразных ДКФ и ТКФ на основе разложения известняковой и обожженной костной муки термической фосфорной кислотой и очищенной, концентрированной ЭФК.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработанные технологии могут обеспечить производство кормовых фосфатов, отвечающих требованиям ГОСТ 23999-80. Разработанные технологии может быть применена при проектировании новых видов импортозамещающих продуктов, предназначенных для животноводства, птицеводства и рыбоводства, которые служат для обеспечения продовольственной безопасности страны.

Внедрения результатов исследования. На основе полученных научных результатов по разработке технологии получения гранулированного МКФ, порошкообразных ДКФ и ТКФ на основе термической либо очищенной фосфорной кислот и известняковой муки:

Технология очистки ЭФК и получения гранулированных МКФ на основе известняка и костной муки включена в перечень перспективных разработок СП-АО «Elektrokimyo zavod» на 2026-2030 годы (справка № 63 от 16 июня 2025 года). В результате создаётся возможность организации

производства гранулированных МКФ годовой мощностью 20 тыс. тонн (в пересчёте на 100 % P₂O₅ - 10,4 тыс. тонн), а также обеспечения устойчивого развития животноводческой отрасли.

Технология получения кальцийсодержащих кормовых ДКФ и ТКФ на основе очищенной ЭФК и известняковой муки также включена в перечень перспективных разработок СП-АО «Elektrokimyozavod» на 2026-2030 годы («Справка № 63 от 16 июня 2025 года»). Реализация данной технологии позволяет получать фосфорно-кальциевые кормовые добавки, предназначенные для развития отраслей животноводства, птицеводства, рыбоводства, а также ряда других направлений производства мясной продукции.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы были апробированы и обсуждены на 5 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертационной работы опубликовано всего 18 научных работ, из них 10 научных статей, в том числе, 5 в зарубежных и 3 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций (PhD).

Структура и объем диссертации. Структура диссертационной работы состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, условных обозначений и приложений. Объем диссертации составляет 119 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность работы, сформулированы цель и задачи исследования, характеризуются объект и предметы исследования, показано соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты, указана степень внедрения результатов в практику, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ методов очистки экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) и получения на её основе кормовых кальциевых фосфатов»** говорится о роли кормовых фосфатов на мировом масштабе, проанализированы способы получения и свойств моно-, ди- и трикальцийфосфатов (МКФ, ДКФ, ТКФ) и основные технологические стадии их производства, а также стандартные технические требования к готовым продуктам. Характеризуется эффективность применения кормовых фосфатов кальция в животноводстве. Показано роль костной муки и на её основе кормовых фосфатов в питании сельскохозяйственных животных и птиц. Описаны методы очистки ЭФК для получения кормовых фосфатов и высокомарочных фосфатных солей. На

основе анализа литературных данных сформулирована цель и задачи исследования.

Во второй главе диссертации **«Характеристики основных сырьевых и вспомогательных материалов, используемых при получении кормовых фосфатов»** приведены состав и свойства ЭФК, известняковой и костной муки. Описаны методики химических и физико-химических анализов исходного сырья и готовых продуктов. Для разложения известняковой и костной муки первоначально использовалась ТФК с концентрацией 60,3% P_2O_5 . С целью получения образцов МКФ, ДКФ и ТКФ из очищенной, концентрированной фосфорной кислоты, исходную ЭФК производства АО «Аmmofos-Махам» состава 18,95% P_2O_5 , 0,45% F, 0,27% CaO, 0,26% MgO, 0,41% Fe_2O_3 , 0,56% Al_2O_3 , 2,96% SO_3 обессульфачивали карбонатом стронция марки «хч» (не менее 98% $SrCO_3$) и обесфторивали карбонатом натрия (не менее 98% Na_2CO_3). А конверсию $SrSO_4$ с целью возврата стронция в технологический цикл обессульфачивания в качестве реагента использовали также Na_2CO_3 . Концентрирование очищенной ЭФК проводили до концентрации 40-60% P_2O_5 методом упаривания. Из кальциевых материалов вовлекали карбонат кальция (99,5% $CaCO_3$), известняка Гузганского месторождения (Навоийск. обл.): 55,29% CaO, 43,44% CO_2 , 0,58% MgO, 0,20% SO_3 и обожженную при 800°C костную муку с содержанием 41,02% P_2O_5 и 50,68% CaO, 2,65% MgO, 0,113% F, $\rho - 1,681 \text{ г/см}^3$. Костная мука состоит преимущественно из $Ca_3(PO_4)_2$.

Химический состав сырья и готовых продуктов определяли по стандартным методикам и ГОСТ 23999-80. Гранулометрический состав МКФ определяли ситовым, гигроскопичность эксикаторным методами, а прочность по ГОСТ 21560.2-82. Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре “Panalytical Empyrean” (Нидерланды), ИК-спектр с помощью спектрометра Perkin Elmer (диапазон 4000-450 см^{-1}). Микроструктуру поверхности измеряли на сканирующем электрон-микроскопе SEM-EVO MA 10 (Zeiss, Германия).

В третьей главе диссертации **«Исследование процессов очистки и концентрирования экстракционной фосфорной кислоты»** изучены физико-химические и реологические свойства ЭФК, влияющие на ход реакций. Для опытов была использована производственная ЭФК, состав которой приведена в предыдущей главе. Для осаждения сульфатных ионов ЭФК норму $SrCO_3$ рассчитывали от 95 до 105% по реакции:



Исходная ЭФК загружалась в реактор с винтовой мешалкой и подвергалась подогреву в водяном термостате до 75°C. Затем к ней постепенно дозировалось расчётное количество порошка $SrCO_3$. При этом длительность процесса перемешивания составляла 30 мин. По истечению заданного промежутка времени содержимое реактора отстаивалось в течение 60 мин. при 60-65°C. Далее осадки отделяли от обессульфаченной ЭФК методом фильтрации, высушивали и взвешивали. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Состав и степень обессульфачивания экстракционной фосфорной кислоты в зависимости от нормы карбоната стронция

Норма SrCO ₃ , %	ЭФК, вес. %		Содержание P ₂ O ₅ в сухом осадке, %	Степень обессульфачивания ЭФК, %
	P ₂ O ₅	SO ₃		
95	20,86	0,15	0,71	96,17
97,5	20,86	0,13	0,73	96,48
100	20,53	0,10	0,79	97,34
102,5	21,04	0,10	0,82	97,36
105	21,39	0,10	0,91	97,37

Оптимальной нормой SrCO₃ оказалась 100%, при ней достигается приемлемая степень обессульфачивания ЭФК (97,34%). Дальнейшее увеличение дозировки не приводит к заметному возрастанию данного показателя.

Обессульфаченная ЭФК имеет 20,53% P₂O₅, 0,28% CaO, 0,27% MgO, 0,45% Fe₂O₃, 0,62% Al₂O₃ и 0,10% SO₃. Для получения растворов различной концентрации P₂O₅, кислота подверглась выпариванию под атмосферным давлением. Процесс упаривания осуществлялся в трубчатом кварцевом реакторе, оснащённой кварцевой мешалкой. Кислоту выпаривали при температурах 150, 160, 165 и 180°C (вплоть до кипения), в результате получены растворы, соответственно с концентрацией 45,62; 50,01; 55,25 и 60,34% P₂O₅ с промежуточным отделением осадков (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав обессульфаченной и упаренной ЭФК

Концентрация P ₂ O ₅ в ЭФК, %	Содержание компонентов, вес. %					
	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	F
Сульфатированной и упаренной ЭФК						
45,62	0,63	0,60	1,01	1,39	0,21	0,42
50,01	0,69	0,63	1,08	1,54	0,24	0,40
55,25	0,75	0,73	1,23	1,68	0,28	0,38
60,34	0,82	0,78	1,34	1,83	0,30	0,32

Необходимо отметить, что при упарке ЭФК вплоть до концентрации 60% P₂O₅ не наблюдалось её загустевание, и она находилась в текучем состоянии. При упарке ЭФК происходит выпадение значительного количества осадков нерастворимых солей. Чем выше концентрация ЭФК, тем большей степени выпадает в осадок фосфатов железа и алюминия, магния, сульфата кальция, фторида магния и др. Повышение концентрации P₂O₅ в ЭФК вызывает увеличение объема осадка, что связано с кристаллизацией фосфатов катионных примесей (Sr, Ca, Na, K) из-за снижения их растворимости. Для изучения состава осадка проведён ИК-спектроскопический анализ. Спектр показал полосы поглощения сульфат-ионов (SO₄²⁻) при областях 604,95 и 640,56 см⁻¹, а также фосфат-ионов (PO₄³⁻) в области 993,31 см⁻¹, что подтверждает присутствие соответствующих соединений в осадке.

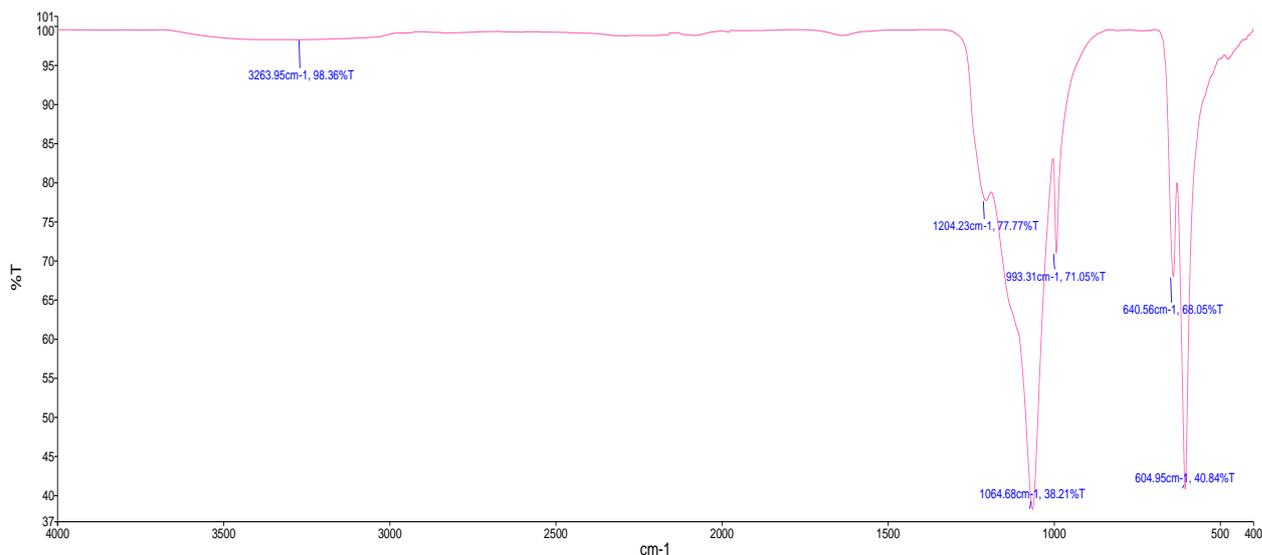


Рис. 1 - ИК-спектр осадка SrSO₄

На последующем этапе экспериментов произведен обесфторивания упаренных ЭФК со 100 %-ной нормой Na₂CO₃ по реакции.



По завершении процесса содержимое ЭФК разделялось на две части: прозрачную верхнюю (ПВЧ) и осадочную нижнюю части (ОНЧ). Их состав приведен в табл. 3, что позволяет проанализировать степень распределения компонентов по отдельным фазам.

Таблица 3

Состав образцов обесфторенной фосфорной кислоты и их осадков

Концентрация P ₂ O ₅ , %	Содержание компонентов, масс. %					
	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	F
Прозрачная верхняя часть (ПВЧ) дефторированной ЭФК						
46.01	0.03	0.39	0.79	0.4	0.09	0.19
50.55	0.03	0.33	0.41	0.37	0.11	0.18
55.65	0.004	0.52	0.27	0.32	0.14	0.20
59.41	0.026	0.41	0.38	0.24	0.17	0.18
Осадочная часть (ОЧ) дефторированной ЭФК						
43,61	2,20	0,73	6,27	7,46	0,52	4,06
49,61	0,97	2,04	3,37	1,91	0,50;	2,13
51,41	0,14	0,69	1,34	8,02	0,83	0,93
59,32	0,15	0,68	4,19	6,66	0,19	0,47

Образцы ОНЧ содержат от 43,61 до 59,32% P₂O₅, от 0,14 до 2,20% CaO, от 0,68 до 2,04% MgO, от 1,34 до 6,27% Fe₂O₃, от 1,91 до 7,46% Al₂O₃, от 0,19 до 0,83% SO₃ и от 0,47 до 4,06% F. Они служат фосфорным компонентом аммофоса или самостоятельным удобрением. А образцы ПВЧ содержат от 46,01 до 59,41% P₂O₅ и от 0,18 до 0,20% F, вполне пригодных для получения любых марок кормовых фосфатов кальция.

Показатели плотности и вязкости растворов ЭФК изучены в зависимости от их концентрации и температуры. С целью сохранения текучести упаренной ЭФК и получения на её основе концентрированных

марок кормовых фосфатов кальция, концентрация упаренной кислоты должен быть не выше 55-60% P_2O_5 . Следует отметить, что с увеличением концентрации P_2O_5 пропорционально повышается плотность, вязкость и температура кипения её растворов ЭФК.

Рассчитан материальный баланс для получения 1 тонны очищенной ЭФК с содержанием 50,55% P_2O_5 (рис. 2). Для обессульфачивания 2938,31 кг исходной ЭФК (18,95% P_2O_5) необходима 174,17 кг $SrCO_3$, в результате образуется 421,43 кг осадка $SrSO_4$ и 96,64 кг шлама. Образующийся осадок $SrSO_4$ с помощью Na_2CO_3 конвертируется в $SrCO_3$ и возвращает в цикл обессульфачивания. На стадии концентрирования ЭФК упаривается 1529,29 кг воды и газов с получением 1065,12 кг ЭФК с содержанием 50% P_2O_5 . После обесфторивания с Na_2CO_3 образуется 83,4 кг осадка, и в итоге получается 1000 кг концентрированной ЭФК с содержанием 50,5% P_2O_5 . Израсходованный Na_2CO_3 в свою очередь превращается в ценнейшие продукты – Na_2SO_4 и NaF либо фосфатные компоненты. Такой процесс обеспечивает свыше 90% извлечения P_2O_5 в очищенную и упаренную кислоту.

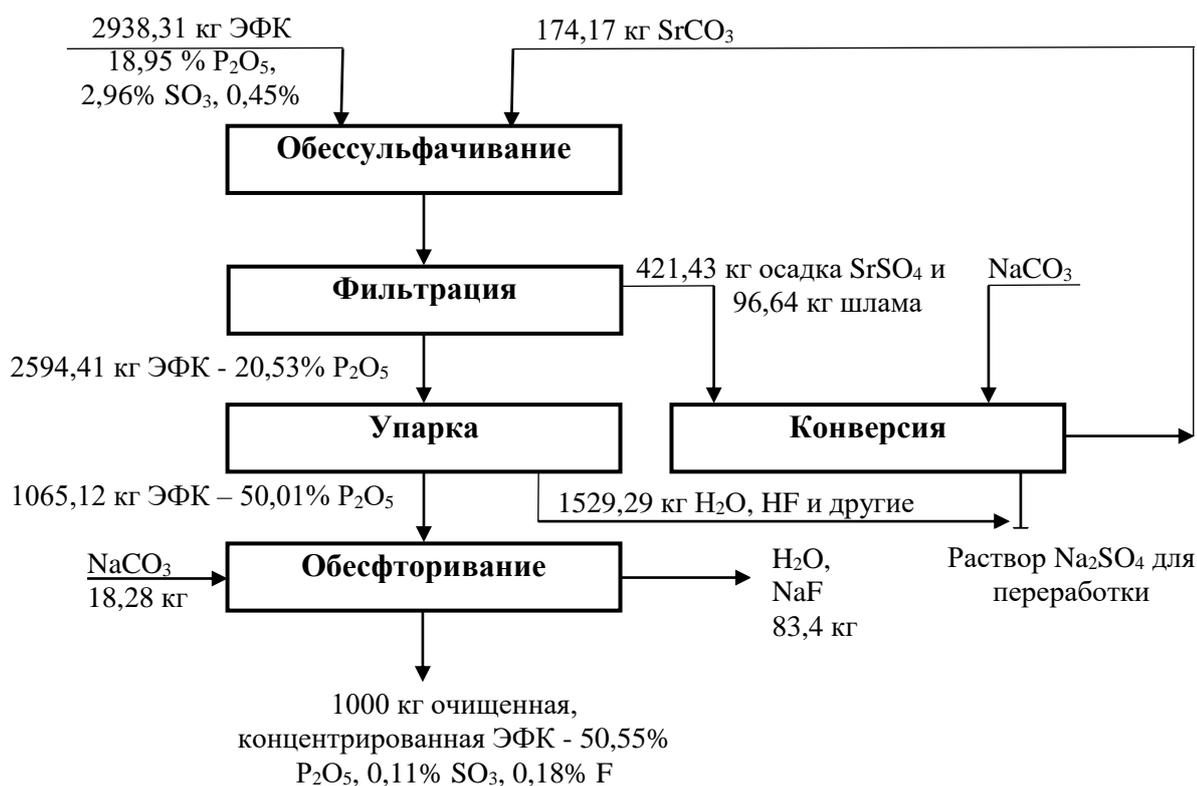


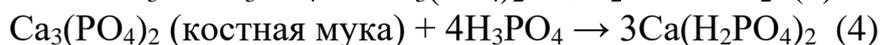
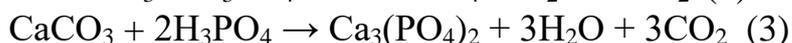
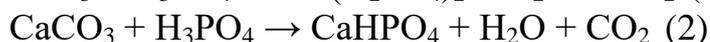
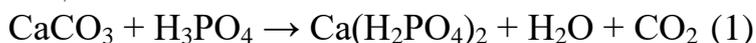
Рис. 2 – Материальный поток сырьевых материалов для получения 1 тонны очищенной и концентрированной ЭФК (50,5% P_2O_5)

Предложена технологическая схема очистки и концентрирования Кызылкумской ЭФК методом упаривания.

Полученная таким образом, очищенная и концентрированная ЭФК отличается высоким качеством и рекомендуется в качестве сырья для производства кормовых форм фосфатов кальция.

В четвёртой главе диссертации «Разработка технологии получения кормовых фосфатов кальция на основе термической фосфорной, очищенной и концентрированной экстракционной фосфорной кислоты и кальцийсодержащего сырья» приведены результаты разложения карбоната кальция, известняка и обожженной костной муки с использованием ТФК и упаренной ЭФК, получения гранулированного МКФ, порошкообразных ДКФ и ТКФ, изучения физико-химических и товарных свойств готовых продуктов, рассчитанные материальные балансы и предложенные технологические схемы производства различных марок кормовых фосфатов, технико-экономические расчеты об целесообразности производств новых видов продукции.

Процесс разложения известняка термической и упаренной фосфорной кислотой проводились при кислотных нормах 90%, 95% и 100% в соответствии реакциями:



Процесс получения образцов МКФ и ДКФ осуществляли при ретурном, а ТКФ при безретурном режиме. Но ДКФ и ТКФ получают в порошковом виде. Ретурный продукт (<1 мм) положительно влияет на максимальное разложение CaCO_3 , увеличение выхода и прочности товарной фракции гранул МКФ. Применение ретура для ДКФ диктуется интенсификацией разложения известняковой муки фосфорной кислотой и сушки готового продукта.

В лабораторных условиях образцы очищенной ЭФК с вышеуказанными концентрациями P_2O_5 (табл. 3) либо ТФК и её разбавленных растворов разогревали до 80°C в фарфоровом стакане, находящейся в термостате. Затем в фарфоровый стакан загружали необходимое количество известняковой муки.

В первом этапе получены образцы гранул МКФ на основе разложения известняковой муки с помощью как ТФК, так и упаренной ЭФК различными концентрациями P_2O_5 в присутствии ретура при количестве от 30 до 70% по отношению к общей массе готового продукта. Было установлено, что чем выше концентрация фосфорной кислоты, тем меньше времени потребовалась для получения разрыхлённой массы, легко подающейся грануляции и сушки. Так, независимо от вида фосфорной кислоты, для того чтобы завершить реакцию образования МКФ потребовалась для 46,0% P_2O_5 – 60 мин., для 50,5% P_2O_5 - 10 мин. (для ТФК – 5 мин.) и для 60% P_2O_5 – 5 мин. Затем грануляцию влажной разрыхленной реакционной массы осуществляли методом интенсивного размешивания и окатывания. Полученные гранулы МКФ сушили при 100°C в течение 4-6 часов. Измеряли прочность гранул, затем проводили их химический анализ. Следует отметить, что характеры взаимодействия известняковой муки ТФК и очищенной, упаренной ЭФК при концентрациях 46,0, 50,5 и 60% P_2O_5 и кратностях ретура 1:0,3, 1:0,5 и 1:0,7

аналогичны. Различаются между собой только абсолютные значения содержания компонентов в продуктах. При этом оптимальными условиями явились для ТФК: концентрация - 50,5% P₂O₅, норма – 95%, время разложения - 5 мин., а кратность ретура 1:0.5. При этом получен продукт состава (вес. %): P₂O₅у_{св.} - 53,42; P₂O₅в_{одн.} - 52,45; СаО_{у_{св.}} - 21,85; СаО_{в_{одн.}} - 20,67; рН - 2,93 с прочностью гранул 2,70 МПа (табл. 4).

А с применением очищенной, упаренной ЭФК с концентрацией 50,5%, оптимальной нормой явилась также 95% и кратность ретура – 1:0.5, но время разложения - 10 мин., при которых получен гранулированный МКФ состава (вес. %): P₂O₅у_{св.} - 50,45; P₂O₅в_{одн.} - 38,02; СаО_{у_{св.}} - 21,14; СаО_{в_{одн.}} - 14,39; F - 0,16; рН - 3,16 с прочностью гранул 2,13 МПа и товарной фракцией (2-3 мм) не менее 85%, со степенью образования Са(Н₂Р_О₄)₂ - 95,96% (табл. 4).

Кормовые МКФ с такими показателями полностью соответствует требованиям, предъявляемым ГОСТ 23999-80 (КАЛЬЦИЯ ФОСФАТ, КОРМОВОЙ) и относятся к 1 и 2-ому сортам, соответственно. В обоих случаях товарная фракция (2-3 мм) составляет более 85%. Разница между усвояемой и водной формой Р₂О₅ даёт нам содержание в продукте ДКФ. Но его мало при применении ТФК. Образование ДКФ связано с процессом гидролиза МКФ и характеризуется следующей реакцией:



Таблица 4

Гранулированный МКФ в зависимости от вида и нормы фосфорной кислоты и массового соотношения продукт:ретур (концентрация Н₃Р_О₄ – 50,5% Р₂О₅ и кратность ретура – 1:0,5)

Норма Н ₃ Р _О ₄ , %	рН продукта	Влага продукт-та, %	Содержание компонентов, вес. %					Прочность гранул, МПа	
			P ₂ O ₅ у _{св.} по 0.4% НСl	P ₂ O ₅ в _{одн.}	СаО общ.	СаОу _{св.} по 0.4% НСl	СаО водн.		F
с применением ТФК									
100	2.94	5.32	53.22	53.17	21.11	20.89	20.34	отс.	1.95
95	2.93	4.11	53.16	51.59	21.87	21.84	20.69	отс.	2.56
90	2.86	2.56	52.97	48.92	22.96	22.89	20.89	отс.	2.66
с применением очищенной, упаренной ЭФК									
100	2.93	1.26	50.86	41.08	20.03	19.26	14.68	0.17	1.86
95	3.16	1.30	50.55	38.02	21.60	21.14	14.39	0.16	2.13
90	3.29	1.16	49.28	37.66	21.02	20.63	14.03	0.15	2.24

Н рис. 3 представлена рентгенограмма (а) и (б) микроскопический снимок кормового МКФ из очищенной, упаренной ЭФК.

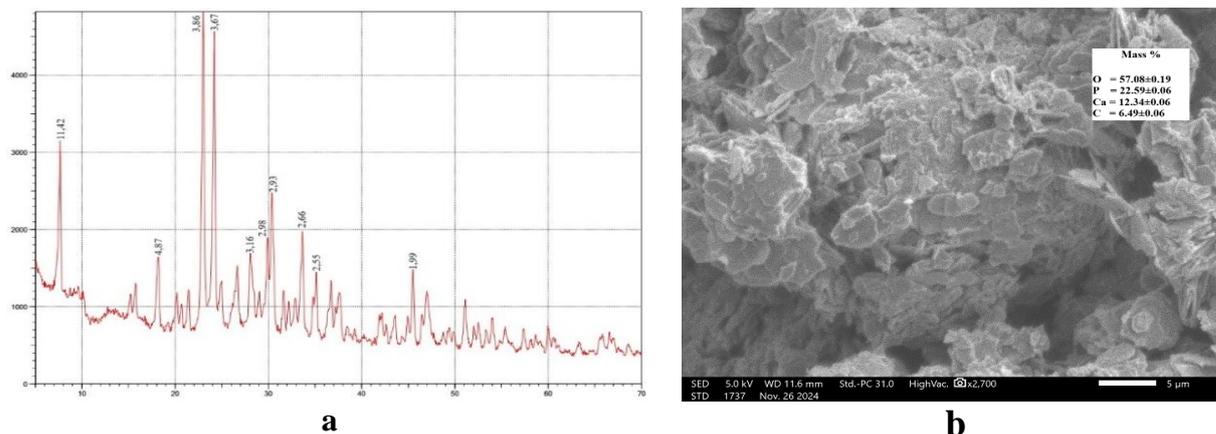


Рис. 3 – Рентгенограмма (XRD, a) и сканирующий электронно-микроскопический снимок (SEM, b) кормового МКФ.

На рентгенограмме имеются в основном дифракционные максимумы моногидратного $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ – 11,42 (81%); 4,87 (50%); 3,86 (100%); 3,67 (81%); 3,38 (42%); 3,16 (35%); 2,93 (50%); 2,66 (31%); 2,58 (17%); 1,99Å (35%). Остальные менее интенсивные пики относятся к CaHPO_4 , но их мало. При кристаллы представляют собой белое кристаллическое вещество моноклинной призматической формы.

Нами предложена технологическая схема промышленного производства МКФ (рис. 4). Она приемлема, одинакова, как для случая использования как термической, так и, ЭФК, естественно, после её очистки и концентрирования. Для достижения практически 100 %-ной степени нейтрализации кислоты известью за короткий период всех исходных веществ (H_3PO_4 , CaCO_3 и ретур продукта) в реакционную зону следует вводит одновременно в условиях интенсивного перемешивания до завершения процесса, то есть, вес процесс осуществляется в одну стадию и в одном смесителе.

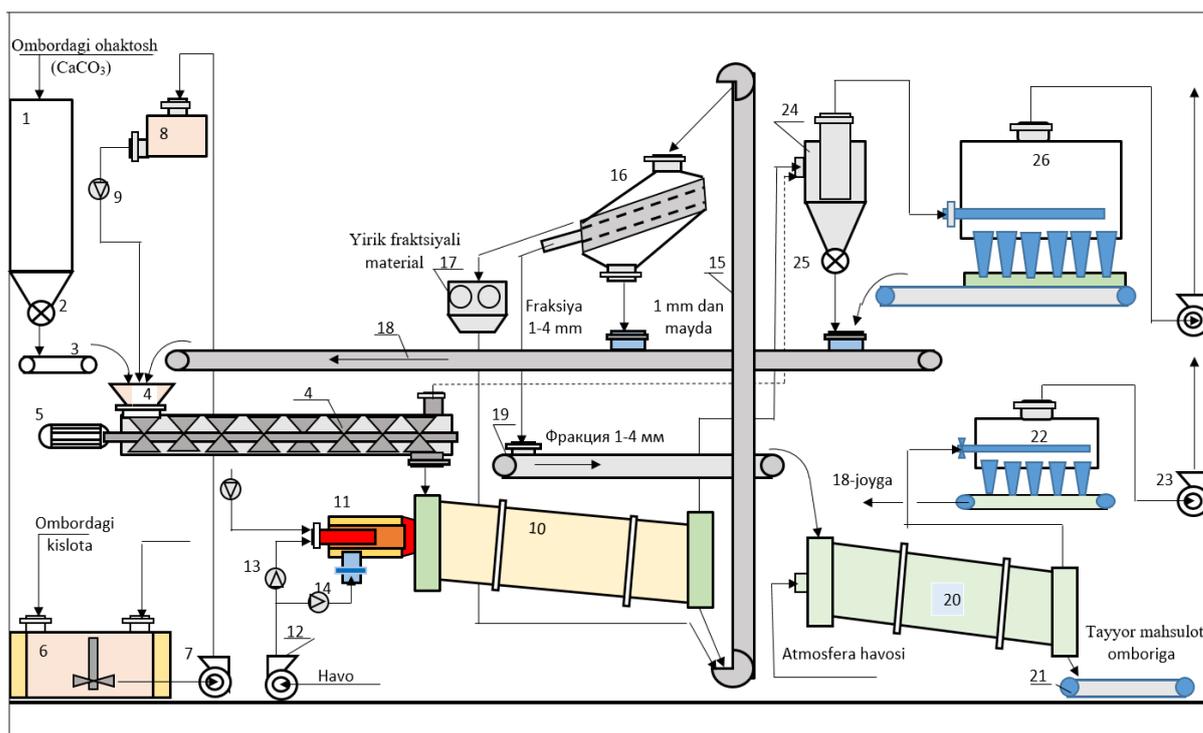


Рис. 4 – Основная технологическая схема производства кормового МКФ из фосфорной кислоты и кальцийсодержащего сырья:

1 – Бункер-дозатор; 2 – Шлюзовый питатель; 3 – Весовой дозатор с ленточным питателем; 4 – Высокоскоростной двухвальный лопастной смеситель; 5 – Электропривод смесителя; 6 – Резервуар ортофосфорной кислоты; 7 – Центробежный горизонтальный насос; 8 – Напорный бак; 9 – Расходомер жидкости; 10 – Сушильный барабан; 11 – Теплогенератор; 12 – Вентилятор; 13, 14 – Расходомеры первичного и вторичного воздуха; 15 – Вертикальный ковшовый цепной элеватор; 16 – Инерционный грохот; 17 – Валковая (или молотковая) дробилка; 18, 19, 21 – Цепной и ленточный конвейеры; 20 – Барабанный охладитель; 22, 26 – Рукавный фильтр; 23, 27 – Вытяжной вентилятор; 24 – Циклон сухой очистки типа ЦН-15; 25 – Пылеулавливающий воздушный затвор.

Предложенная технологическая схема и экспликация основного технологического оборудования, представленной в диссертационной работе могут быть использованы как базисный вариант исходных данных для разработки детального проекта установки по производству 20 тыс. тонн кормового МКФ в год (10,4 тыс. тонн в пересчете на 100% P₂O₅).

Цель нашего дальнейшего исследования явилась получение кормового МКФ на основе обработки обожженной костной муки с ТФК и очищенной, упаренной ЭФК с концентрацией 40, 50 и 60% P₂O₅. Норму кислоты кислоты рассчитывали по реакции (4) и варьировали от 80 до 110% от стехиометрии. Методика опытов аналогично предыдущим опытам.

В опытах наблюдался, что при использовании H₃PO₄ с 40 %-ной P₂O₅ создаются благоприятные условия: максимальный степень разложения костной муки и образование тиксотропной реакционной массы, легко подающиеся грануляции и сушки. Состав продуктов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Гранулированный МКФ в зависимости от вида и нормы фосфорной кислоты и массового соотношения продукт:ретур (концентрация H₃PO₄ - 40% P₂O₅ и кратность ретура - 1:0,5)

Норма ТФК, %	рН 10 %-ного раствора продукта	W _{влаж.} продукта, %	Содержание компонентов, вес. %						
			P ₂ O ₅ сув. по 0.4% HCl	P ₂ O ₅ вод.	CaO _{общ.}	CaO ₅ сув по 0.4% HCl	CaO _{водн}	MgO _{общ.}	F
с применением ТФК									
110	3,95	2,05	55,12	52,19	22,07	21,95	19,11	0,11	0,048
105	4,01	1,96	53,69	50,88	22,34	22,20	18,83	0,12	0,049
100	4,07	1,65	53,46	50,09	22,57	22,53	17,77	1,15	0,05
95	4,15	1,26	52,8	47,82	23,45	23,16	16,37	1,16	0,051
90	4,12	1,15	52,46	44,63	23,87	23,12	15,33	1,19	0,054
85	4,18	1,07	51,98	40,80	23,99	23,55	14,09	1,23	0,056
80	4,51	1,01	50,86	38,40	24,45	24,22	13,79	1,28	0,058
с применением очищенной, упаренной ЭФК									
110	3,19	1,34	51,19	42,86	23,25	23,17	16,46	0,23	0,17
105	3,25	1,24	50,75	42,08	23,65	23,51	16,26	0,22	0,17
100	3,29	1,13	49,87	41,77	24,33	24,13	16,05	0,22	0,16
95	3,37	0,91	49,52	41,56	24,89	24,66	15,91	0,21	0,16
90	3,43	0,83	49,04	40,68	25,19	25,08	15,73	0,20	0,15
85	3,47	0,75	48,82	40,11	25,71	25,55	15,24	0,19	0,14
80	3,66	0,64	48,73	39,37	26,44	26,36	13,99	0,18	0,13

Установлено, что при использовании нормы ТФК 80-105% полученные продукты соответствует к 2-ому сорту, а при 110% - к 1-ому сорту МКФ.

При использовании очищенной, упаренной ЭФК получают менее концентрированные по фосфору продукты. Для получения МКФ оптимальной нормой кислоты является 105% при кратности ретур 1:0,7. Состав монокальцийфосфата (вес.%): $P_2O_{5\text{уcв.}}$ – 50,75; $P_2O_{5\text{водн.}}$ – 42,08; $CaO_{\text{общ.}}$ – 23,65; $CaO_{\text{уcв.}}$ – 23,51; $CaO_{\text{водн.}}$ – 16,26; MgO – 0,22; F – 0,17; H_2O – 2,63; pH – 3,29 и относятся к 2-ому сорту продукта. Хотя, все продукты имеют минимальные содержания F – менее 0,1-0,2%.

В следующем этапе изучены процессы получения порошкообразных ДКФ и ТКФ на основе обработки известняковой муки с ТФК и очищенной, упаренной ЭФК. При этом использованы ТФК с концентрацией 39,75; 50,58 и 60,3% P_2O_5 , ЭФК с 48,01; 48,55; 55,65; 59,41% P_2O_5 . При этом кислоты взяты при нормах 90; 95 и 100% от стехиометрии.

Смеси из $CaCO_3$ и ретур ДКФ в необходимом соотношении 1:1 тщательно перемешивали. Сверху капельно вводили фосфорную кислоту при температуре 80°C в течение 5-8 минут. Реакционную массу выдерживали (дозревали) в течение 1 часа. А для приготовления образцов ТКФ в порошки $CaCO_3$ по каплям подавали растворы H_3PO_4 и интенсивно размешивали в течение 10 мин. Полученные порошки ДКФ и ТКФ сушили при 100-115°C. Таким образом, для каждой нормы получены соответствующие продукты.

Анализируя полученные данные, можно заключить, что для ТФК оптимальной её получения ДКФ является 50,58 P_2O_5 и норма 95%. При этом состав продукта следующий (вес. %): $P_2O_{5\text{общ.}}$ - 47,09; $P_2O_{5\text{уcв.}}$ - 46,97; $P_2O_{5\text{водн.}}$ - 4,14; $CaO_{\text{общ.}}$ - 39,99; $CaO_{\text{уcв.}}$ - 39,93; $CaO_{\text{водн.}}$ - 5,04; H_2O - 0,37; pH - 5,31. А для получения ТКФ можно принять норму 100%, а концентрацию 50,58% P_2O_5 . При этом продукт содержит 35,95% $P_2O_{5\text{общ.}}$, 35,22% $P_2O_{5\text{уcв.}}$, 44,49% $CaO_{\text{общ.}}$, 43,94% $CaO_{\text{уcв.}}$, 2,19% H_2O . Его $pH = 7,7$.

Аналогичная картина наблюдается при использовании очищенной, упаренной ЭФК, где оптимальная норма и концентрация являются для ДКФ – 95% и 48,55%, а для ТКФ – 100% и 48,55%, но относительно с низкими показателями. При этом состав первого продукта (вес.%): $P_2O_{5\text{общ.}}$ - 40,01; $P_2O_{5\text{уcв.}}$ - 39,66; $P_2O_{5\text{водн.}}$ - 7,62; $CaO_{\text{общ.}}$ - 32,35; $CaO_{\text{уcв.}}$ - 32,14; $CaO_{\text{водн.}}$ - 4,15; F - 0,13; $pH = 4,07$. Второй продукт содержит (вес. %): $P_2O_{5\text{общ.}}$ - 29,48; $P_2O_{5\text{уcв.}}$ - 29,28; $CaO_{\text{общ.}}$ - 33,87; $CaO_{\text{уcв.}}$ - 33,71; F - 0,12. $pH = 5,22$. Хотя, все они по составу и свойств соответствует требованиям ГОСТ 23999-80.

На рентгенограмме ДКФ идентифицированы соединения $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $CaHPO_4$ и частично $Ca_3(PO_4)_2 \cdot H_2O$ (рис. 5, а). В свою очередь, у ТКФ зафиксированы наличия кальцийфосфатных соединений – $Ca_3(PO_4)_2 \cdot H_2O$, $CaHPO_4$, $CaH_2P_2O_7$, а также незначительного количества недоразложенного $CaCO_3$. То есть, они подтверждают результаты химического анализа.

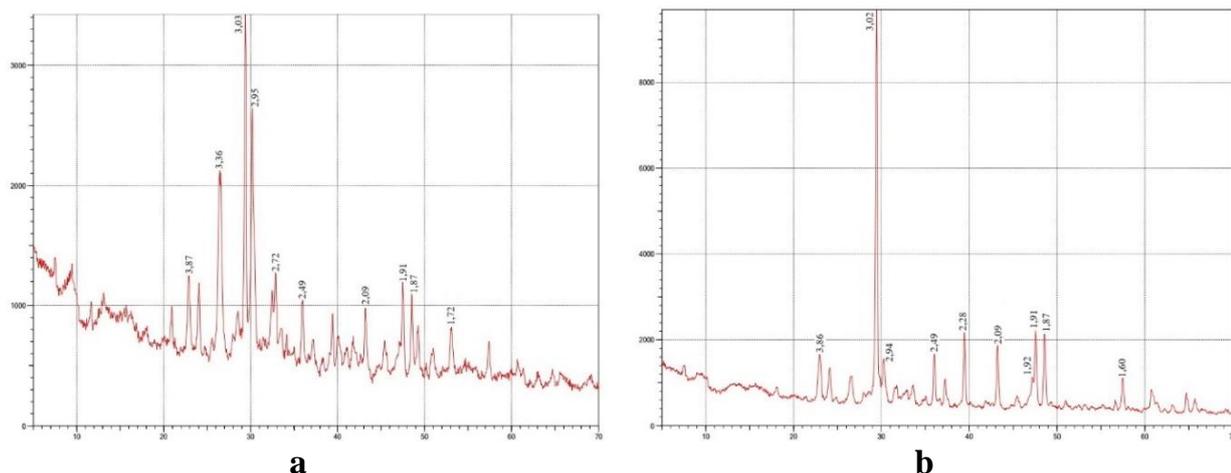


Рис. 5 – Рентгенограммы (XRD) ди- (а) и трикальцийфосфатов (b).

Предложена технологическая схема и рассчитаны материальные балансы производств ДКФ и ТКФ в одной технологической нитке. Разработанные технологии получения кормовых фосфатов различных марок апробированы на СП-АО «Elektrokimyozavod».

Таким образом, с применением химического анализа и физико-химического исследования (ИК-спектроскопия, рентгенография и сканирующая электронная микроскопия) установлено, что основные продукты – МКФ, ДКФ и ТКФ имеют чистоту не менее 95-97%.

Себестоимость 1 тонны МКФ, полученного на основе очищенной ЭФК и кальциевого сырья дешевле в 1,4-1,5 раза стоимости импортного продукта (по состоянию на 13.06.2025 г. 490-510 долл./т). А себестоимость 1 тонны ДКФ оказалась в 1,5 раза дешевле импортного аналога (410-460 долл./т).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен процесс обессульфачивания ЭФК (18,95% P_2O_5 , 2,96% SO_3 , 0,45% F) с помощью карбоната стронция. Оптимальной нормой $SrCO_3$ оказалась 100%, при ней достигается приемлемая степень обессульфачивания ЭФК (97,34%). При этом выпадаемый осадок $SrSO_4$ конвертируется с помощью Na_2CO_3 и возвращает в цикл обессульфачивания в виде $SrCO_3$. Далее кислота концентрируется методом упаривания вплоть до кипения (от 150 до 180°C). С целью сохранения текучести упаренной ЭФК концентрацию P_2O_5 не следует превышать 55-60%.

2. Осуществлена процесс обесфторивания упаренной ЭФК с помощью Na_2CO_3 . При этом осадки рекомендуются в качестве компонента аммофоса. А упаренная и очищенная ЭФК содержит от 46,01 до 59,41% P_2O_5 и от 0,18 до 0,20% F, вполне пригодная для получения любых марок кормовых фосфатов. Рассчитан материальный баланс процесса получения 1 тонны очищенной ЭФК, при котором дополнительно получается ценный продукт - Na_2SO_4 .

3. Исследован процесс получения гранулированного кормового МКФ путем разложения известняковой муки термической фосфорной кислотой в присутствии ретура (<1 мм). Оптимальными условиями являются: концентрация H_3PO_4 – 50,5% P_2O_5 , норма H_3PO_4 – 95%, время разложения – 5 мин., а кратность ретура 1:0.5. При этом продукт имеет состав (вес. %): $P_2O_{5у\text{св.}}$ – 53,42; $P_2O_{5\text{водн.}}$ – 52,45; $CaO_{у\text{св.}}$ – 21,85; $CaO_{\text{водн.}}$ – 20,67; pH = 2,93 с прочностью гранул 2,70 МПа и товарной фракцией (2-3 мм) не менее 85%.

4. Исследован процесс получения МКФ на основе очищенной, упаренной ЭФК и известняковой муки. Но при этом для полного завершения реакции образования $Ca(H_2PO_4)_2$ потребуется 10 мин. Если с использованием ТФК, полученный продукт (53,42% $P_2O_{5у\text{св.}}$) по ГОСТ 23999-80 относится к 1-ому сорту, то с применением очищенной ЭФК этот показатель (50,45% $P_2O_{5у\text{св.}}$) отвечает к 2-ому сорту продукта. Их кристаллы представляют собой белое кристаллическое вещество моноклинной призматической формы.

5. Показано возможность получения кормового МКФ на основе обработки обожженной (при 800°C) костной муки с ТФК и очищенной, упаренной ЭФК. Для H_3PO_4 по 40 %-ной P_2O_5 достигаются максимальный степень разложения костной муки и образование тиксотропной реакционной массы, легко подающиеся грануляции и сушки. Все образцы имеют минимальные содержания F – менее 0,1-0,2%.

6. Изучены процессы получения порошкообразных ДКФ и ТКФ на основе известняковой муки и ТФК, очищенной и концентрированной ЭФК. Выявлено, что для получения ДКФ оптимальной нормой любого вида кислоты является 95%, а для ТКФ – 100%, а их концентрации не выше 50% P_2O_5 . ДКФ содержит 40%, а ТКФ – 30% $P_2O_{5у\text{св.}}$ и соответствует нормам ГОСТ 23999-80.

7. Предложены технологические схемы и рассчитаны материальные балансы производств гранулированного МКФ, порошкообразных ДКФ и ТКФ. Разработанные технологии получения кормовых фосфатов различных марок апробированы на СП-АО «Elektrokimyozavod».

**SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARDING OF SCIENTIFIC
DEGREES DSc.03/13.06.2025.T.106.04 AT THE FERGANA STATE
TECHNICAL UNIVERSITY**

**FERGANA STATE TECHNICAL UNIVERSITY INSTITUTE OF
GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY**

KHOSHIMOV ILKHOMJON ERKIN UGLI

**TECHNOLOGY FOR PRODUCING FEED-GRADE CALCIUM
PHOSPHATES BASED ON PHOSPHORIC ACID AND CALCIUM-
CONTAINING RAW MATERIALS**

02.00.13 – Technology of inorganic substances and materials on their basis

**DISSERTATION ABSTRACT FOR THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
TECHNICAL SCIENCES**

Fergana – 2026

The theme of dissertation doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the ministry of higher education, science and innovation of the republic of Uzbekistan under number B2025.1.PhD/T5240.

Dissertation was carried out at the Namangan Institute of Engineering and Technology and the Institute of General and Inorganic Chemistry.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the web page at www.ionx.uz and the Information website of “ZiyoNET” and Educational Portal at www.ziynet.uz.

Research supervisors:	Seytnazarov Atanazar Reypnazarovich doctor of technical science, professor
Official opponents:	Tojiyev Rustambek Rasulovich doctor of technical science, professor
	Reymov Axmed Mambetkarimovich doctor of technical science, professor, academician
Leading organization:	Namangan State Technical University

The defense will take place “8” January 2026 at 10:00 o’clock at the meeting of scientific council No. DSc.03/13.06.2025.T.106.04 at the Fergana state technical university (address: 150100, Fergana city, Fargana street, house 86. Tel.: (+99873) 241-12-06; e-mail: info@fstu.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resources Centre of the Fergana state technical university, (is registred under №_____). (address: 150100, Fergana city, Fargana street, house 86. Tel.: (+99873) 241-12-06; e-mail: info@fstu.uz).

Abstract os dissertation sent out on “ ___ ” _____ 2025 y.

(mailing report №___ from “ ___ ” _____ 2025 y.)

Z.A. Khamrakulov
Chairman of the scientific award council
scientific degrees, doctor of technical
sciences, dosent

G.R. Mirzakulov
Scientific secretary of the scientific
award council scientific degrees, doctor
of philosophy in technical sciences (PhD)

Z.K. Dekhkanov
Chairman of the scientific seminar at the
scientific council for awarding academic degrees,
doctor of technical sciences, Associate Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

Purpose of the research is to develop a technology for the purification of extraction phosphoric acid and the production of calcium feed phosphates based on thermal and purified phosphoric acids and calcium-containing raw materials.

The research objects included thermal and extraction phosphoric acids, purified and concentrated extraction phosphoric acid (EPA) solutions, calcium carbonate, limestone meal, calcined bone meal, granulated monocalcium phosphate (MCP), and powdered dicalcium phosphate (DCP) and tricalcium phosphate (TCP).

The scientific novelty of the research is as follows:

optimal conditions ensuring effective desulfation of EFK for the production of granulated and powdered MKF, DKF, and TKF have been determined;

optimal conditions for reducing the fluorine content in desulfated EFK using Na_2CO_3 have been established, allowing purification of fluorine in EFK from 0.45% to 0.18%;

optimal parameters for producing granulated feed-grade MKF have been identified: EFK concentration of 50% P_2O_5 , H_3PO_4 purity of 95%, decomposition time of 15 minutes, and a recycle ratio amounting to 50% of the finished product mass;

processes for obtaining DKF under recycle mode and TKF under non-recycle mode have been investigated using thermal or purified H_3PO_4 with concentrations of 95% and 100%, respectively;

the fundamental feasibility of producing feed-grade MKF by single-stage processing of calcined bone meal with TFK and purified EFK in a single unit, based on a recycle ratio of 1:0.7, has been demonstrated;

technologies for producing granulated MKF, as well as powdered DKF and TKF, based on EFK, TFK, pure calcium carbonate, limestone, and bone meal have been developed.

Implementation of research results Based on the scientific results obtained in the development of technologies for producing granulated MCP and powdered DCP and TCP from thermal or purified phosphoric acid and limestone meal:

The technology for purifying EFK and producing granulated MKF based on limestone and bone meal has been included in the list of scientific developments recommended for prospective implementation at JSC “Elektrokimyosavod” (Certificate No. 63 dated June 16, 2025). As a result, it enables the organization of production of granulated MKF with an annual capacity of 20 thousand tons (10.4 thousand tons in terms of 100% P_2O_5), thereby ensuring the sustainable development of the livestock industry.

The technology for producing calcium-containing feed-grade DKF and TKF based on purified EFK and limestone flour has also been included in the list of scientific developments recommended for prospective implementation at JSC “Elektrokimyosavod” (Certificate No. 63 dated June 16, 2025). Its implementation makes it possible to obtain phosphorus–calcium feed additives intended to support

the development of livestock farming, poultry production, aquaculture, and a number of other meat-producing sectors.

Structure and scope of the dissertation. The dissertation work consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, symbols and appendices. The volume of the dissertation was 119 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; part I)

1. Хошимов И.Э., Турдалиева Ш.И., Намазов Ш.С., Сейтназаров А.Р., Бадалова О.А., Раджабов Р. Термик фосфор кислотаси ва оҳак асосида озукавий кальций фосфатларини олиш технологияси // Фарғона Политехника Институти Илмий-техника журнали. - Фарғона, 2023. Т.27, махсус сон №2. - 90-97-б (ОАК 2021 йил 4 июндаги 300/5-сон қарори)

2. Хошимов И.Э., Турдалиева Ш.И., Намазов Ш.С., Раджабов Р., Сейтназаров А.Р., А.М. Реймов. Технология получения гранулированного кормового монокальцийфосфата на основе термической фосфорной кислоты и известняковой муки // Химическая промышленность - Санкт-Петербург, 2023. - Т.100, №1. - С. 33-47. (02.00.00, №21)

3. Хошимов И.Э., Турдалиева Ш.И., Намазов Ш.С., Каршиев Б.Н., Сейтназаров А.Р., Раджабов Р. Производство кормовых фосфатов кальция на основе Кызылкумской упаренной экстракционной фосфорной кислоты и известкового сырья // Узбекский химический журнал. – Ташкент, 2024. - №3. - С. 21-27. (02.00.00, №6)

4. Хошимов И.Э., Турдалиева Ш.И., Намазов Ш.С., Сейтназаров А.Р., Турдалиев У.М. Кормовой монокальцийфосфат на основе обработки костной муки термической фосфорной кислотой // Universum: Технические науки. - Москва, 2024. Выпуск: 8(125). – С. 61-68. (02.00.00, №1)

5. Khoshimov I.E., Turdialieva Sh.I., Seytnazarov A.R., Turdialiev U.M., Namazov Sh.S. The strength of granules of feed monocalcium phosphate based on thermal phosphoric acid and limestone // O'z Res FA Yosh Olimlar Axborotnomasi. - Toshkent, 2024, 3(4). 86-90 pp. (ОАК 2023 йил 31 октябрь 345/10-сон қарори)

6. Khoshimov I.E., Turdialieva Sh.I., Seytnazarov A.R., Namazov Sh.S., Kholmurodov J.E. Feed monocalcium phosphate derived from wet-process phosphoric acid and calcium-based raw materials // Chemical Science International Journal. USA, 2024. - Volume 33, Issue 6, - P. 60-73. Article no.CSIJ.126082 (02.00.00, №2)

7. Khoshimov I.E., Turdialieva Sh.I., Seytnazarov A.R., Namazov Sh.S., Mohamed Rifky. Investigation of vapor pressure and infrared spectroscopic analysis of phosphoric acid extract evaporation after desulfation with SrCO₃ // Eurasian Journal of Chemistry. Kazakhstan, Karaganda, 2024. 29, 4(116), 82–91. (*Scopus*)

8. Khoshimov I.E., Turdialieva Sh.I., Seytnazarov A.R., Namazov Sh.S. Concentration of wet process phosphoric acid from washed thermo concentrate of phosphorites Central Kyzylkum and its rheological properties // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. Bulgaria, 2025. 60, 2, pp. 207-214. (*Scopus*)

II bo‘lim (II часть; part II)

1. Хошимов И.Э., Турдиалиева Ш.И., Намазов Ш.С., Сейтназаров А.Р., Каршиев Б.Н. Анализ и исследование прочности гранул кормового монокальцийфосфата // “Нодир ва ноёб металллар кимёси ва технологияси: бугунги ҳолати, муаммолари ва истиқболлари” Республика илмий-амалий конференцияси. Termiz, 2023. 1-қисм. – С. 230-231.

2. Хошимов И.Э., Турдиалиева Ш.И., Сейтназаров А.Р., Намазов Ш.С., Раджабов Р. Гранулированная форма монокальцийфосфата на основе термической фосфорной кислоты и известняка // XV Международная научно-практическая конференция, посвящённая Международному году фундаментальных наук в интересах устойчивого развития. Москва, РХТУ им. Д.И.Менделеева, 18-21 апреля 2023 года. С. 224-226.

3. Хошимов И.Э., Турдиалиева Ш.И., Сейтназаров А.Р., Намазов Ш.С. Химический состав исходной и концентрированной экстракционной фосфорной кислоты из фосфоритов Центральных Кызылкумов // International Scientific Symposium: “Actual problems of Turkology”, dedicated to the 150th anniversary of the birth of Turkish poet Mehmet Akif Ersoy. Natural Sciences. Stockholm, Sweden, The 27th of August 2023. pp. 288-290.

4. Хошимов И.Э., Турдиалиева Ш.И., Сейтназаров А.Р., Намазов Ш.С. Экстракционная фосфорная кислота // Материалы международной конференции «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах». Фергана, 2023. С. 113-114.

5. Хошимов И.Э., Турдиалиева Ш.И., Намазов Ш.С., Сейтназаров А.Р., Каршиев Б.Н. Реологические свойства концентрированной экстракционной фосфорной кислоты из мытого обожженного концентрата // Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана. Материал Международной научно-технической конференции. Ташкент. Узбекистан. 16-17 ноябрь 2023 г. С. 55-56.

6. Хошимов И.Э., Турдиалиева Ш.И., Сейтназаров А.Р., Намазов Ш.С., Каймакова Д.А. Обессульфачивание и концентрирование экстракционной фосфорной кислоты из мытого обожженного концентрата // XVI Международная научно-практическая конференция, посвящённая 300-летию Российской академии наук. Москва, РХТУ им. Д.И.Менделеева, 16-19 апреля 2024 года. С. 265-268.

7. Хошимов И.Э., Турдиалиева Ш.И., Сейтназаров А.Р., Намазов Ш.С., Раджабов Р. Гранулированный кормовой монокальцийфосфат на основе очищенной экстракционной фосфорной кислоты и кальцийсодержащего сырья // VII Международной научно-технической конференции «минские научные чтения - 2024». Минск, 3-5 декабря 2024 г. Том-2. С. 331-335.

8. Хошимов И.Э., Турдиалиева Ш.И. Фазовый состав обессульфаченной ЭФК из фосфоритов Центральных Кызылкумов // «Электрохимические устройства: процессы, материалы, технологии»

IV всероссийская с международным участием школа молодых ученых. Новосибирск, 22-25 сентября 2024. С. 49-50.

9. Xoshimov I.E., Turdialieva Sh.I., Seytnazarov A.R., Namazov Sh.S. Phase composition of feed-grade monocalcium phosphate produced by the reaction of bone meal with wet-process phosphoric acid // “Navoiazot” AJ 60 yilligiga bag‘ishlangan “O‘zbekistonda ilmfan, kimyoviy texnologiya va ishlab chiqarish istiqbollari” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. Navoi, 15-noyabr 2024-y. 192-193-b.

10. Khoshimov I.E., Turdialieva Sh.I., Seytnazarov A.R., Namazov Sh.S. Infrared spectroscopic characterization of sulfate precipitates from wet-process phosphoric acid // Коллоидная химия: инновации и решения для химической технологии, экологии и промышленности. Материалы международной научно-технической конференции, посвященной светлой памяти академика МАНЭБ, д.х.н., проф. а.а. Агзамходжаева. Термез, 7-8 февраля 2025 года. С. 186-189.

Avtoreferat «O‘zbekiston kimyo jurnali» tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari o‘zaro muvofiqlashtirildi.

Bosishga ruxsat etildi: 25.12.2025-yil.
Bichimi 60x84 1/16, «Times New Roman» garniturasini.
Shartli bosma tabog‘i 3. Adadi: 40. Buyurtma: № 24/01.

Farg‘ona shahar Hamroh ko‘chasi 71A-uy.
“Yashin sanoat” bosmaxonasida chop etildi.