

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.03/2025.27.12.T.19.06 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**UMAROVA MAFTUNA MASHRABJON QIZI**

**MAHALLIY XOMASHYOLAR ASOSIDA KALIY SULFAT OLISH  
TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH**

**02.00.13 – Noorganik moddalar va ular asosidagi materiallar texnologiyasi**

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

**Farg‘ona – 2026**

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**  
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**  
**Contents of the dissertation abstract of doctor of filosofy (PhD)**

**Umarova Maftuna Mashrabjon qizi**

Mahalliy xomashyolar asosida kaliy sulfat olish texnologiyasini ishlab chiqish.....5

**Умарова Мафтуна Машрабжонов кизи**

Разработка технологии получения сульфата калия на основе местного сырья .....21

**Umarova Maftuna Mashrabjon qizi**

Development of a technology for producing potassium sulfate based on local raw materials .....41

**E’lon qilingan ishlar ro‘yxati**

Список опубликованных работ

List of published works .....44

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.03/2025.27.12.T.19.06 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**UMAROVA MAFTUNA MASHRABJON QIZI**

**MAHALLIY XOMASHYOLAR ASOSIDA KALIY SULFAT OLISH  
TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH**

**02.00.13 – Noorganik moddalar va ular asosidagi materiallar texnologiyasi**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI 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 B2024.4.PhD/T5030 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya ishi Farg'ona davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida va «Ziyonet» Axborot ta'lim tarmog'iga ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Dexkanov Zulfikaxar Kirgizbayevich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Sultonov Baxodir Elbekovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Usanbayev Najimuddin Xalmurzayevich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Yetakchi tashkilot:**

**Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Farg'ona davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/2025.27.12.T.19.06 raqamli Ilmiy kengashning 2026 yil «03» iyun soat 16:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 150100, Farg'ona shahar, Farg'ona ko'chasi, 86. tel.: (99873) 241-12-06; faks: (99873) 241-12-06, e-mail: [info@fstu.uz](mailto:info@fstu.uz)).

Dissertatsiya bilan Farg'ona davlat texnika universitetining Axborot–resurs markazida tanishish mumkin (№ 317 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 150100, Farg'ona shahar, Farg'ona ko'chasi, 86. tel.: (99873) 241-12-06.), e-mail: [info@fstu.uz](mailto:info@fstu.uz)).

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil «22» may kuni tarqatildi.

(2026 yil «20» maydagi № 6-26-raqamli reestr bayonnomasi).

**Xamrakulov Z.A.**  
Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy kengash raisi,  
t.f.d., dotsent

**Mirzaqulov G'R.**  
Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy kengash kotibi,  
t.f.f.d., dotsent

**Turdialiyev U.M.**  
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy  
kengash qoshidagi ilmiy seminar  
raisi, t.f.d., professor

## **Kirish (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Dunyo aholisi sonining ortib borishi va unumdor yerlarning kamayishi, sifatli oziq-ovqat mahsulotlariga bo'lgan talabning ortishiga sabab bo'lmoqda. Shuning uchun qishloq xo'jaligida foydalaniladigan yerlar unumdorligini oshirish maqsadida mineral o'g'itlarni qo'llash talab etiladi. Ekin maydonlari hosildorligini oshirish uchun mineral o'g'itlarni tuproqqa kerakli miqdorda qo'llash zarurdir. Mineral o'g'itlar tuproq tarkibida o'simlikning o'sishi va rivojlanishi uchun kerakli ozuqa moddalarining miqdorini oshiradi hamda tuproqning biologik, fizik va kimyoviy xususiyatlarini o'zgartiradi. Shu sababli tarkibida azot, fosfor, oltingugurt, kaliy kabi ozuqaviy elementlar saqlagan murakkab o'g'itlarni ishlab chiqarish hajmini oshirish muhim ahamiyatga ega.

Jahon miqyosida ekstraksiyon fosfor kislotasi (EFK) ishlab chiqarishda hosil bo'ladigan chiqindi fosfogipsdan ikkilamchi mahsulot sifatida foydalanish maqsadida olimlar tomonidan keng ko'lamlil ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Fosfogipsning yig'ilib borishi atrof – muhit ekologiyasining buzilishi, ya'ni suv qobig'i, yer qatlami va atmosferaning ifloslanishi kabi ko'plab muammolarni keltirib chiqarmoqda. Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun fosfogipsni yuqori haroratlarda qayta ishlab sulfat kislotasi va qurilish materiallari olish, ekin maydonlarida meliorant sifatida qo'llash, kaliy karbonat bilan konversiya qilish orqali qishloq xo'jaligi uchun kerakli bo'lgan xlorsiz kaliyli o'g'it olishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda yirik kimyo korxonalaridan biri “Ammofos – Maxam” AJ da ishlab chiqarilayotgan fosfogipsni atrof-muhitga keltirayotgan zararli ta'sirlarini kamaytirish maqsadida yuqori ilmiy-amaliy natijalarga erishilmoqda. 2022-2026 yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonni taraqqiyot strategiyasining oltinchi yo'nalish 79-maqсадida «...aholi salomatligi va genofondiga ziyon yetkazadigan mavjud ekologik muammolarni bartaraf etish...»<sup>1</sup> kabi muhim vazifalar belgilab berilgan. Bu borada, mahalliy chiqindi fosfogipsni kaliy karbonat bilan konversiya qilish orqali qayta ishlash, jarayon borishiga ijobiy ta'sir etuvchi omillarni aniqlash, kalsiy karbonatning yaxshi filtrlanadigan kristallarini olish, oraliq mahsulotlar va chiqindilarni qamrab olgan holda kaliy sulfat olishning energiyatejamkor texnologiyasini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvar PF-60 son “2022-2026 yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonni taraqqiyot strategiyasi” farmoni va 2019 yil 3 apreldagi PQ-4265-son «Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi, 2021 yil 13 fevraldagi PQ-4992 son “Kimyo sanoati korxonalarini yanada isloh qilish va moliyaviy sog'lomlashtirish, yuqori qo'shilgan qiymatli kimyoviy mahsulotlar ishlab chiqarishni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi qarorlari, O'zbekiston Respublikasi Vazirlar mahkamasining 2022 yil 1 martdagi 91-sonli “Mineral

---

<sup>1</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi «2022-2026 yillarda yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida»gi PF-60 son qarori

o'g'itlar xavfsizligi to'g'risidagi umumiy texnik reglamentini tasdiqlash haqida", 15 dekabrda 753-sonli "Kimyo sanoati uchun innovatsion kimyoviy ilmiy-ishlab chiqarish va ta'lim klasterlarini tashkil etish chora-tadbirlari to'g'risida" gi qarorlari, hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga mazkur 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.

**Muammoni o'rganilganlik darajasi.** Dunyoda o'rganilayotgan ilmiy tadqiqot ishlarida sanoat va mahalliy chiqindilardan xlorsiz kaliy nitrat olishga yo'naltirilgan ilmiy izlanishlar jahonning yetakchi ilmiy markazlari va oliy ta'lim muassasalari, jumladan A.A.Rasulov., B.Numonov., A.N.Raximjanov, W.Shuang, I.M.Lyashkevich, Ye.A.Udalova, B.V.Levin, V.A.Kolokolnikov, I.I.Goncharik, U.Guppert, F.Kurz, J.Mulopol, Yu.F.Jdanov, S.V.Zapolskiy, V.I.Ledovskoy, B.B.Sadikov, N.X.Usanbaev va boshqalar ishlarida bayon etilgan.

L.L.Tovajnyanskiy, V.M.Sizyakov, R.N.Mirsayev, I.I.Goncharik, X.Ch.Mirzaqulovlar tomonidan gipsni karbonatli tuzlar ya'ni kaliy karbonat va ammoniy karbonatlari bilan qayta ishlash orqali ammoniy sulfat hamda kaliy sulfat olish jarayonlari o'rganilgan. Ushbu ilmiy tadqiqot ishlarida fosfogips tarkibida ma'lum miqdorda jarayon uchun keraksiz bo'lgan moddalar mavjudligi va suvda eruvchan  $P_2O_5$  massa ulushining yuqoriligi konversiya jarayoniga va hosil bo'lgan suspenziyaning filtrlanishiga salbiy ta'sir etgan. I.I.Goncharik, M.Yosixiko, S.B.Gorelik, Ya.B.Blyumberglar kaliy sulfat olish jarayoni va unga ta'sir etuvchi omillarni o'rganishgan. Bunda kaliy sulfat olish jarayoni sulfat kislota hamda ammiak ishtirokida amalga oshirilgan bo'lib, jarayon natijasida olingan eritmaning pH muhiti kislotali bo'lganligi tufayli, konversiya jarayoni olib boriladigan qurilmalarning korroziyaga uchrashiga sabab bo'lgan. I.I.Goncharik tomonidan kaliy sulfatning aylanma eritmasi yordamida fosfopigs suspenziyasini karbonat ammiakli konversiya qilish orqali kaliy sulfat olish jarayoni o'rganilgan Ushbu tadqiqot ishining asosiy kamchiligi eritma tarkibida kaliy sulfat konsentratsiyasi pastligi bo'lib, eritmani bug'latish uchun ko'p miqdorda energiya talab etiladi.

Respublikamizda, sanoat chiqindisi hisoblangan fosfogipsni kaliy karbonat bilan qayta ishlash orqali, kalsiy karbonatning oson filtrlanadigan kristallari va kaliy sulfat konversion eritmasini olish, ushbu eritmani bug'latish asosida xlorsiz kaliyli o'g'it olish imkonini beruvchi energiyatejamkor texnologiyani ishlab chiqish hozirgacha o'rganilmagan.

**Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilayotgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi.**

Dissertatsiya ishi Farg'ona davlat texnika universiteti va Namangan davlat texnika universitetining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq AL-692205622 raqamli "Markaziy Qizilqum fosforitlarini boyitishda hosil bo'lgan texnogen chiqindilarini qayta ishlash asosida sho'rlangan tuproqlarga qo'llashga

mo'ljallangan suyuq azot-kalsiyli o'g'it olish texnologiyasini yaratish" mavzusidagi bajarilishi 2023-2025 yillarga mo'ljallangan innovatsion va amaliy loyihalar doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** sanoat chiqindisi fosfogipsni mahalliy chiqindi asosida karbonatli konversiya qilish orqali kaliy sulfat o'g'itini olish texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

sanoat chiqindisi fosfogips va kungaboqar kuli yordamida kaliy sulfat o'g'itini olish uchun dastavval xomashyolarning kimyoviy va fizik-kimyoviy tarkibini aniqlash;

sanoat chiqindisi fosfogipsni mahalliy chiqindi asosida karbonatli konversiyalanish darajasiga kaliy karbonat, aylanma eritma konsentratsiyasi, vaqt va haroratning ta'sirini o'rganish;

sanoat chiqindisi fosfogipsni mahalliy chiqindi asosida karbonatli konversiyalash jarayonida hosil bo'lgan karbonatli suspenziya hamda filtratning reologik (zichlik va qovushqoqlik) xossalari o'rganish;

sanoat chiqindisi fosfogipsni mahalliy chiqindi asosida karbonatli konversiyalashdan olingan suspenziyasining filtrlanish tezligini aniqlash;

sanoat chiqindisi fosfogipsni mahalliy chiqindi asosida kaliy sulfat o'g'itini olish texnologiyasini ishlab chiqish hamda jarayonning moddiy balansini hisoblash;

kaliy sulfat olish texnologiyasini yirik tajriba sinovidan o'tkazish va ishlab chiqarishning texnik iqtisodiy samaradorligini aniqlash.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida sanoat chiqindisi fosfogips, mahalliy chiqindi kaliy karbonat, kaliy sulfat eritmasi, kalsiy karbonat, nitrat kislota, kaliy sulfat o'g'itlari olingan.

**Tadqiqotning predmeti** sanoat chiqindisi fosfogipsni mahalliy chiqindi asosida karbonatli konversiya qilish orqali olingan suspenziyani suyuq va qattiq fazalarga ajratish, bug'latish, quritish jarayonlarini ishlab chiqishdan iborat.

**Tadqiqotning usullari.** Dissertatsiyada xomashyo, yarim tayyor mahsulotlar va tayyor mahsulotlarning xossalari tahlil qilish uchun kimyoviy, fizik-kimyoviy tahlilning skanerlovchi elektron mikroskop (SEM - EVO MA 10 (Zeiss, Germany)), element tahlil uchun (Energy-Dispersive x-ray spectrometer (EDS-Oxford Instrument)) va rentgenofazali usulidan (Panalytical Empyrean, (Niderlandiya)) foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

kaliy karbonat eritmasini konversiyalash jarayoniga bosqichma-bosqich kiritilishi natijasida, jarayon davomiyligini 30 daqiqagacha kamayishi asoslangan;

sanoat chiqindisi fosfogipsni mahalliy chiqindi asosida karbonatli konversiyalash jarayonida konversiya darajasi 83-86% gacha borganligi asoslangan;

sanoat chiqindisi fosfogipsni mahalliy chiqindi asosida karbonatli konversiyalashdan olingan suspenziyasini filtrlanish tezligi 1809,44 kg/m<sup>2</sup>·soat va 3545,81 kg/m<sup>2</sup>·soat ekanligi aniqlangan;

tadqiqot doirasida olingan namunalarning rentgenafazali, IQ-spektroskopik va fizik-kimyoviy tahlillari o'tkazilgan hamda xlorsiz kaliyli o'g'it olishning maqbul tarkibi aniqlangan;

sanoat chiqindisi fosfogipsni mahalliy chiqindi asosida karbonatli konversiyalash orqali kaliy sulfat olishning moddiy sarf hisobi ishlab chiqilgan, quritish hamda sovutish jarayonlarini optimallashtirish orqali resurstejamkor kaliy sulfat olish texnologiyasi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

sanoat chiqindisi fosfogipsni kungaboqar kuli asosida karbonatli usulda tarkibida kaliy va oltingugurt saqlovchi o'g'it olishning maqbul texnologik omillari aniqlangan va resurstejamkor texnologiyasi ishlab chiqilgan;

sanoat chiqindisi fosfogipsni kungaboqar kuli asosida karbonatli qayta ishlash natijasida ikkilamchi mahsulot sifatida tarkibida 97% gacha  $\text{CaCO}_3$  saqlovchi qurilish materiali olishning maqbul ko'rsatkichlari aniqlangan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Kimyoviy va zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil natijalari laboratoriya tajribalari hamda tajriba-sanoat sinovlari, rentgenofazaviy, infraqizil spektr, energiya dispersion tahlillar, mass-spektroskopiya va eksperimental materiallarning katta hajmda olinganligi hamda joriy etish bo'yicha olingan dalolatnomalar va yuqori tashkilotning ma'lumotnomasi asosida tasdiqlangan.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati shundaki, sanoat chiqindisi fosfogipsni kungaboqar kuli asosida karbonatli konversiya qilish jarayoniga kaliy karbonatning turli konsentratsiya va me'yorlarda berilishi natijasida ushbu xomashyolarni o'zaro konversiyalanishining qonuniyatlari aniqlanganligi, konversiya jarayoniga kaliy sulfatning aylanma eritmasi kiritilishi sababli sulfokarbonatli suspenziyani filtrlanish samaradorligi ortganligi, konversiya jarayonining maqbul kattaliklari ishlab chiqilganligi, tarkibida xlor saqlamagan yuqori konsentratsiyali kaliyli o'g'it olish jarayonining texnologik ko'rsatkichlari aniqlanganligi hamda kaliy sulfat o'g'itini olishga asos bo'ladi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati shundan iboratki, ekstraksion fosfor kislotasi ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan fosfogips chiqindisini mahalliy kungaboqar kuli asosida karbonatli qayta ishlab, qishloq xo'jaligida talab yuqori bo'lgan tarkibida kaliy va oltingugurt ozuqa moddalarini saqlovchi mineral o'g'it olish orqali uning miqdorini ma'lum darajada kamayishiga erishiladi hamda sanoat chiqindisi fosfogipsni atrof-muhitga keltirayotgan zararlari ma'lum darajada bartaraf etiladi va kaliy sulfat o'g'iti olishda qo'shimcha mahsulot sifatida hosil bo'lgan kalsiy karbonatdan qurilish materiali sifatida keng miqyosda foydalanishga xizmat qiladi.

**Tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilishi.** Respublikamizdagi mahalliy xomashyo fosfogipsni suyuq usulda karbonatli qayta ishlash orqali kaliy sulfat o'g'iti olish texnologiyalarini ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

Sanoat va mahalliy chiqindilarni kislotali qayta ishlash orqali kaliy sulfat ishlab chiqarishning taklif etilayotgan texnologiyasi 2027-2028 yillarda “Elektrokimyozavod” qo‘shma korxonasi tomonidan istiqbolli ishlanmalar ro‘yxatiga kiritilgan (“Elektrokimyozavod” QK AJ ning 2025 yil 23 maydagi 60-son ma’lumotnomasi). Natijada, kaliy va oltingugurtli o‘g‘it ishlab chiqarish imkonini beradi.

sanoat va mahalliy chiqindilarni konversiya usulida qayta ishlab kaliy sulfat ishlab chiqarishning taklif etilayotgan texnologiyasi 2027-2028 yillarda “Elektrokimyozavod” qo‘shma korxonasi tomonidan istiqbolli ishlanmalar ro‘yxatiga kiritilgan (“Elektrokimyozavod” QK AJ ning 2025 yil 23 maydagi 60-son ma’lumotnomasi). Natijada, kaliy va oltingugurtli o‘g‘it ishlab chiqarish imkonini beradi.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Mazkur tadqiqot natijalari 1 ta xalqaro 1 ta Scopus va 7 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o‘tgan.

**Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinishi.** Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha 14 ta ilmiy ishlar chop etilgan. Jumladan, dissertatsiyaning asosiy ilmiy natijalari 5 ta ilmiy maqola, ulardan O‘zbekiston Respublikasi Oliy Attestasiya komissiyasi tomonidan chop etish tavsiya etilgan respublika jurnallarida 4 ta va 1 ta xorijiy jurnalda chop etilgan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya ishi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati, shartli belgi va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 98 betni tashkil etgan.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish qismida** tadqiqotning dolzarbligi va zarurati asoslangan, shuningdek, tadqiqotning maqsad va vazifalari shakllantirilgan, respublikada fan va texnologiyani rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqot obyektlari va predmetlari keltirilgan, ilmiy tadqiqot natijalarining ishonchligi asoslangan, olingan natijalarning ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati bayon etilgan, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi haqida ma’lumotlar keltirilgan. Dissertatsiyaning «**Kaliy sulfat ishlab chiqarishning hozirgi holati va uni olish usullari**» deb nomlangan birinchi bobida, kaliy sulfat xomashyolari va qishloq xo‘jaligida kaliy va oltingugurtli o‘g‘it sifatida tutgan o‘rni, dunyo miqyosida kaliy sulfat ishlab chiqarishning turli xil usullari bo‘yicha tahliliy ma’lumotlar keltirilgan.

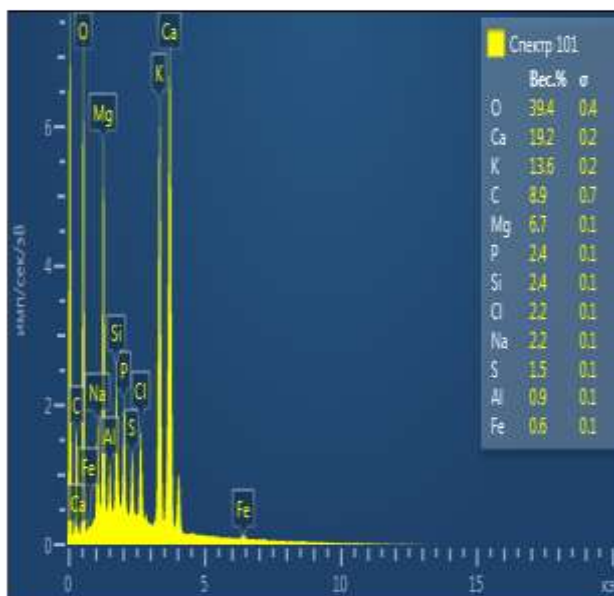
Dissertatsiyaning «**Tadqiqot obyektlari, ularni tavsifi va tajribalarni o‘tkazish usullari**» deb nomlangan ikkinchi bobida, dissertatsiya ishini bajarishda obyekt sifatida tanlab olingan qo‘shimchalarning tarkibi va xossalarni aniqlash hamda ular asosida olingan o‘g‘it namunalarini tayyorlash usullari haqida bayon qilinadi.

Ilmiy tadqiqot ishlari sanoat va mahalliy chiqindilar fosfogips (yuvib quritilgan) va kaliy karbonat ( $K_2CO_3$  – 27,2%) bilan olib borildi. Fosfogips va kungaboqar kuli namunalarining asosiy kimyoviy tarkibi quyidagi 1-rasmda keltirilgan.

Analyzed result(FP method, Scatter)

No.	Component	Result	Unit	Stat. Err.	LLD	LLQ
1	Al2O3	0.923	mass%	0.0181	0.0341	0.102
2	SiO2	2.27	mass%	0.0142	0.0143	0.0428
3	P2O5	2.61	mass%	0.0107	0.0185	0.0556
4	SO3	46.7	mass%	0.0437	0.0265	0.0796
5	K2O	0.130	mass%	0.0031	0.0047	0.0141
6	CaO	36.3	mass%	0.0505	0.0023	0.0070
7	TiO2	0.0268	mass%	0.0012	0.0019	0.0057
8	V2O5	(0.0038)	mass%	0.0006	0.0015	0.0045
9	MnO	0.0136	mass%	0.0007	0.0008	0.0025
10	Fe2O3	0.127	mass%	0.0016	0.0009	0.0028
11	NiO	0.0021	mass%	0.0002	0.0004	0.0013
12	CuO	0.0045	mass%	0.0002	0.0003	0.0009
13	ZnO	0.0044	mass%	0.0002	0.0002	0.0006
14	SeO2	0.0016	mass%	<0.0001	<0.0001	0.0003
15	Rb2O	0.0008	mass%	<0.0001	<0.0001	0.0002
16	SrO	0.0988	mass%	0.0003	0.0003	0.0009
17	Y2O3	0.0090	mass%	<0.0001	0.0001	0.0003
18	ZrO2	0.190	mass%	0.0026	0.0007	0.0022
19	Ag2O	0.0012	mass%	0.0002	0.0002	0.0007
20	Ta2O5	(0.0019)	mass%	0.0003	0.0006	0.0019
21	OsO4	(0.0013)	mass%	0.0002	0.0006	0.0018
22	PbO	0.0023	mass%	0.0001	0.0002	0.0005
23	Dy2O3	0.0091	mass%	0.0009	0.0017	0.0052
24	Yb2O3	(0.0022)	mass%	0.0004	0.0011	0.0033
25	U3O8	0.0014	mass%	<0.0001	0.0002	0.0007

Spectrum



### 1-rasm. Kungaboqar kuli va fosfogipsning skanerli elektron mikroskop tahlili

Dissertatsiyaning «Fosfogipsni nitratli konversiya yo‘li bilan kaliy sulfat olish» deb nomlangan uchinchi bobida, fosfogipsni kaliy nitrat bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri konversiyalab kaliy sulfatga aylantirish orqali xlorsiz kaliyli o‘g‘itlarga qayta ishlash bo‘yicha bajarilgan ishlar haqida ma’lumotlar keltirilgan. Eng katta amaliy qiziqish fosfogips va  $KNO_3$  ni kaliy sulfat yoki singenit hosil qilish uchun to‘g‘ridan-to‘g‘ri konvertatsiya qilishga qaratilgan. Kaliy nitrat va kalsiy sulfatning konversiyalash jarayoni tuzlarning  $K^+$ ,  $Ca^{2+}||NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}-H_2O$  sistemadagi eruvchanligiga asoslangan.

Gipsning kaliy nitrat eritmasi bilan parchalanishi quyidagi reaksiyaga muvofiq ikki bosqichda olib boriladi:



Bu jarayonni amalga oshirishning maqbul sharoitlarini aniqlash uchun  $KNO_3$  va  $CaSO_4$  ni eritmasida  $K_2SO_4$  olish jarayoniga  $KNO_3$  sarfi, aralashtirish vaqti, harorati va miqdori o‘rganildi. Tadqiqotlar natijasida aniqlandi (1-jadval).  $KNO_3$  ni iste’mol qilish darajasi stexiometriya me’yoridan oshishi konversiya jarayoniga ijobiy ta’sir etadi, natijada olingan mahsulot tarkibidagi  $K_2SO_4$  ning miqdori oshadi. Shunday qilib,  $KNO_3$  ning 150% stoxiometriya me’yorida qattiq fazaning mineralogik tarkibida 63,74% va 67,31 %  $K_2SO_4$  mavjud bo‘ladi.

$KNO_3$  va fosfogips o‘rtasidagi konversiyani amalga oshirishda muhim parametrlardan biri haroratdir. Ma’lumki, haroratning oshishi, kimyoviy jarayonni tezlashtiradi, bu reaksiyaga kirishuvchi moddalar molekulalarining to‘qnashuvining tezlashishiga olib keladi.  $CaSO_4$  va  $KNO_3$  ning konversiyasini amalga oshirish 60-80°C da olib borish tavsiya etilgan: birinchidan, yuqorida ko‘rsatilgandek, sulfatning

eruvchanligining oshishi tufayli haroratning ko‘tarilishi  $\text{CaSO}_4$  va  $\text{KNO}_3$  o‘rtasidagi almashinuv reaksiyasiga ijobiy ta’sir qiladi, ikkinchidan,  $\text{CaSO}_4$  ning suvda erishi va  $\text{KNO}_3$  ning o‘zaro ta’sirlashish yuzaga keladi, natijada tizimning  $60^\circ\text{C}$  gacha ko‘tarilishi reaksiyani o‘ng tamonga siljitadi, bu reaksiyaning borishiga ham ta’sir qilishi mumkin; uchinchidan, haroratning oshishi  $\text{CaSO}_4$  ning suvda eruvchanligini oshishiga yordam beradi. Shunday qilib, agar  $60^\circ\text{C}$  da suvda maksimal  $\text{CaSO}_4$  miqdori 26,7% bo‘lsa, u holda  $80^\circ\text{C}$  da 760 mm simob ustunida u 38,6% gacha yetadi. Yuqoridagilarga asoslanib,  $\text{CaSO}_4$  va  $\text{KNO}_3$  tuzlarining 60 dan  $80^\circ\text{C}$  gacha bo‘lgan harorat oralig‘ida konversiyalash jarayoni o‘rganildi.

### 1-jadval

#### **$\text{KNO}_3$ va fosfogipsni konversiyasiga aralashtirish vaqti 30 daqiqa, sifat va miqdoriy ko‘rsatkichlariga stixiometriyaga nisbatan $\text{KNO}_3$ sarflanish me‘yorini ta’siri**

KNO <sub>3</sub> ni stoxiometrik me‘yor darajasi, %	Tuz tarkibi, og‘: %			Mineralogik tarkib, og‘: %			
	KNO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KNO <sub>3</sub>	Singenit	CaSO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
100	0	14,12	40,63	0	64,11	-	32,22
120	2,54	13,66	44,22	2,33	49,72	-	46,41
130	1,77	12,31	46,39	1,87	40,28	3,13	50,09
140	1,02	9,77	50,29	1,22	20,13	3,49	53,16
150	0,93	7,49	63,74	0,95	-	3,55	67,31
160	0,89	6,70	74,11	0,87	-	4,77	74,07
170	0,75	5,93	74,82	0,79	-	5,15	75,91
175	0,68	5,07	74,89	0,67	-	5,66	76,40

Tadqiqotlar  $\text{KNO}_3$  ning 150% stexiometriya me‘yor darajasida va 30 daqiqa aralashtirish vaqtida amalga oshirildi. Kutilganidek, haroratning oshishi qattiq fazadagi  $\text{K}_2\text{SO}_4$  miqdorining ortishiga olib keldi (2-jadval).

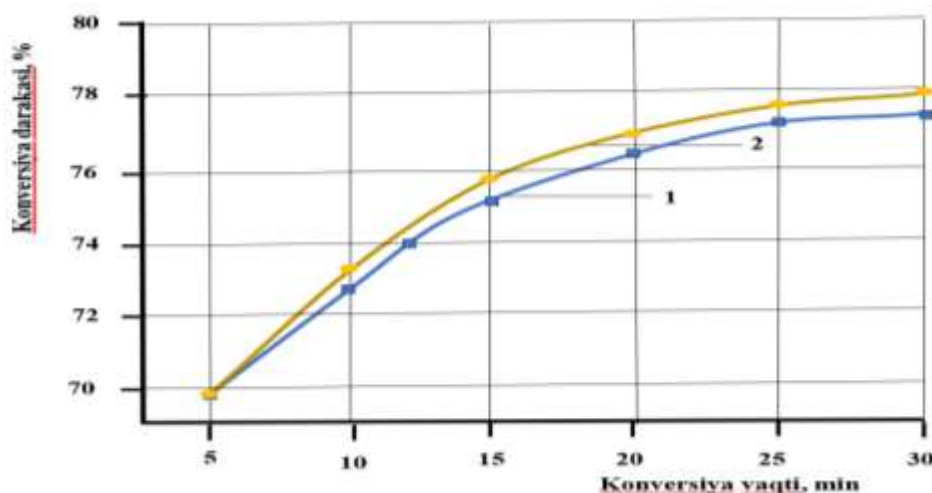
Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda, agar  $30^\circ\text{C}$  da qattiq fazada  $\text{K}_2\text{SO}_4$  konsentratsiyasi 44,49% ga yetsa,  $50$  va  $80^\circ\text{C}$  da bu ko‘rsatkich mos ravishda 54,13 va 79,63% ga yetdi.  $60^\circ\text{C}$  da  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ning miqdori 77,54% ni tashkil etdi, ya’ni teskari reaksiya kuzatilmadi. Olingan natijalarni tahlil qilganda,  $80^\circ\text{C}$  da  $\text{K}_2\text{SO}_4$  miqdori eng yuqori qiymatga yetganligi aniqlandi – 79,51%. Shu bilan birga, konversiya jarayonini past haroratlarda olib borish murakkab nostandart qurilmalarni talab qiladi. Shundan kelib chiqib, konversiya jarayonini amalga oshirish uchun maqbul harorat  $60-80^\circ\text{C}$  deb hisoblanishi kerak, bunda qattiq fazadagi  $\text{K}_2\text{SO}_4$  konsentratsiyasi taxminan 79,63% ga yetadi.

## 2-jadval

### KNO<sub>3</sub> va CaSO<sub>4</sub> ni konversiya jarayonida olingan qattiq fazaning sifat va miqdoriy ko'rsatkichlariga haroratning ta'siri (KNO<sub>3</sub> ni stexiometrik me'yor darajasi 150%)

Harorat, °C	Konversiya vaqti, daqiqa	Qattiq fazaning ion tarkibi, og'%; %				Qattiq fazaning tuz tarkibi, og'%; %		
		K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	KNO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
30	15	42,1	1,55	0,30	53,4	0,61	5,42	44,49
40	15	43,8	1,51	0,33	54,4	0,63	5,22	44,91
50	15	42,9	1,49	0,32	55,2	0,65	5,11	53,42
50	30	41,3	1,76	0,40	54,7	0,72	6,02	54,13
60	15	40,1	1,60	0,37	53,0	0,77	5,41	61,44
60	30	41,1	2,36	0,41	55,5	0,86	7,65	77,54
70	15	39,5	2,66	0	54,9	-	8,72	78,73
80	15	31,3	6,72	1,68	52,8	3,51	21,39	79,51
80	30	40,8	2,70	0,41	56,3	0,94	9,22	79,63

2-rasmda konversiya darajasining vaqtga bog'liq holda o'zgarishi batafsil tasvirlangan bo'lib, unda ikki xil sharoit taqqoslangan. Gorizontalar o'qda jarayon davomiyligi — ya'ni vaqt (5 dan 30 daqiqagacha), vertikal o'qda esa konversiya darajasi foizlarda ifodalangan. 20 daqiqadan boshlab konversiya darajasining oshish sur'ati sezilarli darajada sekinlashadi. Ya'ni, jarayon asta-sekin muvozanat holatiga yaqinlashadi. 25–30 daqiqa oralig'ida esa konversiya deyarli o'zgarmaydi va maksimal qiymatga yaqinlashadi (taxminan 77–78%). Bu holat reaksiyaning deyarli yakunlanganini yoki tizimda muvozanat qaror topganini anglatadi.



#### 2-rasm Konversiya darajasini vaqtga bog'liqligi 1) 60°C; 2) 80°C

100% me'yor bilan KNO<sub>3</sub> berilganda tizim stoixiometrik nisbatga yaqin sharoitda ishlaydi. Bunday holatda CaSO<sub>4</sub> ning asosiy qismi reaksiyaga kirishib, eritmada Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> hosil bo'ladi. Suyuq faza asosan Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> eritmasidan iborat bo'lib, unda juda kichik miqdorda reaksiyaga kirmagan KNO<sub>3</sub> mavjud bo'lishi mumkin. 120% me'yor bilan KNO<sub>3</sub> berilganda tizimda kaliy nitrat ortiqcha miqdorda bo'ladi. Bu esa eritmaning ion tarkibini o'zgartirib, nitrat-ionlarning

konsentratsiyasini oshiradi. Natijada CaSO<sub>4</sub> ning konversiya darajasi ortadi va Ca<sup>2+</sup> ionlari eritmaga ko‘proq o‘tadi. Suyuq fazada Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ning konsentratsiyasi oshadi hamda reaksiyaga kirmagan KNO<sub>3</sub> ham sezilarli miqdorda saqlanib qoladi. 150% me‘yor bilan KNO<sub>3</sub> berilganda tizimda kaliy nitratning sezilarli ortiqcha miqdori yuzaga keladi. Bu holatda CaSO<sub>4</sub> ning konversiya darajasi deyarli maksimal qiymatga yetadi va uning asosiy qismi reaksiyaga kirishadi. Natijada suyuq faza Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ning yuqori konsentratsiyali eritmasidan iborat bo‘ladi hamda unda katta miqdorda ortiqcha KNO<sub>3</sub> mavjud bo‘ladi. Qattiq faza esa asosan K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kristallaridan tashkil topadi. Olingan natijalar 3-jadvalda keltirilgan.

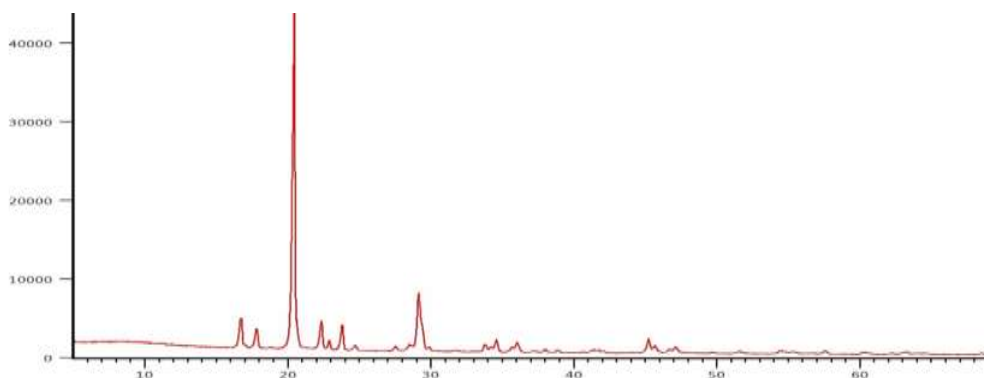
### 3-jadval

#### Kaliy sulfat aylanma eritmasi ishtirokida, fosfogipsni kaliy nitratning 50% li suvli eritmasi bilan konversiya qilib olingan filtratdagi kaliy sulfat massa ulushi va fosfogipsning konversiyalanish darajasi

Kaliy nitrat kritilish vaqti, Daqiqa	Ayanma eritma K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> konsentratsiyasi, %	H, °C	KNO <sub>3</sub> stexiometriya me‘yori, %					
			100		120		150	
			Konversiyalanish darajasi, %	Filtratdagi kaliy sulfat massa ulushi, %	Konversiyalanish darajasi, %	Filtratdagi kaliy sulfat massa ulushi, %	Konversiyalanish darajasi, %	Filtratdagi kaliy sulfat massa ulushi, %
5	15	80	41,19	19,62	42,73	20,02	44,11	20,61
	25		50,59	23,47	51,66	24,46	53,94	25,32
	35		59,11	28,39	60,98	29,18	62,24	30,19
10	15	80	42,60	22,19	43,22	23,47	44,43	25,31
	25		51,73	28,31	52,79	29,78	53,76	30,42
	35		60,29	33,47	61,11	34,13	62,16	35,34
15	15	80	45,46	30,14	45,53	31,95	45,68	33,14
	25		54,69	32,22	55,90	35,93	53,79	37,31
	35		63,88	37,41	65,95	40,24	66,59	41,04
2	15	80	49,70	32,89	53,55	33,72	56,67	35,09
	25		58,38	36,53	62,44	38,26	63,49	38,79
	35		63,93	39,47	71,13	40,75	74,68	42,17
25	15	80	53,27	35,67	55,36	35,41	57,79	36,60
	25		62,66	39,57	63,97	39,88	64,63	41,38
	35		64,52	40,23	72,71	42,49	75,45	43,90
30	15	80	54,73	37,84	65,40	38,21	65,78	39,09
	25		65,57	41,78	69,22	42,37	74,65	43,18
	35		74,96	44,29	73,57	43,65	79,39	47,38

Fosfogipsni suyuqlik usulida nitratli qayta ishlash jarayonida kaliy sulfatdan tashqari kalsiy nitrat eritmasi hosil bo‘ladi. Ushbu eritmalarning kimyoviy tarkibi va fizik kimyoviy xossalari o‘rganish muhim hisoblanadi. Navbatdagi tadqiqotlarimizda namunalarning fizik-kimyoviy xossalari aniqlandi.

Laboratoriya sharoitida, fosfogipsni suyuqlik usulida kaliy nitrat yordamida konversiyalash natijasida olingan quritilgan  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  cho‘kmasining kimyoviy tarkibi turli standart laboratoriya metodlari asosida tahlil qilindi. Ushbu tahlillar orqali mahsulotning asosiy kimyoviy komponentlari aniqlanib, konversiya samaradorligi baholandi.



### 3-rasm FG asosida olingan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ning rentgenografik tasviri

Kalsiy nitrat cho‘kmasi ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ). Kristall struktura: tetragonal yoki trigonal tuzilishga yaqin (kristallanish sharoitiga qarab). Asosiy difraksion cho‘qqilar:  $12.5^\circ$ ,  $23.8^\circ$ ,  $29.6^\circ$ ,  $36.2^\circ$  ( $2\theta$ ). Fazaviy tarkib:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (gidrat) – 85–88%. Qolgan qism: minor fazalar (kaliy sulfat izlari, iflosliklar) – 12–15%.

Dissertatsiyaning «**Fosfogipsni karbonatli konversiya yo‘li bilan kaliy sulfat olish texnologiyasini ishlab chiqish**» deb nomlangan to‘rtinchi bobida, kaliy sulfat olishning mavjud usullari ichida O‘zbekiston sharoiti uchun kaliy karbonat (mahalliy kul tarkibidagi) hamda fosfogipsning o‘zaro ta‘siriga asoslangan konversiya usuli eng maqbul hisoblanadi. Tadqiqotni olib borish uchun 2-bobda keltirilgan xomashyolardan foydalandik.

Kaliy karbonat va kalsiy sulfatning almashinuv reaksiyasi quyidagicha boradi,



Ushbu dissertatsiyada konversiya usulida, mahalliy chiqindilar va sanoat chiqindilaridan foydalanib  $\text{K}_2\text{SO}_4$  sintez qilish uchun 38,6% li  $\text{CaSO}_4$  eritmasi,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  ning 27,2% eritmasidan foydalanilgan. Konvertatsiya  $30^\circ\text{C}$  haroratda 25 daqiqada amalga oshirildi.

Konversiya jarayoni  $30^\circ\text{C}$  va 25 daqiqa davomida kalsiy sulfat eritmasini kaliy karbonatning to‘yingan eritmasiga qo‘shib, komponentlarning 1:1 S:Q molyar nisbati bo‘lguncha amalga oshirildi.

4-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, suyuqlik fazasining nisbati 1: 0,7 dan 1: 2 gacha o‘sishi bilan  $\text{K}_2\text{O}$  ning qattiq fazadagi miqdori 31,77 dan 50,93% gacha

ko'tarilgan, boshqa komponentlar esa kamaygan. Shunday qilib,  $\text{Ca}^+$  miqdori 21,66 dan 1,11% gacha, karbonat 23,78 dan 1,21% gacha,  $\text{SO}_4^{2-}$  51,45 dan 48,24% gacha kamayadi. Olingan qo'sh tuz  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$  lar komponentlar bilan ifloslanganligi, bu esa qattiq fazada karbonat va kalsiy ionlarining mavjudligidan dalolat beradi. S:Q ning 1:0,7 dan 1:2 gacha ko'tarilishi bilan suyuq fazaning tarkibi unchalik sezilarli darajada o'zgarmaydi. Shunday qilib,  $\text{K}_2\text{O}$  tarkibi 10,68 dan 13,07% gacha ko'tarildi.

Olingan natijalar texnologik jihatdan Q:S nisbati 1: (0,7 - 2) ekanligini ko'rsatadi. Hosil bo'lgan qo'sh tuz tarkibida (og' %):  $\text{K}_2\text{O}$  - 31,77-50,93;  $\text{SO}_4^{2-}$  - 51,45-48,24;  $\text{Ca}^{2+}$  - 21,66-1,11;  $\text{CO}_2^{2-}$  - 23,78-1,21.

#### 4-jadval

#### Konversiyalash jarayonining kimyoviy tarkibiga Q:S fazalarning ta'siri (jarayon davomiyligi 25 daqiqa, harorat 30 °C)

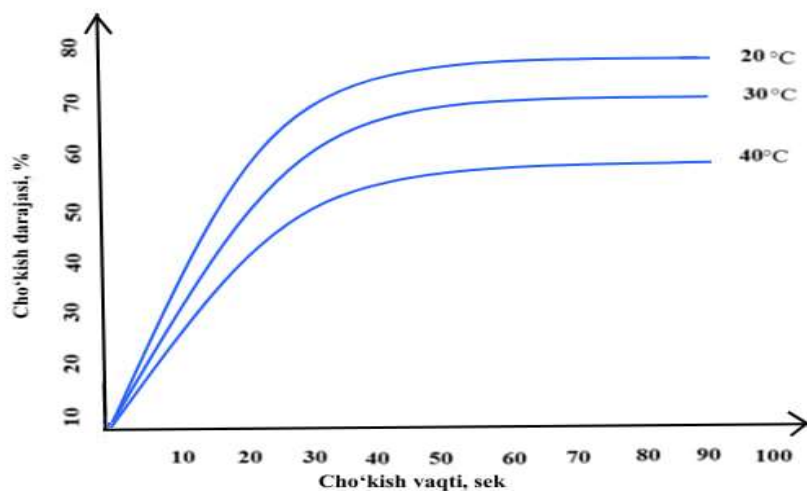
Q:S	Qattiq fazaning tarkibi, og'irlik %				Suyuq fazaning tarkibi, og'irlik %			
	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{CO}_2^{2-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{CO}_2^{2-}$	$\text{SO}_4^{2-}$
1:0,7	31,77	21,66	23,78	51,45	10,68	15,11	16,44	1,47
1:1,0	35,29	11,93	13,10	50,27	11,21	19,43	21,27	1,39
1:1,2	39,87	6,95	7,62	49,88	11,98	22,66	24,88	1,25
1:1,5	43,99	3,97	4,32	49,37	12,45	24,71	27,10	1,18
1:1,7	49,83	2,09	2,27	48,55	12,79	26,12	28,69	1,09
1:2,0	50,93	1,11	1,21	48,24	13,07	29,89	32,85	0,87

Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, kaliy karbonat kalsiy sulfat bilan o'zaro ta'sirlashib, kaliy sulfatning tuzini hosil qildi. Kaliy sulfat tuzini olishning maqbul shartlari kaliy karbonat: kalsiy sulfat = 1 : 1; Q : S = 1 : (1,7÷2), harorat 30°C, jarayon davomiyligi 25 daqiqani tashkil etdi.

$\text{K}_2\text{SO}_4$  sintezida konversiyaning ustuvor bosqichlaridan biri filtrlash va cho'ktirishdir. Ularning cho'kish va filtrlash tezligi bo'yicha tajribalar o'tkazildi.

Birinchi bosqichda pulpaning tiniqlanish darajasini o'rganish 20, 30 va 40°C haroratda butun balandlik bo'ylab bo'linishlar bilan 100 ml hajmli gradusli silindrda amalga oshirildi.

Vaqt va harorat o'zgarishi bilan ajralish darajasi haqidagi ma'lumotlar 4-rasmda ko'rsatilgan. Ma'lumotlar  $\text{K}_2\text{CO}_3$  ni  $\text{CaSO}_4$  bilan konvertatsiya qilishda olingan pulpalarni samarali ajratishni ko'rsatadi. Masalan,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  va  $\text{CaSO}_4$  ga asoslangan suspenziyaning 30 soniyadan keyin cho'ktirish darajasi 20°C da 76,42%, 30°C cho'ktirishlikning eng yuqori darajasida 69,69%, 40°C da cho'ktirish darajasi bir vaqtning o'zida maksimal 58,25% ga yetdi.



**4-rasm. Kalsiy sulfat va kaliy karbonat konversiyasida hosil bo'lgan suspenziyani cho'kish darajasi**

Quyushgan pulpaning filtrlash xususiyatlari dastlabki  $K_2CO_3:CaSO_4$  nisbati va filtrlash haroratining o'zgarishi bilan o'rganildi. Filtrlash jarayonida dastlabki molyar nisbati  $K_2CO_3:CaSO_4 = 1:1$ , Q:S 1:0,7 dan 1:2,0 gacha va harorat 25 dan 55°C gacha bo'lgan o'zgarishiga qarab qo'sh tuz bo'tqasining tezliklari 5-jadvalda keltirilgan.

**5-jadval**

**Konversiya natijasida olingan tuz suspenziyasining filtrlash jarayoniga Q:S nisbat va haroratning ta'siri**

№	Q : S	T, °C	Filtrlash tezligi, kg/m <sup>2</sup> ·soat		
			Bo'tqa bo'yicha	Qattiq faza bo'yicha	Suyuq faza bo'yicha
1	1 : 0,7	25	1711,41	649,11	983,77
		35	2921,11	1103,56	1483,45
		55	3323,77	1366,37	1877,20
2	1 : 1,0	25	1809,44	557,93	1177,49
		35	3098,62	799,43	1989,05
		55	3545,81	901,36	2562,83
3	1 : 1,5	25	1934,56	507,44	1355,93
		35	3288,42	761,33	2206,45
		55	3878,93	879,23	3306,88
4	1 : 2,0	25	2173,79	312,45	2256,78
		35	3677,38	407,61	3979,04
		55	4683,16	412,09	7103,44

Q : S ning 1 : 1 dan 1 : 2 gacha va harorat 25 dan 55°C gacha oshishi bilan bo'tqa va filtrat bilan filtrlash tezligi biroz oshadi. Cho'kma bo'yicha u haroratning oshishi bilan sezilarli darajada oshadi va Q : S nisbati oshishi bilan kamayadi. Shunday qilib, agar  $K_2CO_3 : CaSO_4 = 1 : 1$  va  $Q : S = 1:1$  molyar nisbatda pulpa bilan filtrlash tezligi mos ravishda 1809,44 kg/m<sup>2</sup>·soat dan 3545,81 kg/m<sup>2</sup>·soatgacha oshadi, harorat 25 dan 55°C gacha ko'tarilishi Q:S=1:1,5 bo'lganda 1934,56 dan 3878,93 kg/m<sup>2</sup>·soat gacha, ya'ni ular biroz oshdi.

Shunday qilib, tuzni ajratishda quyuvlashgan bo'tqaning filtrlash texnologik parametrlari uchun maqbul shartlar quyidagilardir: qattiq moddalar nisbati:suyuqlik 1:1,0-1,5 va filtrlash harorati 25-55°C, filtrlash tezligi ko'rsatkichlari maqbuldir.

Kaliy sulfatni olish uchun  $K_2CO_3 : CaSO_4 = 1 : 1$  molyar nisbatda, 30°C haroratda, jarayon davomiyligi 25 daqiqa, suspenziyada Q : S=1 : (0,7:2) nisbatni ta'minlovchi miqdorda olindi. Suspenziyaning konvertatsiyasiga Q:S nisbatining ta'siri o'rganildi va olingan ma'lumotlar 6-jadvalda keltirilgan.

6-jadvaldan ko'rinib turibdiki, Q : S da 1 : 0,7 va 1 : 2 da olingan kaliy sulfatning tarkibi amalda bir xil tarkibga ega. Bu shuni ko'rsatadiki, Q : S ni 1 : 1 dan ortiq oshirish hosil bo'lgan kaliy sulfat tarkibiga amalda ta'sir qilmaydi. Quritgandan so'ng hosil bo'lgan mahsulotning tarkibi (g.%): K<sub>2</sub>O - 50,78; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - 51,90; CaO<sup>+</sup> - 1,02; CO<sub>2</sub><sup>2-</sup> - 1,10.

#### 6-jadval

#### Qattiq va suyuq faza nisbatini mahsulot kimyoviy tarkibiga ta'siri

Q : S	Qattiq fazaning tarkibi, og'irlik %				Suyuq fazaning tarkibi, og'irlik %			
	K <sub>2</sub> O	CaO	CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sub>2</sub> O	CaO	CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
1 : 0,7	50,23	1,09	1,15	51,35	6,11	6,49	5,00	0,98
1 : 1,0	50,78	1,02	1,10	51,90	6,01	6,12	4,79	1,33
1 : 1,5	51,43	0,94	1,00	52,55	5,93	5,82	4,55	1,97
1 : 2,0	51,79	0,89	0,96	52,85	5,78	5,49	4,30	2,28

Suv bilan yuvilganda K<sub>2</sub>O miqdori 53,45-53,64%, sulfat ionlari - 54,55-54,77% darajasida qoladi, Ca<sup>2+</sup> miqdori 0,13% dan 1 : 0,7 nisbatda 0,08% gacha 1 : 2,0 gacha kamaydi (7-jadval).

#### 7-jadval

#### Bir marta suv bilan yuvilgandagi kaliy sulfatning kimyoviy tarkibi

Q : S	Kimyoviy tarkibi, og'irlik %			
	K <sub>2</sub> O	CaO	CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
1 : 0,7	53,45	0,13	0,10	54,55
1 : 1,0	53,56	0,11	0,08	54,67
1 : 1,5	53,61	0,09	0,07	54,73
1 : 2,0	53,64	0,08	0,06	54,77

Bularning barchasi Q : S nisbati ortishi bilan K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ning tozaligi ortib borishidan dalolat beradi. Lekin Q : S ning ortishi K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kaliy sulfatning eritmaga o'tishini kuchayishi hisobiga K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> massasi unumini pasayishiga olib keladi. Eng yaxshi natijalar Q : S nisbati 1 : 1 deb hisoblandi. Bunda hosil bo'lgan mahsulot (og'irlik %) o'z ichiga oladi: K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - 99,22, CaCO<sub>3</sub> - 0,25, H<sub>2</sub>O - 0,50. Kaliy sulfatning qattiq

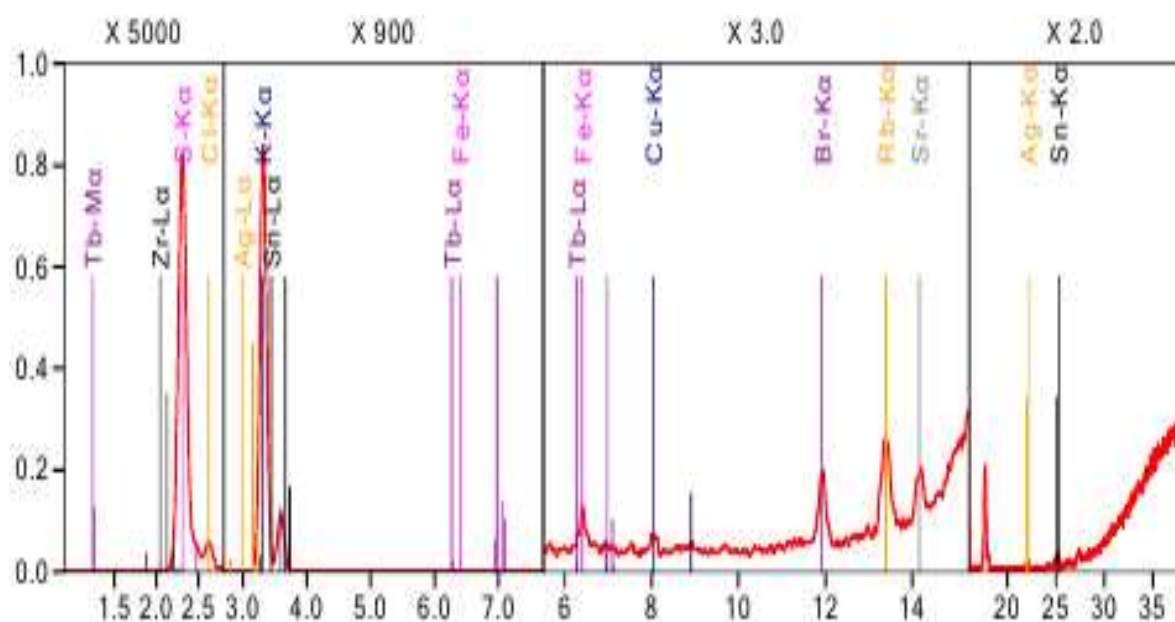
fazaga o'tish darajasi kaliy bo'yicha 76,2 % ni tashkil qiladi. Qattiq fazani kaliy sulfatning to'yingan eritmasi bilan yuvganda, uning unumi kamaymaydi, ammo qoldiq kalsiy ionlarining miqdori nisbatan yuqori bo'ladi.

### 8-jadval

#### Kaliy sulfat olishda ajratib olingan suyuqlikning haroratning zichlik va qovushqoqligiga ta'siri

Zichlik, g/sm <sup>3</sup>				Qovushqoqlik, sPz			
20°C	40°C	60°C	80°C	20°C	40°C	60°C	80°C
Q:S=1:1							
1,096	0,981	0,769	0,645	0,991	0,829	0,733	0,612

Kaliy karbonatning ishchi eritmasining zichligi harorat 20°C dan 80°C gacha ko'tarilganda 1,096 g/sm<sup>3</sup> dan 0,645 g/sm<sup>3</sup> gacha kamayadi, eritmaning qovushqoqligi esa 0,991-0,612 sPz ni tashkil qiladi (8-jadval). Jadvaldan ko'rinib turibdiki, harorat oshishi bilan eritmalarning zichligi ham, qovushqoqligi ham kamayadi. Shu bilan birga, barcha eritmalar maqbul reologik xususiyatlarga ega va ularni tashish paytida qiyinchiliklarga olib kelmaydi.



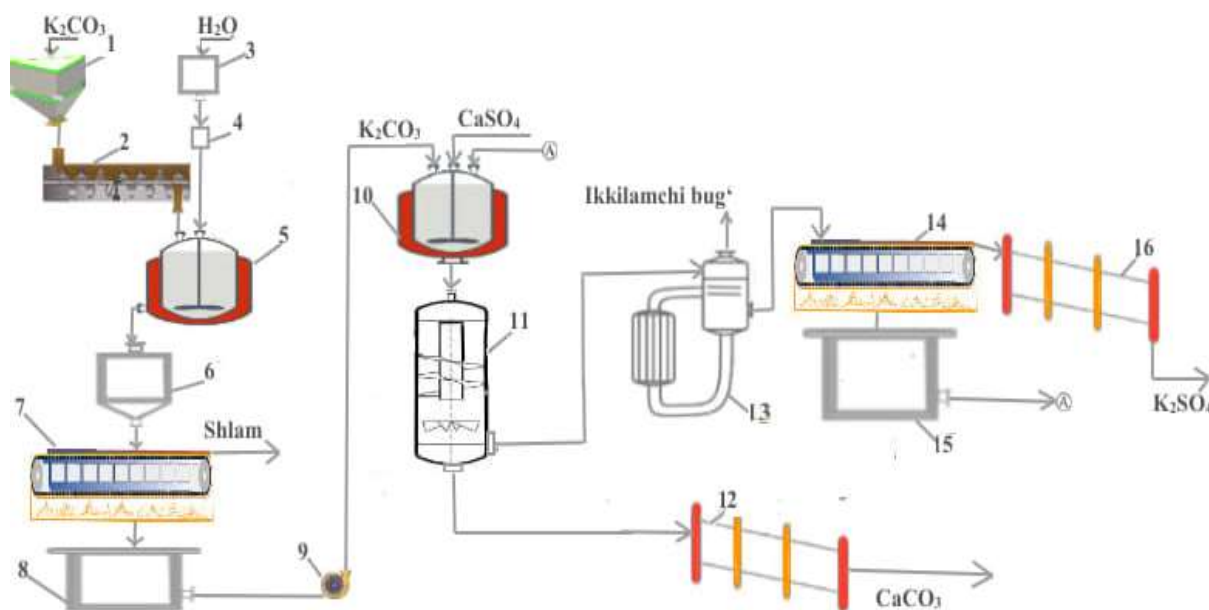
### 5-rasm. Yuvilgan kaliy sulfatning rentgenogrammasi

5-rasmdan ushbu rentgen nurlaridan shularni ko'rish mumkin. Bunda, tuz K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kaliy va sulfat ionlari bilan tetraedrik ravishda bog'langan bo'lib, bunda K-O-S bog'lanmalarini hosil qiladi. Tetraedrik va oktaedrik qatlamlar orasida esa (Na, Cl, C)-O-S bog'lanmalari mavjud. S bog'lanish energiyasi 6·10<sup>5</sup> bo'lib, tuz K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sezilarli ravishda siljigan. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, S<sup>6+</sup> ning K<sup>+</sup> bilan tetraedrik almashinuvi bilan oktaedrik almashinuvi SO<sub>4</sub> ning elektrmanfiyligini oshiradi va kuzatilgan bog'lanish energiyasini pasaytiradi. K/S nisbatining ortishi va bog'lanish energiyasidagi ijobiy o'zgarish oksid bog'larining ion xarakteriga bog'liqdir.

O'tkazilgan tadqiqotlar asosida mahalliy chiqindi kaliy karbonatdan va kalsiy sulfatidan konversiya usulida kaliy sulfat olishning asosiy texnologik sxemasi ishlab chiqilgan va 6-rasmda keltirilgan. Jarayonning mohiyati quyidagicha: kungaboqar kuli tarkibidagi kaliy karbonat konveyer orqali qabul qiluvchi idishga (1) yuboriladi va tasmali oziqlantiruvchi (2) tomonidan reaktorga (5) dozalanadi, u yerda to'yingan kaliy karbonat eritmasini olish uchun kerakli miqdorda suvda eritiladi. Olingan eritma cho'ktiruvchi idishga (6) berildi va suyuq fazaga - to'yingan kaliy karbonat eritmasidan tashkil topgan suspenziyaga va nam qismga - erimaydigan cho'kmaga ajratish uchun tasmali vakuum filtrida (7) filtrlandi. 38,6% kalsiy sulfat eritmasini hosil qiladi. To'liq eritilgandan so'ng, reaktordan kaliy karbonat va kalsiy sulfat eritmalari (10) aralashtirgich ishlayotgan holda reaktorga berildi. Reaktordagi eritmaning harorati 30°C ga ko'tarildi va 25 daqiqa davomida saqlandi.

Olingan (kalsiy karbonat) sentrafuga (11) da suyuq va qattiq fazalarga ajratiladi, namlik miqdori 10% bo'lgan tuz cho'kmasi hosil bo'ldi.

Aylanma eritma ajratgandan so'ng kaliy sulfat, bug'latgich (13) da bug'lanadi va tasmali vakuum filtri (14) da filtrlanadi. Suyuq faza konversiyaning I bosqichiga qaytariladi (10). Qattiq faza quritish uchun barabanli quritgich (16) ga beriladi. Qattiq faza  $K_2SO_4$  quritish uchun 100-110°C haroratda barabanli quritgichga berildi. Namligi 1% dan ko'p bo'lmagan quritilgan  $K_2SO_4$ , keyin 20°C ga qadar sovutildi, qadoqlandi va saqlandi.



### 6-rasm. Kaliy karbonat va fosfogips asosida kaliy sulfat olishning printsiplial texnologik sxemasi

1-bunker; 2-shnek; 3-bak, 4-sarf o'lchagichlar; 6-tindirgich; 5, 10-reaktorlar; 7, 14-tasmali vakuum filtr; 11-sentrafuga; 8, 15-sig'imli idishlar; 9-nasos; 12, 16-quritish barabani; 13-tashqi sirkulyatsion bug'latish qurilmasi.

Taklif etilayotgan texnologik oqim jadvali chiqindisiz, uzluksiz va moslashuvchan bo'lib, bir nechta mahsulot turlarini, jumladan, kristalli kaliy kalsiy

sulfat, kaliy sulfat, kalsiy karbonatni ishlab chiqarish imkonini beradi. Olingan ishchi suyuqliklari va yuvish eritmalari tayyor mahsulot ishlab chiqarish jarayonining dastlabki va keyingi bosqichlariga to'liq qayta ishlanadi. Taklif etilayotgan texnologiyaning siklik xususiyatidan kelib chiqqan holda, dastlabki xomashyo –  $K_2CO_3$  va  $CaSO_4$  eritmasi tayyor mahsulotda (kamida 86%) ishlatiladi. Qattiq yoki suyuq chiqindilar hosil bo'lmaydi.

Ushbu texnologik sxema asosida ishlab chiqariladigan 10 t kaliy sulfatning foydasi 43 million 950 ming so'mni tashkil etadi. Shunday qilib, texnik-iqtisodiy hisob-kitoblar mahalliy kungaboqar kuli tarkibidagi kaliy karbonat va kalsiy sulfat asosida  $K_2SO_4$  olishning yaxshi rentabell, import o'rnini bosuvchi mahsulotlar ishlab chiqarishga, qo'shimcha ish o'rinlarini yaratishga va shu bilan birga, xlorsiz kaliyli og'it olishga erishildi.

## XULOSA

Ushbu dissertatsiya natijasida quyidagi asosiy natijalarga erishildi:

1. Ekstraksion fosfor kislotasi (EFK) chiqindisi – fosfogipsning va mahalliy chiqindi “Kungaboqar” kulining kimyoviy va fizik-kimyoviy tarkibini aniqlash orqali konversiyalash jarayoniga ta'sir etuvchi texnologik ko'rsatkichlari, konversiya vaqti, kaliy karbonat konsentratsiyasi, kaliy karbonat me'yori, reaksiyon haroratning bog'liqlik darajalari aniqlandi.

2. Sulfokarbonat suspenziyasining filtrlanish tezligiga aylanma eritma va kaliy karbonat eritmasini reaksiyon zonaga kiritilish vaqtining bog'liqligi aniqlandi. Suspenziyaning filtrlanish tezligi filtratda  $2384 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{soat}$ , qattiq fazada  $1352 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{soat}$  bilan tasdiqlandi.

3. Konversion eritmalaridan qo'sh tuz va kaliy sulfatning yirik, oson filtrlanadigan kristallarini kristallanishini ta'minlovchi maqbul parametrlar aniqlandi. Maqbul konversiya shartlari  $30^\circ\text{C}$  harorat, qattiq: suyuqlik nisbati ( $K_2SO_4 \cdot CaSO_4 : K_2CO_3$ ) 1:1 va konversiya vaqti 25 daqiqa. Ushbu natijalar 50,78%  $K_2O$  o'z ichiga olgan mahsulotni berdi; 1,02%  $CaO$ ; 1,10%  $CO_2^{2-}$ ; va 51,90%  $SO_4^{2-}$ . 1:1 nisbatda suv bilan bir marta yuvish 53,56%  $K_2O$  ni o'z ichiga olgan mahsulotni beradi; 0,11%  $CaO$ ; 0,08%  $CO_2^{2-}$  va GOST talablariga javob beradigan 54,67% sulfatni olishga erishildi.

4. Tozalangan  $CaSO_4$  va kungaboqar kuli tarkibidagi  $K_2CO_3$  eritmalaridan  $K_2SO_4$  sintez qilishning yangi texnologiyalari va material balanslari taklif qilindi, materiallar oqimi sxemalari va ishlab chiqarish materiallari balanslari tuzildi. Ishlab chiqilgan texnologiyalar “Elektrokimyozavod” qo'shma korxonasida ishlab chiqarish sharoitida sinovdan o'tkazildi.

5. Texnik va iqtisodiy hisob-kitoblar kungaboqar kulidan  $K_2SO_4$  va  $CaCO_3$  ishlab chiqarishni tashkil etishning iqtisodiy samaradorligi va maqsadga muvofiqligini ko'rsatdi. 1 tonna kristalli kaliy sulfat ishlab chiqarishning iqtisodiy foydasi solishtirildi va import qilingan kaliy sulfatiga mos ravishda 9 104 979,25 so'mni tashkil etganligi aniqlandi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/2025.27.12.Т.19.06 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ФЕРГАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ФЕРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**УМАРОВА МАФТУНА МАШРАБЖОН КИЗИ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СУЛЬФАТА КАЛИЯ НА  
БАЗЕ МЕСТНОГО 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 в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2024.4. PhD/T5030.**

Диссертационная работа выполнена в Ферганский государственный технический университет.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице по адресу Научного совета [www.fstu.uz](http://www.fstu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу [www.ziyo.net](http://www.ziyo.net).

**Научный руководитель:** Дехканов Зулфикахар Киргизбаевич  
доктор технических наук, профессора

**Официальные оппоненты:** Султонов Баходир Эльбекович  
доктор технических наук, профессора  
Усанбоев Нажимуддин Халмирзаевич  
доктор технических наук, профессора

**Ведущая организация:** Новойский государственный горно-технологический университет

Защита диссертации состоится «03» июня 2026 г. в 16:00 часов на заседании Научного совета DSc.03/2025.27.12.T.19.06 при Ферганский государственный технический университет по адресу: 150100, г.Фергана, ул. Ферганская, 86. Тел.: (99873) 241-12-06; факс: (99873) 241-12-06, e-mail: [info@fstu.uz](mailto:info@fstu.uz)).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Ферганский государственный технический университет № 317 с которой можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре (150100, г.Фергана, ул. Ферганская, 86 Тел.: (99873) 241-12-06, e-mail: [info@fstu.uz](mailto:info@fstu.uz)).

Автореферат диссертации разослан «22» мая 2026 года.  
(реестр протокола рассылки № 6-26 от «20» мая 2026 года).

**Хамракулов З.А.**

Председатель Научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., доцент

**Мирзакулов Г.Р.**

Ученый секретарь Научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
д.ф.т.н., доцент

**Турдиалиев У.М.**

Председатель Научного семинара  
при Научном совете  
по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., профессор

## Введение (Аннотация диссертации на соискание ученой степени PhD)

**Актуальность и необходимость темы диссертации.** Рост численности населения и сокращение плодородных земель в мире приводят к увеличению спроса на качественные продукты питания, в связи с чем для повышения плодородия земель, используемых в сельском хозяйстве, требуется применение минеральных удобрений. Для повышения урожайности посевных площадей необходимо вносить в почву требуемое количество минеральных удобрений. Минеральные удобрения увеличивают количество питательных веществ, необходимых для роста и развития растений в почве, а также изменяют биологические, физические и химические свойства почвы. По этой причине важно увеличить объёмы производства комплексных удобрений, содержащих такие питательные элементы, как азот, фосфор, сера и калий.

В мировом масштабе учёными проводятся масштабные научные исследования с целью использования отходного фосфогипса, образующегося при производстве экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК), в качестве вторичного продукта. Накопление фосфогипса вызывает множество проблем, таких как нарушение экологии окружающей среды, а именно загрязнение гидросферы, литосферы и атмосферы. Для устранения этих проблем особое внимание уделяется переработке фосфогипса при высоких температурах для получения серной кислоты и строительных материалов, использованию его в качестве мелиоранта на посевных площадях, конверсии с карбонатом калия для получения бесхлорного калийного удобрения, необходимого для сельского хозяйства.

На одном из крупнейшем химическом предприятии Республики Узбекистан АО «Аммофос-Махам» достигнуты значительные научно-практические результаты по снижению вредного воздействия фосфогипса на окружающую среду. В цели 79 шестого направления Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы определены такие важные задачи, как **«...устранение существующих экологических проблем, наносящих ущерб здоровью населения и генофонду...»**. Исходя из этого, важное значение имеет переработка местного отходного фосфогипса путём конверсии его карбонатом калия, определение факторов, положительно влияющих на ход процесса, получение хорошо фильтрующихся кристаллов карбоната кальция, разработка энергосберегающей технологии получения сульфата калия с включением промежуточных продуктов и отходов.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы» и Постановлениях Президента Республики

Узбекистан № ПП-4265 от 3 апреля 2019 года «О мерах по дальнейшему реформированию химической промышленности и повышению её инвестиционной привлекательности,» № 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», Постановлениях Кабинета Министров Республики Узбекистан № 91 от 1 марта 2022 года «Об утверждении Общего технического регламента о безопасности минеральных удобрений», № 753 от 15 декабря 2022 года «О мерах по созданию инновационных химических научно-производственных и образовательных кластеров для химической промышленности,» а также в других нормативно-правовых документах, относящихся к данной сфере деятельности.

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

**Степень изученности проблемы.** Научные исследования, направленные на получение бесхлорного нитрата калия из промышленных и местных отходов, изложены в работах ведущих мировых научных центров и высших учебных заведений, в том числе А.А. Расулова, Б. Нумонова, А.Н. Рахимжанова, W. Shuang, И.М. Ляшкевича, Е.А. Удаловой, Б.В. Левина, В.А. Колокольникова, И.И. Гончарика, У. Гупперта, Ф. Курца, Ж. Мулополя, Ю.Ф. Жданова, С.В. Запольского, В.И. Ледовского, Б.Б. Садикова, Н.Х. Усанбаева и др.

Л.Л. Товажнянский, В.М. Сизяков, Р.Н. Мирсаев, И.И. Гончарик, Х.Ч. Мирзакулов изучали процессы получения сульфата аммония и сульфата калия путём обработки гипса карбонатными солями, а именно карбонатом калия и карбонатом аммония. В данных научно-исследовательских работах наличие в составе фосфогипса определённого количества ненужных для процесса веществ и высокая массовая доля водорастворимого  $P_2O_5$  отрицательно влияли на процесс конверсии и фильтрацию полученной суспензии. И.И. Гончарик, М. Ёсихико, С.Б. Горелик, Я.Б. Блюмберг изучали процесс получения сульфата калия и факторы, влияющие на него. В этом случае процесс получения сульфата калия проводился на основе серной кислоты и аммиака, что вызвало проблемы, связанные с низким уровнем рН образующегося в процессе раствора и коррозией используемого оборудования. И.И. Гончарик исследовал процесс получения сульфата калия путём карбонатно-аммиачной конверсии суспензии фосфогипса с использованием циркулирующего раствора сульфата калия. Основным недостатком данной исследовательской работы является низкая концентрация сульфата калия в растворе, что требует большого количества энергии для выпаривания раствора.

В нашей республике до сих пор не разработана энергосберегающая технология, позволяющая получать легкофильтруемые кристаллы карбоната

кальция и конверсионный раствор сульфата калия путём переработки фосфогипса, являющегося промышленным отходом, карбонатом калия, а также производить бесхлорные калийные удобрения на основе выпаривания этого раствора.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами учреждения, в котором выполняется диссертация.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ферганского государственного технического университета и Наманганского государственного технического университета в рамках инновационного и прикладного проекта AL-6922056225 «Разработка технологии получения жидких азотно-кальциевых удобрений на основе переработки техногенных отходов обогащения фосфоритов Центрального Кызылкума» на 2023-2025 годы.

**Цель исследования** является разработка технологии получения сульфата калия путём карбонатной конверсии промышленного отхода фосфогипса на основе местных отходов.

**Задачи исследования:**

предварительное определение химического и физико-химического состава сырья для получения калийного сульфатного удобрения с использованием промышленного отхода фосфогипса и золы подсолнечника;

изучение влияния карбоната калия, концентрации циркулирующего раствора, времени и температуры на степень карбонатной конверсии промышленного отхода фосфогипса на основе местных отходов;

изучение реологических (плотность и вязкость) свойств карбонатной суспензии и фильтрата, полученных карбонатной конверсией промышленного отхода фосфогипса на основе местных отходов;

определение скорости фильтрации суспензии, полученной карбонатной конверсией промышленного отхода фосфогипса на основе местных отходов;

разработка технологии получения сульфата калия путём карбонатной конверсии промышленного отхода фосфогипса на основе местных отходов и расчёт материального баланса процесса;

проведение крупномасштабных опытных испытаний технологии получения сульфата калия и определение технико-экономической эффективности производства.

**Объект исследования:** в качестве объекта исследования были выбраны промышленный отход фосфогипс, местный отход карбонат калия, раствор сульфата калия, карбонат кальция, азотная кислота, калийные удобрения.

**Предмет исследования.** Предметом исследования является разработка процессов разделения суспензии на жидкую и твёрдую фазы, полученной карбонатной конверсией промышленного отхода фосфогипса на основе местных отходов.

**Методы исследования.** В диссертации для анализа свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции использовались химический, физико-химический анализ с помощью сканирующего электронного микроскопа

(SEM - EVO MA 10 (Zeiss, Germany)), для элементного анализа - энергодисперсионный рентгеновский спектрометр (Energy-Dispersive X-ray spectrometer (EDS-Oxford Instrument)) и рентгенофазовый метод (Panalytical Empyrean, (Нидерланды)).

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

в результате постепенного введения раствора карбоната калия в стадии конверсии достигнуто сокращение процесса на 30 минут;

и установлено, что степень конверсии промышленного отхода фосфогипса достигает 83-86%;

установлено, что скорость фильтрации суспензии, полученной карбонатной конверсией промышленного отхода фосфогипса на основе местных отходов, составляет 1809,44 кг/м<sup>2</sup>·час и 3545,81 кг/м<sup>2</sup>·час;

проведены рентгенофазовый, ИК-спектроскопический и физико-химический анализы полученных образцов и определён оптимальный состав для получения бесхлорного калийного удобрения;

составлен расчёт материальных затрат на получение бесхлорного калийного удобрения, то есть сульфата калия, разработана ресурсосберегающая технология путём оптимизации процессов сушки и охлаждения.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

определены оптимальные технологические факторы и разработана ресурсосберегающая технология получения калий- и серосодержащих удобрений карбонатным способом на основе промышленного отхода фосфогипса и золы подсолнечника;

установлены оптимальные показатели получения продукта, используемого в качестве строительных материалов, содержащего 97% CaCO<sub>3</sub> (мел) в качестве дополнительного продукта путём переработки промышленного отхода фосфогипса.

**Достоверность результатов исследования** обоснована на результатах химических и современных физико-химических, рентгенофазовых, ИК-спектроскопических, энергия дисперсионных, масс-спектроскопических анализов, большим объёмом экспериментального материала, опытно-промышленных испытаниями, полученными актами внедрения, а также протоколами вышестоящих организаций.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что установлены закономерности взаимной конверсии этих сырьевых материалов в результате взаимодействия промышленного отхода фосфогипса с карбонатом калия местного происхождения в различных концентрациях и соотношениях, повышена эффективность фильтрации сульфокarbonатной суспензии за счёт введения в процесс конверсии циркулирующего раствора сульфата калия, найдены оптимальные параметры этого процесса и определены технологические показатели получения

высококонтрированного бесхлорного калийного удобрения, разработаны технологии получения сульфата калия.

Практическое значение результатов исследования заключается в том, что отходы фосфогипса, образующиеся в процессе производства экстракционной фосфорной кислоты, перерабатываются карбонатным способом на основе золы местного подсолнечника, используются в качестве добавки для получения для сельского хозяйства минеральных удобрений, содержащих в своём составе такие необходимые питательные элементы, как калий и сера, благодаря этому достигается экономия удобрения, в определённой степени решаются проблемы защиты окружающей среды от вредного влияния промышленного отхода фосфогипса, а также возможность применения карбоната кальция в качестве строительного материала.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов по разработке технологий получения сульфата калия путём жидкостной карбонатной переработки местного сырья фосфогипса в нашей республике:

Предложенная технология получения сульфата калия способом кислотной переработки промышленных и местных отходов включена в Перечень перспективных разработок СП АО «Электрокимёзавод» на 2027–2028 годы (справка СП АО «Электрокимёзавод» №60 от 23 мая 2025 года). В результате достигнута возможность производства калийных и серосодержащих удобрений.

Предлагаемая технология производства сульфата калия путём конверсионной переработки промышленных и местных отходов включена в перечень перспективных разработок СП АО «Электрокимёзавод» на 2027–2028 годы (справка СП АО «Электрокимёзавод» № 60 от 23 мая 2025 года). Внедрение данной технологии позволит производить калийные и серосодержащие удобрения.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были обсуждены на 1 международной, 1 Scopus и 7 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикации по теме исследования.** По теме диссертации опубликовано 14 научных работ. В частности, основные научные результаты диссертации опубликованы в 5 научных статьях, из них 4 в республиканских и 1 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы, условных обозначений и приложений. Объём диссертации составляет 98 страницы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и необходимость проведённого исследования, сформулированы цель и задачи исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, приведены объекты и предметы исследования, обоснована достоверность результатов научного исследования, изложены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние производства сульфата калия и способы его получения**» приведён обзор литературных источников по сырью для производства сульфата калия и его роли в качестве калийного и серосодержащего удобрения в сельском хозяйстве, а также различным способам производства сульфата калия в мировом масштабе.

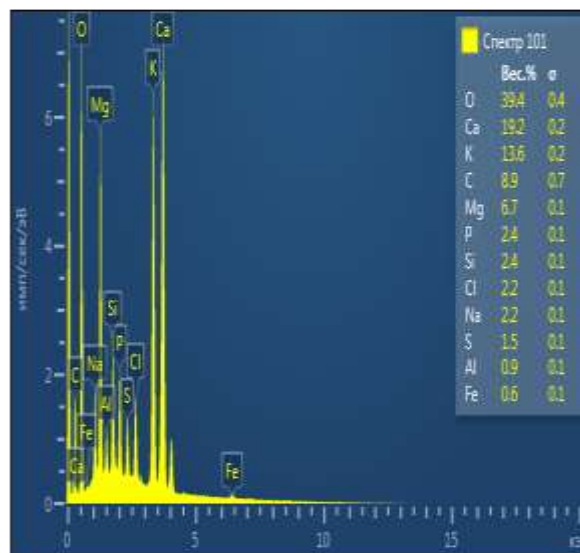
Во второй главе диссертации «**Объекты исследования, их характеристика и методы проведения экспериментов**», описаны методы определения состава и свойств добавок, выбранных в качестве объектов при выполнении диссертационной работы, а также методы приготовления образцов удобрений, полученных на их основе.

Научно-исследовательские работы проводились с промышленными и местными отходами - фосфогипсом (промытым и высушенным) и карбонатом калия ( $K_2CO_3$  - 27,2%). Основной химический состав образцов фосфогипса и золы подсолнечника представлен ниже (рис. 1).

Analyzed result(FP method, Scatter)

No.	Component	Result	Unit	Stat. Err.	LLD	LLQ
1	Al2O3	0.923	mass%	0.0181	0.0341	0.102
2	SiO2	2.27	mass%	0.0142	0.0143	0.0428
3	P2O5	2.61	mass%	0.0107	0.0185	0.0556
4	SO3	46.7	mass%	0.0437	0.0265	0.0796
5	K2O	0.130	mass%	0.0031	0.0047	0.0141
6	CaO	36.3	mass%	0.0505	0.0023	0.0070
7	TiO2	0.0268	mass%	0.0012	0.0019	0.0057
8	V2O5	(0.0038)	mass%	0.0006	0.0015	0.0045
9	MnO	0.0136	mass%	0.0007	0.0008	0.0025
10	Fe2O3	0.127	mass%	0.0016	0.0009	0.0028
11	NiO	0.0021	mass%	0.0002	0.0004	0.0013
12	CuO	0.0045	mass%	0.0002	0.0003	0.0009
13	ZnO	0.0044	mass%	0.0002	0.0002	0.0006
14	SeO2	0.0016	mass%	<0.0001	<0.0001	0.0003
15	Rb2O	0.0008	mass%	<0.0001	<0.0001	0.0002
16	SrO	0.0988	mass%	0.0003	0.0003	0.0009
17	Y2O3	0.0090	mass%	<0.0001	0.0001	0.0003
18	ZrO2	0.190	mass%	0.0026	0.0007	0.0022
19	Ag2O	0.0012	mass%	0.0002	0.0002	0.0007
20	Ta2O5	(0.0019)	mass%	0.0003	0.0006	0.0019
21	OsO4	(0.0013)	mass%	0.0002	0.0006	0.0018
22	PbO	0.0023	mass%	0.0001	0.0002	0.0005
23	Dy2O3	0.0091	mass%	0.0009	0.0017	0.0052
24	Yb2O3	(0.0022)	mass%	0.0004	0.0011	0.0033
25	U3O8	0.0014	mass%	<0.0001	0.0002	0.0007

Spectrum



**Рис 1. Анализ золы подсолнечника и фосфогипса с помощью сканирующего электронного микроскопа**

В третьей главе диссертации «**Получение сульфата калия способом нитратной конверсии фосфогипса**» приведены сведения о проведённых работах по переработке фосфогипса в бесхлорные калийные удобрения путём прямой конверсии его нитратом калия в сульфат калия. Наибольший практический интерес представляет прямая конверсия фосфогипса и  $KNO_3$  с

целью получения сульфата калия или сингенита. Процесс конверсии нитрата калия и сульфата кальция основан на растворимости солей в системе  $K^+$ ,  $Ca^{2+}||NO_3^-, SO_4^{2-}-H_2O$

Разложение гипса раствором нитрата калия проводится в два этапа согласно следующей реакции:



Для определения оптимальных условий проведения этого процесса были изучены расход  $KNO_3$ , продолжительность перемешивания, температура и количество реагентов в процессе получения  $K_2SO_4$  в растворе  $KNO_3$  и  $CaSO_4$ . В результате исследований было установлено, что повышение норма расхода потребления  $KNO_3$  относительно стехиометрии положительно влияет на этот процесс, что выражается в увеличении содержания  $K_2SO_4$  в конечном продукте (табл. 1). Так, при 150% стехиометрической норме  $KNO_3$  соль и минералогический состав содержат 63,74% и 67,31%  $K_2SO_4$  соответственно.

**Таблица 1**

**Влияние нормы расхода  $KNO_3$  относительно стехиометрии на качественные и количественные показатели конверсии фосфогипса при продолжительности перемешивания 30 мин.**

Норма расхода $KNO_3$ от стехиометрии, %	Солевой состав, вес. %			Минералогический состав, вес.ча: %			
	$KNO_3$	$CaSO_4$	$K_2SO_4$	$KNO_3$	Сингенит	$CaSO_4$	$K_2SO_4$
100	0	14,12	40,63	0	64,11	-	32,22
120	2,54	13,66	44,22	2,33	49,72	-	46,41
130	1,77	12,31	46,39	1,87	40,28	3,13	50,09
140	1,02	9,77	50,29	1,22	20,13	3,49	53,16
150	0,93	7,49	63,74	0,95	-	3,55	67,31
160	0,89	6,70	74,11	0,87	-	4,77	74,07
170	0,75	5,93	74,82	0,79	-	5,15	75,91
175	0,68	5,07	74,89	0,67	-	5,66	76,40

При осуществлении конверсии между  $KNO_3$  и фосфогипсом одним из важных параметров является температура. Известно, что повышение температуры ускоряет химический процесс, что приводит к увеличению частоты столкновений молекул реагирующих веществ. Рекомендуется проводить конверсию  $CaSO_4$  и  $KNO_3$  при 60-80°C: во-первых, как указано выше, повышение температуры за счёт увеличения растворимости сульфата положительно влияет на обменную реакцию между  $CaSO_4$  и  $KNO_3$ , во-вторых, происходит растворение  $CaSO_4$  в воде и взаимодействие с  $KNO_3$ , в результате чего повышение температуры системы до 60°C приводит к смещению реакции вправо, что также может повлиять на ход реакции; в-третьих, повышение температуры способствует увеличению растворимости  $CaSO_4$  в воде. Таким

образом, если максимальное содержание  $\text{CaSO}_4$  в воде при  $60^\circ\text{C}$  составляет 26,7%, то при  $80^\circ\text{C}$  при давлении 760 мм рт. ст. оно достигает 38,6%. Исходя из вышеизложенного, был изучен процесс конверсии солей  $\text{CaSO}_4$  и  $\text{KNO}_3$  в диапазоне температур от 60 до  $80^\circ\text{C}$ . Исследования проводились при 150% стехиометрической норме  $\text{KNO}_3$  и времени перемешивания 30 минут. Как и ожидалось, повышение температуры привело к увеличению количества  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в твёрдой фазе (табл. 2).

Таким образом, если при  $30^\circ\text{C}$  концентрация  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в твёрдой фазе достигает 44,49%, то при 50 и  $80^\circ\text{C}$  этот показатель составляет 54,13 и 79,63% соответственно. При анализе полученных результатов установлено, что при  $80^\circ\text{C}$  содержание  $\text{K}_2\text{SO}_4$  достигает наивысшего значения – 79,51%. Кроме того, проведение конверсии при низких температурах требует применения сложного нестандартного оборудования.

Сделан вывод, что оптимальной температурой для проведения этого процесса следует считать  $60\text{--}80^\circ\text{C}$ , при этом концентрация  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в твёрдой фазе достигает примерно 79,63%. Основным показателем жидкостной нитратной конверсии фосфогипса является степень его конверсии.

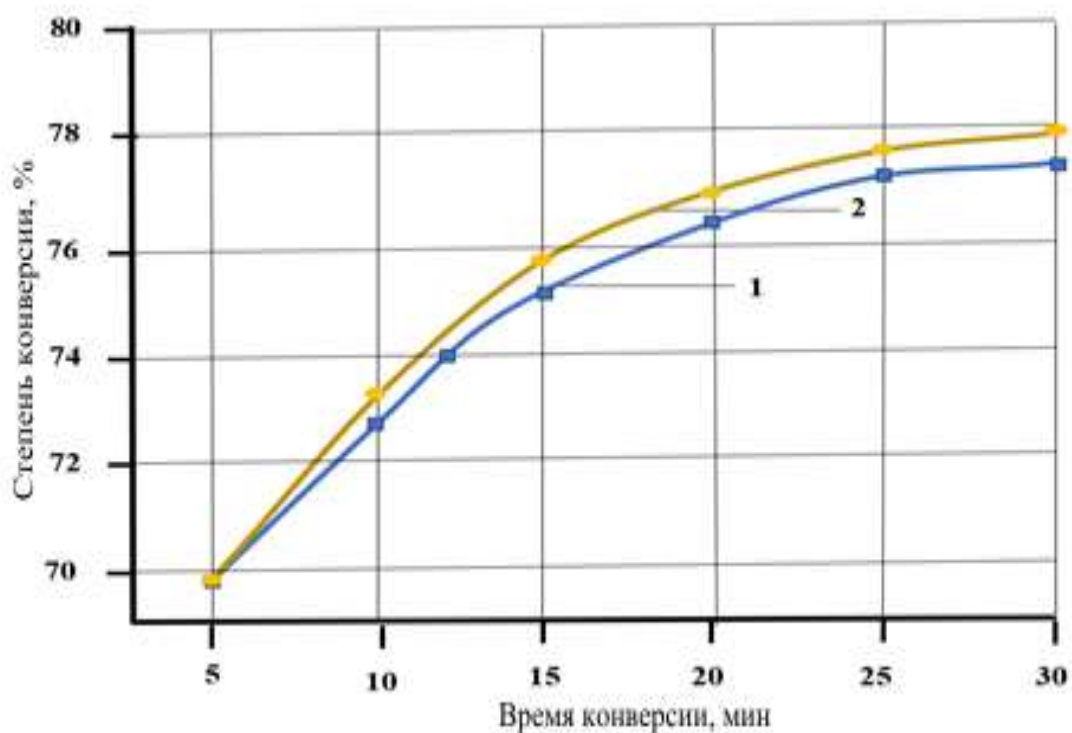
**Таблица 2**

**Влияние температуры на качественные и количественные показатели процесса конверсии  $\text{KNO}_3$  и  $\text{CaSO}_4$  (стехиометрическая норма  $\text{KNO}_3$  - 150%)**

Температура, $^\circ\text{C}$	Время конверсии, мин	Ионный состав твёрдой фазы, вес. %				Солевой состав твёрдой фазы, вес. %		
		$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{KNO}_3$	$\text{CaSO}_4$	$\text{K}_2\text{SO}_4$
30	15	42,1	1,55	0,30	53,4	0,61	5,42	44,49
40	15	43,8	1,51	0,33	54,4	0,63	5,22	44,91
50	15	42,9	1,49	0,32	55,2	0,65	5,11	53,42
50	30	41,3	1,76	0,40	54,7	0,72	6,02	54,13
60	15	40,1	1,60	0,37	53,0	0,77	5,41	61,44
60	30	41,1	2,36	0,41	55,5	0,86	7,65	77,54
70	15	39,5	2,66	0	54,9	-	8,72	78,73
80	15	31,3	6,72	1,68	52,8	3,51	21,39	79,51
80	30	40,8	2,70	0,41	56,3	0,94	9,22	79,63

На рисунке 2 подробно изображено изменение уровня конверсии во времени, где сравниваются два разных условия. На горизонтальной оси указана длительность процесса — то есть время (от 5 до 30 минут), а на вертикальной оси — уровень конверсии в процентах. Начиная с 20 минут, темпы роста уровня конверсии значительно замедляются. То есть процесс постепенно приближается к состоянию равновесия. В диапазоне 25–30 минут конверсия практически не меняется и приближается к максимуму (примерно

77–78%). Это означает, что реакция почти завершена или в системе установилось равновесие.



**Рис. 2. Зависимость степени конверсии фосфогипса от времени:  
1) 60°C; 2) 80°C**

При подаче  $\text{KNO}_3$  с нормой 100% система работает в условиях, близких к стехиометрическому соотношению. В этом случае основная часть  $\text{CaSO}_4$  вступает в реакцию и в растворе образуется  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Жидкая фаза состоит в основном из раствора  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , в котором может присутствовать очень небольшое количество непрореагировавшего  $\text{KNO}_3$ . При норме 120%  $\text{KNO}_3$  в системе имеется избыток нитрата калия. Это изменяет ионный состав раствора и увеличивает концентрацию нитрат-ионов. В результате повышается степень конверсии  $\text{CaSO}_4$  и больше ионов  $\text{Ca}^{2+}$  переходят в раствор. Концентрация  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  в жидкой фазе увеличивается, и  $\text{KNO}_3$ , который не вступил в реакцию, также сохраняется в значительных количествах. При подаче  $\text{KNO}_3$  с нормой 150% в системе образуется значительное избыток нитрата калия. В этом случае степень конверсии  $\text{CaSO}_4$  достигает почти максимального значения, и основная его часть вступает в реакцию. В результате жидкая фаза состоит из высококонцентрированного раствора  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и содержит большое количество избытка  $\text{KNO}_3$ . Твердая фаза состоит в основном из кристаллов  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

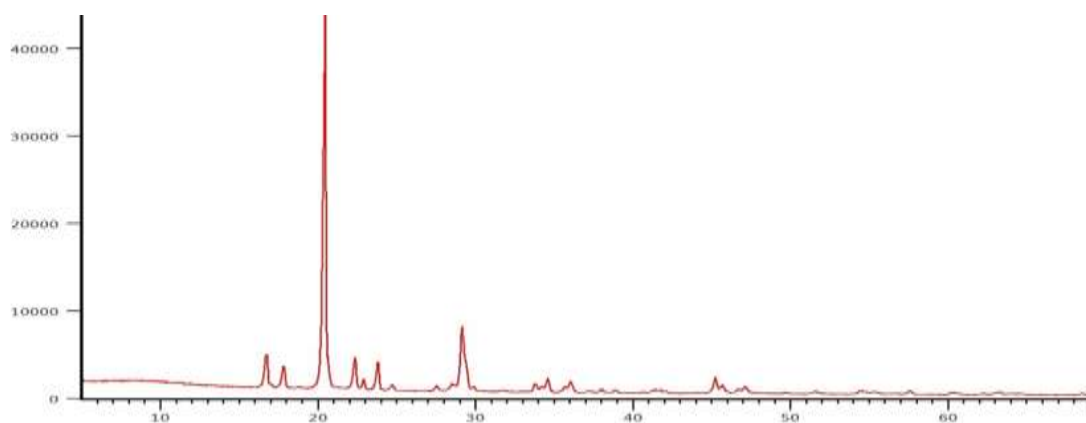
**Массовая доля сульфата калия в фильтрате и степень конверсии фосфогипса при конверсии с участием циркуляционного раствора нитрата калия и 50%-го водного раствора  $KNO_3$**

Время введение калия нитрата, мин	Рециркулирующий раствор, $K_2SO_4$ , %	Н, °С	Норма стехиометрии $KNO_3$ , %					
			100		120		150	
			Степень конверсии, %	Массовая доля в фильтрате калия сульфата, %	Степень конверсии, %	Массовая доля в фильтрате калия сульфата, %	Степень конверсии, %	Массовая доля в фильтрате калия сульфата, %
5	15	80	41,19	19,62	42,73	20,02	44,11	20,61
	25		50,59	23,47	51,66	24,46	53,94	25,32
	35		59,11	28,39	60,98	29,18	62,24	30,19
10	15	80	42,60	22,19	43,22	23,47	44,43	25,31
	25		51,73	28,31	52,79	29,78	53,76	30,42
	35		60,29	33,47	61,11	34,13	62,16	35,34
15	15	80	45,46	30,14	45,53	31,95	45,68	33,14
	25		54,69	32,22	55,90	35,93	53,79	37,31
	35		63,88	37,41	65,95	40,24	66,59	41,04
20	15	80	49,70	32,89	53,55	33,72	56,67	35,09
	25		58,38	36,53	62,44	38,26	63,49	38,79
	35		63,93	39,47	71,13	40,75	74,68	42,17
25	15	80	53,27	35,67	55,36	35,41	57,79	36,60
	25		62,66	39,57	63,97	39,88	64,63	41,38
	35		64,52	40,23	72,71	42,49	75,45	43,90
30	15	80	54,73	37,84	65,40	38,21	65,78	39,09
	25		65,57	41,78	69,22	42,37	74,65	43,18
	35		74,96	44,29	73,57	43,65	79,39	47,38

При нитратной переработке фосфогипса жидкостным способом, кроме сульфата калия, образуется раствор нитрата кальция. Изучение химического состава и физико-химических свойств этих растворов является важным. В наших последующих исследованиях были определены физико-химические свойства образцов.

В лабораторных условиях химический состав высушенного осадка  $Ca(NO_3)_2$ , полученного в результате конверсии фосфогипса жидкостным методом с помощью нитрата калия, был проанализирован на основе различных стандартных лабораторных методов. С помощью этих анализов

были определены основные химические компоненты продукта и оценена эффективность конверсии.



**Рис. 3. Рентгенограмма  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , полученного на основе фосфогипса (ФГ)**

Осадок нитрата кальция ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ). Кристаллическая структура: тетрагональная или близкая к тригональной структуре (в зависимости от условий кристаллизации). Основные дифракционные пики:  $12.5^\circ$ ,  $23.8^\circ$ ,  $29.6^\circ$ ,  $36.2^\circ$  ( $2\theta$ ). Фазовый состав:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (гидрат) – 85–88%. Остальная часть: минорные фазы (следы сульфата калия, примеси) – 12–15%.

В четвертой главе диссертации «**Разработка технологии получения сульфата калия карбонатной конверсией фосфогипса**» показано, что из существующих способов получения сульфата калия оптимальным для условий Узбекистана является метод конверсии, основанный на взаимодействии карбоната калия (содержащегося в местной золе) и фосфогипса. Для проведения исследования использовали сырье, описанное в 2 главе.

Реакция обмена карбоната калия и сульфата кальция протекает следующим образом:



В данной диссертационной работе для синтеза  $\text{K}_2\text{SO}_4$  методом конверсии с использованием местных и промышленных отходов применялся 38,6% раствор  $\text{CaSO}_4$  и 27,2% раствор  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Конверсия проводилась при температуре  $30^\circ\text{C}$  в течение 25 мин.

Процесс конверсии осуществлялся при  $30^\circ\text{C}$  путём добавления раствора сульфата кальция к насыщенному раствору карбоната калия в течение 25 мин. до достижения молярного соотношения компонентов 1:1 Т: Ж.

Установлено, что с увеличением соотношения жидкой фазы с 1:0,7 до 1:2 содержание  $\text{K}_2\text{O}$  в твёрдой фазе возрастает с 31,77 до 50,93%, а содержание остальных компонентов уменьшается. Так, содержание  $\text{Ca}^+$  снижается с 21,66 до 1,11%, карбоната с 23,78 до 1,21%,  $\text{SO}_4^{2-}$  с 51,45 до 48,24% (табл. 4). Полученная соль  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$  загрязнена компонентами, что свидетельствует о наличии карбонатов и ионов кальция в твёрдой фазе. При повышении Т: Ж

от 1:0,7 до 1:2 состав жидкой фазы существенно не меняется (табл 4). Так, содержание  $K_2O$  увеличилось с 10,68 до 13,07%.

**Таблица 4**

**Влияние соотношения фаз Ж:Т на химический состав процесса конверсии (продолжительность процесса 25 минут, температура 30 °С).**

Т: Ж	Состав твёрдой фазы, масса %				Состав жидкой фазы, масса %			
	$K_2O$	$Ca^{2+}$	$CO_3^{2-}$	$SO_4^{2-}$	$K_2O$	$Ca^{2+}$	$CO_3^{2-}$	$SO_4^{2-}$
1:0,7	31,77	21,66	23,78	51,45	10,68	15,11	16,44	1,47
1:1,0	35,29	11,93	13,10	50,27	11,21	19,43	21,27	1,39
1:1,2	39,87	6,95	7,62	49,88	11,98	22,66	24,88	1,25
1:1,5	43,99	3,97	4,32	49,37	12,45	24,71	27,10	1,18
1:1,7	49,83	2,09	2,27	48,55	12,79	26,12	28,69	1,09
1:2,0	50,93	1,11	1,21	48,24	13,07	29,89	32,85	0,87

Полученные результаты показывают, что технологическое соотношение Ж: Т составляет 1: (0,7–2). В составе образовавшейся двойной соли (масс. %):  $K_2O$  - 31,77–50,93;  $SO_4^{2-}$  51,45–48,24;  $Ca^{2+}$  - 21,66–1,11;  $CO_3^{2-}$  23,78–1,21.

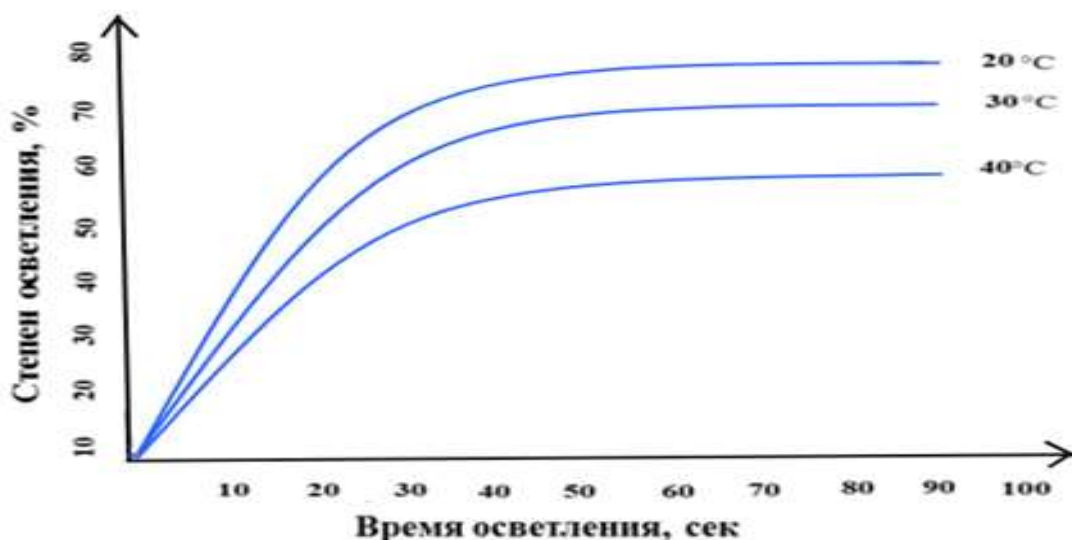
Исследования показали, что карбонат калия взаимодействует с сульфатом кальция с образованием соли сульфата калия. Оптимальные условия получения соли сульфата калия: соотношение карбоната калия к сульфату кальция = 1:1; Т: Ж = 1: (1,7÷2), температура 30°С, продолжительность обработки 25 мин.

Одним из приоритетных этапов конверсии при синтезе  $K_2SO_4$  являются фильтрация и осаждение. Были проведены эксперименты по скорости их осаждения и фильтрации.

На первом этапе исследование степени осветления пульпы проводили в мерном цилиндре объёмом 100 мл при температурах 20, 30 и 40°С с делениями по всей высоте.

Установлена взаимосвязь между степенью разложения температурой и продолжительностью процесса (рис. 4).

Полученные результаты свидетельствуют об эффективном разделении пульп, полученных при конверсии  $K_2CO_3$  с  $CaSO_4$ . Например, степень осаждения суспензии на основе  $K_2CO_3$  и  $CaSO_4$  через 30 сек. при 20°С составила 76,42%, при 30°С - 69,69%, а при 40°С степень осаждения одновременно достигла максимального значения 58,25%.



**Рис. 4. Степень осаждения суспензии, образующейся при конверсии сульфата кальция и карбоната калия**

Изучены фильтрационные свойства сгущённой пульпы при изменении исходного соотношения  $K_2CO_3:CaSO_4$  и температуры фильтрации. Установлена скорость фильтрации двойной солевой пульпы в процессе фильтрации в зависимости от изменения исходного молярного соотношения  $K_2CO_3:CaSO_4 = 1:1$ , соотношения Т:Ж от 1:0,7 до 1:2,0 и температуры от 25 до 55°C (табл. 5).

**Таблица 5**

**Влияние соотношения Ж:Т и температуры на процесс фильтрации солевой суспензии, полученной в результате конверсии.**

№	Т : Ж	Т, °С	Скорость фильтрации, кг/м <sup>2</sup> ·с		
			по суспензии	по твёрдой фазе	по жидкой фазе
1	1 : 0,7	25	1711,41	649,11	983,77
		35	2921,11	1103,56	1483,45
		55	3323,77	1366,37	1877,20
2	1 : 1,0	25	1809,44	557,93	1177,49
		35	3098,62	799,43	1989,05
		55	3545,81	901,36	2562,83
3	1 : 1,5	25	1934,56	507,44	1355,93
		35	3288,42	761,33	2206,45
		55	3878,93	879,23	3306,88
4	1 : 2,0	25	2173,79	312,45	2256,78
		35	3677,38	407,61	3979,04
		55	4683,16	412,09	7103,44

С возрастанием соотношения Т: Ж от 1:1 до 1:2 и температуры от 25 до 55°С скорость фильтрации пульпы и фильтрата несколько увеличивается. По осадку она значительно увеличивается с повышением температуры и уменьшается с увеличением соотношения Т:Ж. Так, если при молярном соотношении  $K_2CO_3 : CaSO_4 = 1:1$  и Т:Ж = 1:1 скорость фильтрации пульпы увеличивается с 1809,44 кг/м<sup>2</sup>·ч до 3545,81 кг/м<sup>2</sup>·ч соответственно, то при повышении температуры с 25 до 55°С при Т:Ж=1:1,5 она незначительно увеличивается с 1934,56 до 3878,93 кг/м<sup>2</sup>·ч.

Таким образом, оптимальными условиями для технологических параметров фильтрации сгущённой пульпы при разделении соли являются: соотношение твёрдого вещества к жидкости 1:1,0-1,5 и температура фильтрации 25-55°С, при которых показатели скорости фильтрации являются оптимальными.

Для синтеза сульфата калия использовали молярное соотношение  $K_2CO_3:CaSO_4 = 1:1$ , при температуре 30°С, продолжительность процесса 25 мин., в суспензии в количестве, обеспечивающем соотношение Т: Ж=1: (0,7:2).

Изучено влияние соотношения Т: Ж на конверсию суспензии. Показано, что сульфат калия, полученный при Т: Ж 1:0,7 и 1:2, имеет практически одинаковый состав (табл. 6).

**Таблица 6**

**Влияние соотношения твердой и жидкой фаз на химический состав продукта.**

Т : Ж	Состав твёрдой фазы, масса %				Состав жидкой фазы, масса %			
	K <sub>2</sub> O	CaO	CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sub>2</sub> O	CaO	CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
1: 0,7	50,23	1,09	1,15	51,35	6,11	6,49	5,00	0,98
1 : 1,0	50,78	1,02	1,10	51,90	6,01	6,12	4,79	1,33
1 : 1,5	51,43	0,94	1,00	52,55	5,93	5,82	4,55	1,97
1 : 2,0	51,79	0,89	0,96	52,85	5,78	5,49	4,30	2,28

Сделан вывод, что увеличение соотношения Т: Ж более чем 1:1 практически не влияет на состав полученного сульфата калия. Состав полученного продукта после сушки (масс. %): K<sub>2</sub>O - 50,78; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - 51,90; CaO - 1,02; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> - 1,10.

При промывке водой содержание K<sub>2</sub>O остаётся в пределах 53,45–53,64%, сульфат-ионов - 54,55–54,77%, содержание Ca<sup>2+</sup> снижается с 0,13% до 0,08% при соотношении 1:0,7 до 1:2,0 (табл. 7).

Всё вышеуказанное свидетельствует о том, что с увеличением соотношения Т: Ж повышается чистота K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Вместе с тем увеличение соотношения Т: Ж приводит к снижению выхода массы K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> за счёт усиления перехода сульфата калия в раствор. Наилучшие результаты были получены при соотношении Т: Ж 1:1. Образовавшийся при этом продукт (масс. %) содержит: K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - 99,22, CaCO<sub>3</sub> - 0,25, H<sub>2</sub>O - 0,50. Степень перехода сульфата калия в твёрдую фазу по калию составляет 76,2%. При промывке твёрдой фазы насыщенным раствором сульфата калия её выход не

уменьшается, но количество остаточных ионов кальция остаётся относительно высоким.

**Таблица 7**

**Химический состав сульфата калия при однократной промывке водой.**

Т : Ж	Химический состав, масса %			
	K <sub>2</sub> O	CaO	CO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
1 : 0,7	53,45	0,13	0,10	54,55
1 : 1,0	53,56	0,11	0,08	54,67
1 : 1,5	53,61	0,09	0,07	54,73
1 : 2,0	53,64	0,08	0,06	54,77

Плотность рабочего раствора карбоната калия снижается с 1,096 г/см<sup>3</sup> до 0,645 г/см<sup>3</sup> при повышении температуры с 20°С до 80°С, а вязкость раствора составляет 0,991–0,612 сПз (табл. 8).

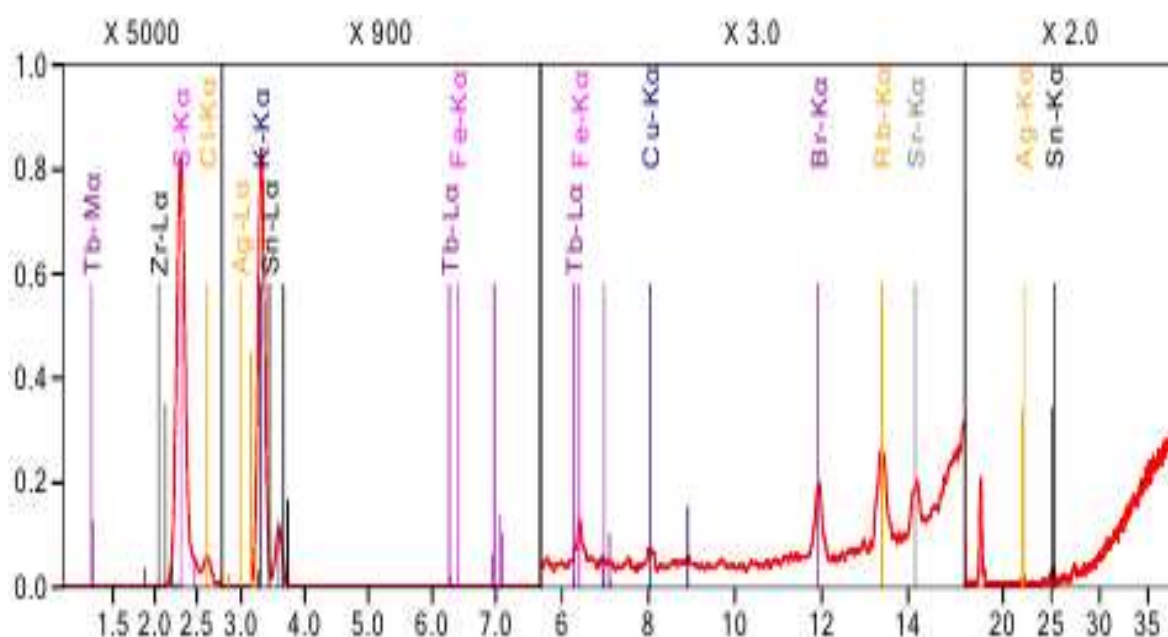
**Таблица 8**

**Влияние температуры на плотность и вязкость отделяемой жидкости при получении сульфата калия**

Плотность, г/см <sup>3</sup>				Вязкость, сПз			
20°С	40°С	60°С	80°С	20°С	40°С	60°С	80°С
Q:S=1:1							
1,096	0,981	0,769	0,645	0,991	0,829	0,733	0,612

Как видно, с повышением температуры как плотность, так и вязкость растворов уменьшаются. При этом все растворы обладают приемлемыми реологическими свойствами и не вызывают затруднений при их транспортировке.

Из рентгеновских лучей на рисунке 5 можно увидеть следующее. Соль K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> связана тетраэдрически с калием и сульфат-ионами, образуя связи K–O–S. Между тетраэдрическими и октаэдрическими слоями присутствуют связи (Na, Cl, C)–O–S. Энергия связи S составляет 6·10<sup>5</sup>, и соль K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> значительно смещена. Исследования показывают, что тетраэдрический обмен S<sup>6+</sup> с K<sup>+</sup> и его октаэдрический обмен увеличивают электроотрицательность SO<sub>4</sub> и уменьшают наблюдаемую энергию связи. Увеличение соотношения K/S и положительное изменение энергии связи связаны с ионным характером оксидных связей.



**Рис. 5. Рентгенограмма промытого сульфата калия**

На основе приведённых исследований разработана основная технологическая схема получения сульфата калия методом конверсии из местных отходов карбоната калия и сульфата кальция (рис. 6).

Сущность процесса заключается в следующем: содержащийся в золе подсолнечника карбонат калия по конвейеру поступает в приёмный сосуд (1) и дозируется ленточным питателем (2) в реактор (5), где растворяется в воде в количестве, необходимом для получения насыщенного раствора карбоната калия. Полученный раствор подавали в осадительный сосуд (6) и фильтровали на ленточном фильтре (7) для разделения на жидкую фазу - суспензию, состоящую из насыщенного раствора карбоната калия, и влажную часть - нерастворимый осадок. Образуется 38,6% раствор сульфата кальция. После полного растворения растворы карбоната калия и сульфата кальция из реакторов подавались в реактор (10) с работающим смесителем. Температуру раствора в реакторе повышали до 30°C и выдерживали в течение 25 мин.

Полученный продукт (карбонат кальция) разделяется на жидкую и твёрдую фазы в центрифуге (11), образуется осадок соли с влажностью 10%.

После отделения циркулирующего раствора сульфат калия упаривается в испарителе (13) и фильтруется на ленточном вакуум-фильтре (14). Жидкая фаза возвращается на I стадию конверсии (10). Твёрдая фаза подаётся в барабанную сушилку (16) для сушки. Твёрдую фазу  $K_2SO_4$  направляют в барабанную сушилку при температуре 100-110°C для сушки. Далее высушенный  $K_2SO_4$  с влажностью не более 1% охлаждают до 20°C, упаковывают и отправляют на склад готовой продукции.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной диссертационной работы были получены следующие основные выводы:

1. Путём определения химического и физико-химического состава отхода экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) фосфогипса и местного отхода «подсолнечной» золы установлены технологические показатели, влияющие на процесс конверсии: время конверсии, концентрация карбоната калия, его норма, степени зависимости параметров от температуры реакции.

2. Определена зависимость скорости фильтрации сульфокarbonатной суспензии от времени подачи циркуляционного раствора и раствора карбоната калия в реакционную зону. Скорость фильтрации суспензии составила: по фильтрату  $2384 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ , по твёрдой фазе  $1352 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ .

3. Установлены оптимальные параметры, обеспечивающие кристаллизацию крупных, легко фильтруемых кристаллов двойной соли и сульфата калия из конверсионных растворов. Оптимальные условия конверсии: температура  $30^\circ\text{C}$ , соотношение твёрдое:жидкость ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 : \text{K}_2\text{CO}_3$ ) = 1:1 и время конверсии 25 минут. При данных условиях получен продукт, содержащий 50,78%  $\text{K}_2\text{O}$ ; 1,02%  $\text{CaO}$ ; 1,10%  $\text{CO}_3^{2-}$  и 51,90%  $\text{SO}_4^{2-}$ . Однократная промывка водой в соотношении 1:1 позволила получить продукт, содержащий 53,56%  $\text{K}_2\text{O}$ ; 0,11%  $\text{CaO}$ ; 0,08%  $\text{CO}_3^{2-}$  и 54,67% сульфата, что соответствует требованиям ГОСТ.

4. Предложены новые технологии синтеза  $\text{K}_2\text{SO}_4$  из очищенного  $\text{CaSO}_4$  и растворов  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , содержащихся в золе подсолнечника, а также разработаны материальные балансы, схемы потоков материалов и производственные материальные балансы. Разработанные технологии прошли испытания в производственных условиях совместного предприятия «Электрохимзавод».

5. Технические и экономические расчёты показали экономическую эффективность и целесообразность организации производства  $\text{K}_2\text{SO}_4$  и  $\text{CaCO}_3$  из подсолнечной золы. Установлено, что экономическая выгода производства 1 тонны кристаллического сульфата калия составляет 9 104 979,25 сумов по сравнению с импортируемым сульфатом калия.

**SCIENTIFIC COUNCIL OF THE FERGANA STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY**

**DSc.03/2025.27.12.T.19.06**

---

**FERGANA STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**UMAROVA MAFTUNA MASHRABJON QIZI**

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCING POTASSIUM SULFATE  
FROM LOCAL RAW MATERIALS**

**02.00.13 – Technology of inorganic substances and materials on their basis them**

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

**Fergana – 2026**

**The subject of the PhD thesis has been registered with the Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan with registration numbers B2024.4.PhD/T5030.**

Dissertation was completed at the Fergana state technical university.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary) is posted on the web page of the Scientific Seminar and the Information and educational portal "ZiyoNet" ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Resarch supervisor:**

**Dexkanov Zulfikaxar Kirgizbayevich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:**

**Sultanov Baxodir Elbekovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Usanboyev Najimuddin Xalmirzayevich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Leading organization:**

**Navoiy state mining and technological university**

The defense will take place on "03" June 2026 at 16:00 o'clock at the meeting of scientific council. DSc.03/2025.27.12.T.19.06 at Fergana state technical university (Address: 150100, Fergana city, Fergana street, 86. Tel.: (99873) 241-12-06, fax: (99873) 241-12-06, e-mail: [info@fstu.uz](mailto:info@fstu.uz)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Center of the Fergana state technical university, (is registered under № 317). (Address: 150100, Fergana city, Fergana street, 86. Tel/fax: (99873) 241-12-06, (99873) 241-12-06, e-mail: [info@fstu.uz](mailto:info@fstu.uz)).

Abstract of dissertation was mailed on «22» May 2026 year  
(mailing report № 6-26 from «20» May 2026 y).

**Xamrakulov Z.A.**

Chairman of the scientific council  
on awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, docent

**Mirzakulov G.R.**

Scientific secretary of Scientific council  
on award scientific degrees,  
doctor of philosophy in technical sciences, docent

**Turdialiyev U.M.**

Chairman of the scientific seminar at scientific  
council on awarding of scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (PhD DISSERTATION ANNOTATION)

**The aim of the research** development of a technology for producing potassium sulfate by converting phosphogypsum with potassium carbonate.

**The objects of the research** Fertilizers such as washed phosphogypsum, potassium carbonate, potassium sulfate solution, calcium carbonate, nitric acid, and potassium sulfate were obtained.

**The scientific novelty of the study is as follows:**

It is based on the fact that the gradual introduction of potassium carbonate solution into the conversion process reduces the process duration to 30 minutes;

it is based on the fact that the conversion rate in the carbonate conversion process of industrial waste phosphogypsum based on local waste reached 83-86%;

it was determined that the filtration rate of the suspension obtained from the carbonate conversion of industrial waste phosphogypsum based on local waste was 1809.44 kg/m<sup>2</sup>·hour and 3545.81 kg/m<sup>2</sup>·hour;

X-ray phase, IR spectroscopic and physicochemical analyses of the samples taken within the framework of the study were conducted, and the optimal composition for obtaining chlorine-free potassium fertilizer was determined;

a material cost calculation for obtaining potassium sulfate by carbonate conversion of industrial waste phosphogypsum based on local waste was developed, and a resource-saving technology for obtaining potassium sulfate was developed by optimizing the drying and cooling processes.

**Implementation of research results into practice.** Based on the scientific results obtained in the development of technologies for producing potassium sulfate fertilizer through liquid-phase carbonate processing of local raw material phosphogypsum in our republic, the following has been established:

The proposed technology for producing potassium sulfate through the acidic processing of industrial and local wastes has been included in the list of prospective developments of the “Elektrokimyozavod” Joint Venture for 2027–2028 (Reference No. 60 dated May 23, 2025, issued by “Elektrokimyozavod” JV JSC). As a result, this technology enables the production of potassium- and sulfur-containing fertilizers.

The proposed technology for producing potassium sulfate through conversion processing of industrial and local waste has also been included in the list of prospective developments of the “Elektrokimyozavod” Joint Venture for 2027–2028 (Reference No. 60 dated May 23, 2025, issued by “Elektrokimyozavod” JV JSC). This creates the opportunity to produce potassium and sulfur fertilizers through efficient utilization of industrial and local waste resources.

**Structure and Scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, symbols, and appendices. The volume of the dissertation is 98 pages.

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

**I bo‘lim ( I часть; I part)**

1. Umarova M.M, Dexkanov Z.K. Ammoniy sulfat va Dehqonobod silviniti asosida kaliyli o‘g‘it olish // FarPI Ilmiy texnika jurnali, 2024, T.28, № 3, 209-211 b.
2. М.М. Умарова, З.К. Дехканов. Получение сульфата калия путем конверсии фосфогипса и нитрата калия в аммиачном растворе // Universum: технические журналы: научный журнал. – № 10 (127). Часть М., Изд. «МЦНО», 2024. С.59-64.
3. Umarova M.M., Dexkanov Z.K. Ammoniy sulfat va kaliy xlorid konversiyasiga monoetanolaminning ta’sirini o‘rganish // Scientific-technical journal FarPI Ilmiy texnika jurnali, 2024, T.28, №5, 203-207 b.
4. Umarova M.M., Dehkanov Z.K., O.K.Raxmonov Potassium sulphate production prospects // FarPI Ilmiy texnika jurnali, 2025, T.29, № 2, 224-230 p.
5. M.M.Umarova, Z.Dexkanov. Mahalliy va sanoat chiqindilarini qayta ishlash orqali kaliyli o‘g‘it olish // Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti “Sanoatda raqamli texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnali,2025, № 2, 183-187 b.

**II bo‘lim (II часть; II part)**

6. Maftuna Umarova, Zulfikahar Dekhkanov and Khairullakhan Aripov. Obtaining potassium sulphate by conversion of potassium chloride and ammonium sulphat // E3S Web of Conferences 460, 09035 (2023). Pp. 1-6. (Scopus).
7. М.М. Умарова, З.К. Дехканов.Перспективы производства сульфата калия на основе сульфата аммония // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА ПРОГРЕССИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ Сборник статей Все российской научно-практической конференции с международным участием 28 февраля 2023 г., 16-18 с.
8. М.М. Умарова, С.В. Мамадалиева, Ф.У. Фуломов. Калийный сульфат: фундамент продуктивного и устойчивого сельского хозяйства // “Iste’mol bozorini sifatli oziq-ovqat mahsulotlari bilan ta’minlash-farovonlikva taraqqiyotning muhim omili” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjuman I-to’plam. 25-26-Oktabr, 2024 yil. 295-297 b.
9. М.М. Умарова, С.В. Мамадалиева Эволюция методов добычи и производства калийных удобрений: история и перспективы // “Iste’mol bozorini sifatli oziq-ovqat mahsulotlari bilan ta’minlash-farovonlikva taraqqiyotning muhim omili” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjuman II-To’plam. 25-26-Oktabr, 2024 yil. 56-58 betlar.
10. Umarova M.M., Dehkanov Z.K. Kaliy sulfat ishlab chiqarishning zamonaviy usullari // “Kimyo sanoatining dolzarb muammolari, innovatsion yechimlari va istiqbollari”. Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya 2024 y. 1-21 noyabr, Olmaliq, O‘zbekiston. 70-71 b.
11. Umarova M. M, Dehkanov Z. K. Xoshimxanova M.A. Kaliyli o‘g‘itlarning o‘simliklarning unumdorligiga ta’siri va zamonaviy ishlab chiqarish usullari //

“Kimyo sanoatining dolzarb muammolari, innovatsion yechimlari va istiqbollari” Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya 2024 y. 1-21 noyabr, Olmaliq, O‘zbekiston. 66-67 b.

12. Maftuna Umarova, Zulfikahar Dekhkanov // Mahalliy kullar va sanoat chiqindisi fosfogips asosida ekologik toza usulda kaliy sulfat olish “Kimyoviy texnologiya va mineral resurslardan samarali foydalanish: ilm-fandan amaliyotga” mavzusida xalqaro ilmiy-amaliy anjumani. 2025-yil 16-17-may. 892-894 b.

13. Umarova M. M., Dehkanov Z. K // Kaliyli o‘g‘itlarning ahamiyati va sanoat ishlab chiqarish usullari FarDTU “Zamonaviy ilm-fanning dolzarb muammolari va ularning innovatsion yechimlari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjuman, 2025 y., 20-21 iyun, 92-95 b.

14. Maftuna Umarova, Zulfikahar Dekhkanov. Kaliyli o‘g‘itlarning o‘simliklarga ta’siri NamTI “Kimyo, organik moddalar va neft gaz sanoati sohalaridagi dolzarb muammolar va innovatsion yechimlar” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani, 2024 y., 14-15-noyabr, 421-423 b.

Avtoreferat «Farg‘ona davlat texnika universiteti Ilmiy texnika jurnali»  
tahriridan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz tillardagi matnlari o‘zaro  
muvofiqlashtirildi



