

**UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.02.30.12.2019.K/T.35.01
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI

JUMAYEVA GULNISO YULCHI QIZI

**SUVNI ORGANIK VA NOORGANIK IFLOSLANTIRUVCHILARDAN
TOZALASH UCHUN AKRILAMID SOPOLIMERLARI ASOSIDA
FLOKULYANTLAR OLISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH**

02.00.11 – Kolloid va membrana kimyosi

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

Toshkent-2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of the dissertation abstract of doctor of filosofy (PhD)

Jumayeva Gulniso Yulchi qizi

Suvni organik va noorganik ifloslantiruvchilardan tozalash uchun akrilamid sopolimerlari asosida flokulyantlar olish texnologiyasini ishlab chiqish 3

Жумаева Гулнисо Юлчи кизи

Разработка технологии получения флокулянтов на основе сополимеров акриламида для очистки воды от органических и неорганических загрязнителей..... 21

Jumayeva Gulniso Yulchi qiz

Development of a Technology for Producing Flocculants Based on Acrylamide Copolymers for the Purification of Water from Organic and Inorganic Pollutants... 39

E'lon qilingan ilmiy ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ

List of published works 43

**UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.02.30.12.2019.K/T.35.01
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI

JUMAYEVA GULNISO YULCHI QIZI

**SUVNI ORGANIK VA NOORGANIK IFLOSLANTIRUVCHILARDAN
TOZALASH UCHUN AKRILAMID SOPOLIMERLARI ASOSIDA
FLOKULYANTLAR OLIH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH**

02.00.11 – Kolloid va membrana kimyosi

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

Toshkent -2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar Vazirligi huzuridagi Oliy Attestatsiya Komissiyasida B2025.1.PhD/T5223 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Umumiy va noorganik kimyo institutida bajarilgan.

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

Ilmiy rahbar:

Eshmetov Izzat Do'simbatovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Maxkamov Ravshan Raximovich
kimyo fanlari doktori, katta ilmiy xodim

Abduraximov Akmal Xodjiakbarovich
texnika fanlari falsafa doktori, dotsent.

Yetakchi tashkilot:

Farg'ona davlat texnika universiteti.

Dissertatsiya himoyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi PhD.02.30.12.2019.K/T.35.01 raqamli Ilmiy kengashning «18» dekabr 2025 yil soat 14⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 100170, Toshkent shahri, Mirzo Ulug'bek ko'chasi, 77-a. Tel.: (+99871) 262-56-60; faks: (+99871) 262-79-90, e-mail: ionxanruz@mail.ru.

Dissertatsiya bilan Umumiy va noorganik kimyo institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (23-raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100170, Toshkent shahri, Mirzo Ulug'bek ko'chasi, 77-a. Tel.: (99871) 262-56-60); faks: (+99871) 262-79-90).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «4» dekabr kuni tarqatildi.
(2025 yil «4» dekabrda № 23- reyestr bayonnomasi)



B.S.Zakirov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, k.f.d., prof.

D.S.Salixanova

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash kotibi, t.f.d., prof.

O.Yu.Ismoilov

Ilmiy daraja beruvchi ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi o'rinbosari, t.f.d., prof.

KIRISH (falsafa doktori (PhD) Dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Butun dunyoda suvni tayyorlash, foydali qazilmalarni boyitish va chiqindi suvlarni tozalashga qo'yilayotgan talablar ortib borishi bilan to'g'ridan-to'g'ri ravishda tiniqlashtirish, quyultirish va filtrlash jarayonlarining samaradorligiga ta'sir ko'rsatadigan qattiq va suyuq fazani tez va barqaror ajratib olish muammosi jiddiy texnik vazifaga aylanmoqda. Shu munosabat bilan akrilamidning to'yinmagan kislotalar bilan sopolimerlari asosida yuqori samarali anionli flokulyantlar yaratish hamda ularni olishning pH va ion kuchining tebranishlarida barqarorlikni ta'minlaydigan yarim sanoat texnologiyasini ishlab chiqish dolzarb vazifa hisoblanadi. Ushbu muammoni hal etish uchun polimerlarning tarkibi va sintez sharoitlarini optimallashtirish, ularning tuzilishi va funksionalligini tasdiqlash, mineral hamda aralash organo-mineral suspenziyalarda ko'priksimon flokulyatsiyaning kinetikasi va mexanizmini aniqlash hamda ularni ishlab chiqarish texnologiyasini yaratish dolzarb hisoblanadi.

Jahonda bugungi kunda suvni tayyorlash va mineral xom ashyoni qayta ishlash uchun, mineralli va aralash organo-mineralli suspenziyalarda ishlashga mo'ljallangan yuqori samarali anionli flokulyantlar yaratish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada, xususan, mineral hamda aralash organo-mineral suspenziyalarda samarali ishlashga mo'ljallangan flokulyantlarni yaratish, monomer kompozitsiyalarini tanlash va mavjud xomashyo bazasini ta'minlash, molekulyar massa va anionlilik darajasini boshqarish uchun sintez va initsirlash sharoitlarini optimallashtirish, polimerlarning tuzilishi va funksionalligini tasdiqlash, mineral suspenziyalarda hamda "neft-suv" emulsiyalarida ko'priksimon flokulyatsiyaning kinetikasi va mexanizmini aniqlash hamda yarim sanoat miqyosida ularni olish texnologiyasini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda mahalliy xomashyo asosida suvni tozalash uchun materiallar, xususan, flokulyantlar hamda boshqa kimyoviy reagentlar ishlab chiqish texnologiyalarini yaratish yo'nalishida qator ilmiy-amaliy natijalarga erishilmoqda. 2022-2026 yillarda O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirishga qaratilgan "Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi"ning uchinchi yo'nalishida "milliy iqtisodiyot barqarorligini ta'minlash va sanoatning yalpi ichki mahsulotdagi ulushini oshirish, sanoat mahsulotlari ishlab chiqarish hajmini 1,4 baravarga ko'paytirish"¹ kabi muhim vazifalar belgilangan. Bu borada, sanoat va atrof-muhit muhofazasi zamonaviy talablariga javob beradigan yuqori samarali flokulyantlar yaratish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022–2026 yillarda Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida»gi, 2017 yil 7 fevraldagi PF-4947-son «2017–2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida»gi Farmonlarida, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025 yil 30 yanvardagi PF-16-son "O'zbekiston 2030» strategiyasini «Atrof-muhitni asrash» va

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

«Yashil iqtisodiyot» yilida amalga oshirishga oid davlat dasturi to'g'risida"gi, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024 yil 26 sentabrdagi PF-149-son "Ekologiya va atrof-muhitni muhofaza qilish sohalarida ochiqlikni ta'minlash hamda boshqarish tizimini yanada takomillashtirish chora tadbirlari to'g'risida"gi Farmonlari hamda mazkur faoliyatga tegishli me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotlarning respublika fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII "Kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar" ustuvor yo'nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Dunyoda sintetik va biopolimer flokulyantlar sohasida yo'naltirilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilib, suvni tayyorlash va mineral xomashyoni qayta ishlash maktablari (J. Gregory, B.A. Bolto, J.K. Edzwald, P. Somasundaran va boshqalar) tomonidan koagulyatsiya/flokulyatsiya mexanizmlarini, selektiv flokulyatsiyani hamda poliakrilamidning suvni tozalash va mayda fraksiyalarni boyitishda qo'llanishini anglashning ilmiy asosi shakllantirilgan.

O'zbekistonda K.S. Ahmedov rahbarligida yuqori kolloid-kimyoviy xususiyatlarga ega flokulyantlarni o'rganishga qaratilgan ilmiy maktab shakllangan bo'lib, unga E.A. Aripov, F.L. Glekel, S.S. Xamrayev, S.N. Aminov, A.A. Agzamhodjayev, U.K. Ahmedov, G.R. Narmetova, I.K. Satayev, R.R. Maxkamov, I.D. Eshmetov va boshqalarning salmoqli hissalarini qo'shilgan.

Ta'kidlash joizki, hozirgi vaqtgacha akrilamid va to'yinmagan kislotalar sopolimerlari asosida anion flokulyantlar yaratishga qaratilgan, aralash mineral va organo-mineral tizimlar uchun mo'ljallangan kompleks tadqiqotlar olib borilmagan. Xususan, ko'priksimon flokulyatsiyaning kinetikasi va mexanizmi, dozalanish oynalari hamda pH/ion kuchi ta'sirini birgalikda o'rganish, shuningdek, ularni olishning yarim sanoat texnologiyasi, moddiy-energetik balanslari va tannarxini baholash masalalari yetarli darajada tadqiq qilinmagan. Shu munosabat bilan, mazkur yo'nalishda ilmiy izlanishlar olib borish yuqori samarali flokulyantlar olishning nazariy va amaliy asoslarini yaratish uchun muhim ilmiy vazifa hisoblanadi.

Tadqiqotning dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Umumiy va noorganik kimyo institutining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari doirasida «Neft, neft-gaz qazib chiqarish sanoati oqova suvlari uchun adsorbentlar va reagentlar olish texnologiyasini ishlab chiqish, shuningdek, harakatchan tuproq-qum dispersiyalarida mustahkam tuzilma hosil qiluvchi reagentlar tarkibini yaratish» mavzusidagi davlat dasturi asosida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi akrilamid sopolimerlari asosida flokulyantlar olish texnologiyasini ishlab chiqish hamda ular yordamida suvni organik va noorganik ifloslantiruvchilardan tozalashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

monomer kompozitsiyalarini (akrilamid (AA) + akril (AK)/malein (MK) kislotalari) va sintezning maqsadli parametrlari: harorat, davomiylik, molyar nisbat, initsiator tizimini asoslash;

AA va AK (FAK), MK (FMK) sopolimeri eritmalarining qovushqoqlik xususiyatlari hamda o'nimlari asosida sintezning optimal sharoitlarini aniqlash;

sopolimer flokulyantlarning tuzilishini aniqlash uchun fizik-kimyoviy tadqiqotlar o'tkazish;

modellashgan mineral suspenziyalarda (bentonit, kalsiy karbonat) flokulyatsiya kinetikasini o'rganish, optimal dozalarni, tiniqlashish tezligini, flokula hajmi va mustahkamligini aniqlash;

“neft-suv” aralash tizimlari va organo-mineral dispersiyalarda flokulyatsiyani o'rganish hamda samaradorligini tijorat polimerlari (PAAM, gidrolizlangan poliakrilonitrillar) bilan taqqoslash;

flokulyantlar olishning yarim sanoat texnologik sxemasini ishlab chiqish va ularning moddiy, energetik hamda vaqt balanslarini hisoblash.

Tadqiqotning obyektlari sifatida suvda eruvchan anion flokulyantlar – akrilamidning akril kislotasi bilan sopolimerlari (4FAK–8FAK) hamda malein kislotasi bilan sopolimerlari (4FMK–8FMK), ya'ni monomerlarning AA/kislota \approx 4:1–8:1 molyar nisbatida olingan namunalari olingan.

Tadqiqotning predmetini sintez sharoitlarining (harorat, vaqt, monomerlar nisbati, initsiyator turi) 8FAK/8FMK ning molekulyar-massa va zaryad xususiyatlariga ta'sirini o'rganish, bentonit va kaltsit suspenziyalarida hamda “neft-suv” emulsiyalarida ko'priksimon flokulyatsiyaning kinetikasi va mexanizmini aniqlash, ularni qo'llashning ekspluatatsion rejimlari va samaradorlik mezonlarini belgilash, yarim sanoat texnologiyasi parametrlarini ishlab chiqish hamda moddiy-energetik xarajatlar va bevosita tannarxini baholash tashkil etgan.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya ishini bajarishda flokulyantlar va dispers tizimlarning fizik-kimyoviy (elektron-mikroskopik, IQ-spektroskopik, rentgenografik, termik tahlillar) hamda kolloid-kimyoviy (viskozimetriya, titrometriya) xususiyatlarini aniqlashda zamonaviy va an'anaviy usullardan keng foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

7FAK–8FAK sopolimerlari uchun optimal sintez sharoitlari AA/AK = 7–8/1 nisbatida 45–50 °C da, 7FMK–8FMK sopolimerlari uchun esa AA/MK = 7–8/1 nisbatida 50–55 °C da ekanligi, bu polimerizatsiya tezligi va initsiatorning parchalanishi o'rtasidagi muvozanat bilan bog'liq bo'lib, yuqori o'nim va qovushqoqlik ko'rsatkichlarini ta'minlashi aniqlangan;

AA–AK va AA–MK sopolimerlari suvda eruvchan qoldiq monomerlersiz amido-karboksil guruhlariga ega chiziqli statistik zanjirlardan tashkil topgan va termobarqarorligi bilan farqlanib (8FMK uchun kimyoviy destruksiya boshlanishi \sim 40–50 °C ga yuqoriga siljishi qayd etilgan), bu esa maleinat bo'g'inida ikkita karboksil guruhining yonma-yon joylashuvi bilan isbotlangan;

kaltsiy karbonat suspenziyasida 8FMK 0,125–0,20 % konsentratsiyada 88 % gacha, 8FAK esa \approx 0,25 % da 75 % atrofida tiniqlashishni ta'minlab (bentonit suspenziyasida 8FAK va 8FMK 0,25–0,50 % diapazonda 82–88 va 70–75 %), bu CaCO₃ yuzasida 8FMK ning karboksil guruhlari orqali hosil bo'ladigan kalsiy-koordinatsion «ko'priklar» va manfiy zaryadlangan smektit plastinkalarida uzun polimer ko'priklar talab etilishi bilan bog'liqligi aniqlangan;

barqaror «neft-suv» emulsiyalarida har ikki sopolimer ham tizimni ko'priksimon flokulyatsiya rejimiga tez o'tkazishi va 8FMKning 0,25 % miqdorida tiniqlashish tezligi $t_{50} \approx 15$ soat, 8FAK uchun esa $t_{50} \approx 16-17$ soat bo'lib, bu 8FMK sistemasida fazolar ora chegara plyonkasida yuqori adsorbsion/koordinatsion qobiliyatiga ega karboksil guruhlari miqdori ko'pligi bilan izohlangan;

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

mineral dispersiyalarni selektiv flokulyatsiya qilish uchun flokulyantlar yaratishning metodik asoslari ishlab chiqilgan;

akrilamid va to'yinmagan kislotalar sopolimerlari asosida flokulyantlar ishlab chiqarishning texnologik sxemasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Ilmiy tadqiqotlar zamonaviy fizik-kimyoviy (elektron-mikroskopik, termik, IQ-spektral) hamda kolloid-kimyoviy (viskozimetriya, titrometriya) tahlillar asosida olib borilgan, akrilamid sopolimerlari asosida flokulyantlar olish texnologiyasini oqova suvlarni tozalashda qo'llash bo'yicha sinovlar esa «Elektrokimyozavod» AJ QK bazasida amalga oshirilib, sinov aktlari bilan tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati yangi flokulyantlar – akrilamid va akril kislotasi hamda akrilamid va malein kislotasi sopolimerlarini sintez qilish jarayonlari metodologiyasini ishlab chiqish, mineral dispersiyalar va neft saqlovchi emulsiyalarda kuchaytirilgan flokulyatsiya uchun flokulyantlarning optimal konsentratsiyalarini aniqlash bilan asoslanib, bu turli maqsadlar uchun flokulyantlar yaratish jarayonini maqsadli amalga oshirish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati sopolimerlarini sintez usulini ishlab chiqish hamda texnik va oqova suvlarni tozalash uchun yangi flokulyantlar olish texnologiyasini ishlab chiqishda, ularni turli sharoitlarda selektiv flokulyatsiya jarayonida qo'llashda, shuningdek ta'lim muassasalarida kimyo, kimyoviy va ekologik texnologiya sohalarida bakalavr va magistr mutaxassislarini tayyorlash jarayonida qo'llanishiga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarini joriy qilish. Akrilamid sopolimerlari asosida suvni tozalash uchun flokulyantlar olish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

oqava suvlarni organik va noorganik mddalardan tozalash uchun flokulyantlar ishlab chiqarish texnologiyasi «Elektrokimyozavod» AJ QKda «2025-2026-yillarda amaliyotga joriy etish bo'yicha istiqbolli ishlanmalar ro'yxati»ga kiritilgan («Elektrokimyozavodi» AJ QKning 2025 yil 25 avgustdagi № 95-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, sintez qilingan mahsulotlar mahalliy sharoitida import qilingan flokulyant analoglarini to'liq almashtirish imkonini beradi;

akril va malein kislotalari bilan akrilamid sopolimerlari asosida oqava suvlarni tozalash uchun flokulyantlar «Elektrokimyozavod» AJ QKda «2025-2026-yillarda amaliyotga joriy etish bo'yicha istiqbolli ishlanmalar ro'yxati»ga kiritilgan («Elektrokimyozavodi» AJ QKning 2025 yil 25 avgustdagi № 95-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, qoldiq ko'rsatkichlarini tijorat PAAGA nisbatan muallaq moddalar 20-30 %, loyqalik 25-35 %, XIK 20-35 %, БИК₅ 25-30% va umumiy organik uglerod 20-30 % ga kamaytirish orqali texnik suvga muvofiqligini ta'minlash

imkonini beradi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining natijalari 4 ta xalqaro va 2 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarda bayon etilgan va muhohakamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 13 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta maqola, shundan 3 ta Respublika va 4 ta xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya xajmi 128 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va talab yuqoriligi asoslab berilgan, maqsad va vazifalar shakllantirilgan, tadqiqotning obyekti va predmeti tavsiflangan, O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi yoritilgan, ilmiy yangilik, nazariy va amaliy ahamiyat bayon etilgan, tadqiqot natijalarini joriy etish, chop etilgan ishlanmalar, aprobatsiya hamda dissertatsiyaning tuzilishi haqida ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Polimer flokulyantlar va ularning suvni organik va noorganik barqaror ifloslantiruvchilardan tozalashdagi qo'llanilishi**» deb nomlangan birinchi bobida suvni tozalash uchun polimer flokulyantlarga oid masalalar yoritilgan, flokulyatsiya mexanizmlari va flokulyatsiya jarayonlarida polimer ko'priklarining o'rni tahlil qilingan, suvni flokulyatsion tozalash uchun poliakrilamidlarni ishlab chiqishga oid tadqiqotlar keltirilgan. O'tkazilgan tahlil ushbu dissertatsion tadqiqotning maqsadini shakllantirish va vazifalarni belgilash uchun asos bo'lib xizmat qilgan.

Dissertatsiyaning «**Akrilamid asosidagi flokulyantlarni sintez qilishning metodik asoslari va ularning xususiyatlarini o'rganish**» deb nomlangan ikkinchi bobida tadqiqot obyektlari yoritilgan.

Tadqiqot obyektlari sifatida anion flokulyantlar – akrilamidning akril (8FAK) va malein (8FMK) kislotalari bilan sopolimerlarini sintez qilish uchun yuqori tozalikka ega monomerlar va reagentlardan foydalanilgan. Malein kislotasi ($\geq 99\%$) suvda eriydigan ikki asosli kislota ($pK_{a1} \approx 1,9$; $pK_{a2} \approx 6,2$) bo'lib, zich karboksil funktsionalligini shakllantiradi va metall ionlari bilan kompleks hosil qilishga moyil. Akril kislotasi ($\geq 99\%$) suv bilan to'liq aralashadi, $pK_a \approx 4,25$ ga ega va o'z-o'zidan polimerlanishni oldini olish maqsadida ingibitor (MEHQ) bilan ta'minlanadi. Akrilamid ($\geq 99\%$) suvda eriydigan kristall monomer bo'lib, toksikologik talablar asosida qo'llanilgan. Initsiatsiya ammiak persulfati yordamida amalga oshirilgan, eritmalar esa qo'llanishidan oldin tayyorlangan. Ion kuchi, pH va neytrallanish darajasi KCl, KOH va HCl yordamida boshqarilgan. Polimerlarni cho'ktirish va yuvish jarayonlari atseton yordamida olib borilgan, reaksiya muhiti sifatida ikki marta distillangan suv ishlatilgan. Qo'shimcha reagentlar laboratoriya/analitik tozalikka ega

holda, tozalik va qayta takrorlanish standartlariga rioya qilingan holda qo'llanilgan.

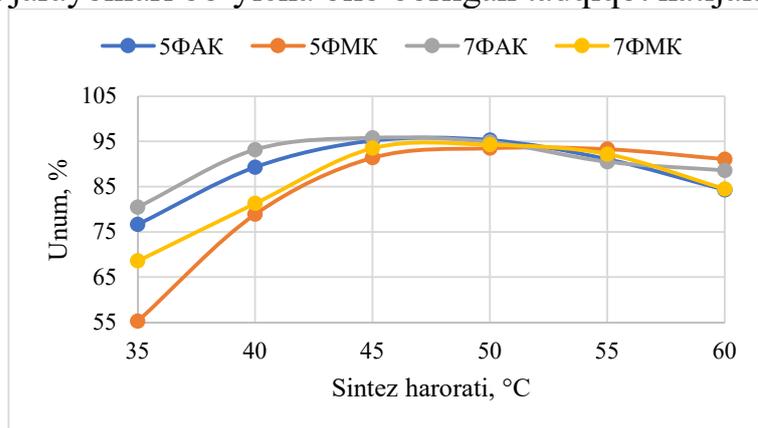
Polimerlash jarayoni suv muhitida, pH ning kislotali qiymatlarida (ishqor va neytrallovchi qo'shimchalarsiz, somonomerlarning o'zi tomonidan hosil qilingan) olib borilgan bo'lib, bu o'sib borayotgan makroradikallarning elektrostatik turtkilanishini kamaytiradi va uzun zanjirlarning shakllanishiga imkon yaratadi. AA-AK va AA-MK seriyalari sintezi aralashtirgich, qaytarma sovutkich va termostatlash tizimiga ega borosilikat reaktorda amalga oshirilgan: 100 ml suvda kislota somonomeri va akrilamid eritilgan, bunda kislota:AA molyar nisbatlari 1:4-1:8 qilib tanlangan (AA-MK uchun: 0,01462-0,025 mol MK va 0,100-0,117 mol AA; AA-AK uchun esa stexiometriyaga muvofiq xuddi shunday). Reaksiya aralashmasi azot bilan degazatsiya qilingan va germetik yopilgan; initsiatsiya yangi tayyorlangan ammiak persulfati yordamida amalga oshirilgan, u monomerlar massasiga nisbatan 0,01-0,10 % miqdorda qo'llanilgan. Polimerlash jarayoni 50 °C da 6 soat davomida o'rtacha tezlikdagi aralashtirish sharoitida olib borilgan; jarayon yakunida pH ≈ 2,1-2,2 bo'lgan bir jinsli qovushqoq eritma olingan.

Polimerni ajratib olish jarayoni atsetonni bosqichma-bosqich qo'shish orqali to'liq koagulyatsiyagacha cho'ktirish, so'ngra sentrifugalash va qoldiq monomerlar hamda past molekulyar aralashmalarni yo'qotish uchun atseton bilan yuvish orqali amalga oshirilgan; quritish 40 °C da vakuum ostida doimiy massa hosil bo'lguncha olib borilgan. Ko'rsatilgan sharoitlarda har ikki tizim uchun yuqori chiqish (≈94,1-99 %) qayta-qayta tasdiqlangan bo'lib, karboksil guruhlari -COOH shaklida saqlangan, yuqori molekulyar massali suvda eruvchan mahsulotlar hosil qilingan. Ushbu mahsulotlar ko'priksimon flokulyatsiya mexanizmini amalga oshirish uchun yaroqli ekanligi isbotlangan.

Dispers fazalar sifatida Navbahor koni bentoniti, tovar kaltsiy karbonati (CaCO₃) va Farg'ona NQZning real oqova suvlari ishlatilgan; qattiq materiallar dastlab elakdan o'tkazish usuli bilan <1 mm gacha fraksiyalangan, namligi aniqlangan va barcha dozalar quruq modda hisobida kiritilgan. Bentonit 5 % li suvli suspenziya ko'rinishida tayyorlangan, bunda 1 mass.% kokamid DEA qo'shilgan: kukun yuqori tezlikda (voronka hosil qilib) kiritilgan, so'ngra 300-400 ayl/min da 45-60 daqiqa davomida dispersiyalangan va 20-25 °C da 12 soat «yetiltirilgan», tajriba oldidan esa qisqa muddatli aralashtirish amalga oshirilgan. Kaltsiy karbonat 10 % li suspenziya ko'rinishida 1% og'. kokamid DEA bilan tayyorlangan: dastlab kukun namlangan, 400-500 ayl/min da 20-30 daqiqa aralashtirilgan, zarurat tug'ilganda ultratovush bilan 5 daqiqagacha ishlov berilgan; so'ng 15-20 daqiqa degazatsiya qilinib, tayyorlangan kuni ishlatilgan. Oqova suvlar o'rtacha namuna namuna asosida olingan, 4±2 °C da saqlangan va 24-48 soat davomida, 1 mm li elakdan o'tkazilgach, pH, loyqalik, ranglilik, XPK/TOC ko'rsatkichlari o'lchanganidan keyin ishlatilgan; real suv namunalari tarkibiga qo'shimcha SFM kiritilmagan. Barcha tajribaviy sinovlarda 20-25 °C harorat, ikki marta distillangan suv, bir xil aralashtirish/ushlab turish vaqtlari ta'minlangan hamda flokulyatsiya tajribalarini boshlashdan avval suspenziyalar barqarorligi (30-60 daqiqa) nazorat qilingan.

Dissertatsiyaning «**Flokulyantlarni sintez qilish va ularning flokulyatsion xususiyatlarini o'rganish**» deb nomlangan uchinchi bobida sopolimerlarni sintez

qilish jarayonlari bo'yicha olib borilgan tadqiqot natijalari yoritilgan.



1-rasm. Sopolimerlash reaksiyasi unumining haroratga bog'liqligi

Barcha tajribaviy sinovlarda 45–50 °C atrofida reaksiya unumining tor harorat maksimumlari qayd etilgan: AA–AK uchun 95–96 %; 45 °C dan pastda unum 6–18 foiz punktiga kamaygan, 50–55 °C dan yuqorida esa qizib ketish sababli 60 °C da 84–91 % gacha pasaygan. AA–MK uchun 35–40 °C da unum ancha past bo'lgan, ammo 50–55 °C da barqarorlashib ≈93–95 % ni tashkil etgan; 60 °C da 5FMK ≈91 % unumni saqlagan, 7FMK esa ≈84 % gacha tushgan. AA ulushi 7:1 gacha oshirilganda AA–AK tizimida butun harorat diapazonida konversiya o'sishi kuzatilgan; AA–MK uchun esa 35–50 °C da 7:1 tarkib afzal hisoblanib, 55–60 °C da turlicha termosezuvchanlik va zanjir uzilishlarining ko'payishi tufayli 5:1 nisbat barqarorroq bo'lgan.

1-jadval ma'lumotlari har ikki tizim uchun ~50 °C da konversiyaning aniq maksimumini va AA ulushi ortishi bilan (4:1 dan 8:1 gacha) unumning oshishini tasdiqlaydi: FAK uchun 8:1 nisbatda 40–50 °C da 94–97 % ga erishilgan, 60 °C da esa initsiatorning tez parchalanishi va zanjirlarning uzilishi hisobiga pasayish kuzatilgan. AA ulushining ortishi protonlangan karboksil markazlari ulushini kamaytiradi, intermolekulyar assotsiatsiyalarni va diffuzion cheklanishlarni susaytiradi, shu orqali zanjirlarning o'sishini tezlashtiradi.

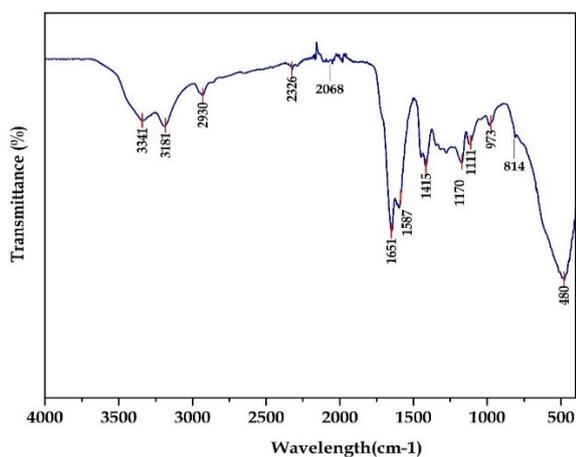
1-jadval

Harorat va monomerlar nisbatiga bog'liq holda sopolimerlash jarayonining unumi

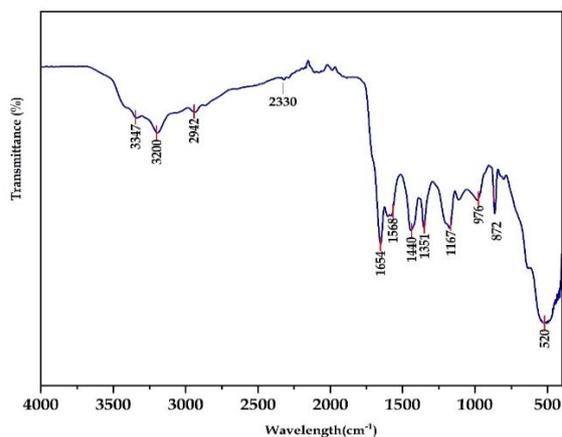
Namuna	Harorat, °C	Monomerlar nisbati, AA/Kislota		
		4/1	6/1	8/1
FAK	40	76,1	88,6	94,3
	50	78,2	89,2	96,5
	60	74,3	86,8	91,2
FMK	40	66,2	78,2	83,3
	50	71,3	79,6	95,1
	60	74,6	77,3	88,2

FMK uchun 40 °C da unum past bo'lib, bu kuchli vodorod bog'lanishlari va MK ning ikki asosli kislotali tabiatiga bog'liq; 50 °C da konversiya keskin ortib, 8:1 nisbatda ~95 % ga yetadi va 60 °C da yana pasayadi. Optimal sharoitlar sifatida 50 °C atrofidagi mo'tadil haroratlar hamda AA boyitilgan tarkiblar (8:1) belgilangan; ~40 °C va ≥55–60 °C rejimlari esa maqsadga muvofiq emas.

Umumiy unum va qovushqoqlik ko'rsatkichlari majmuasidan kelib chiqib, keyingi tadqiqotlar uchun optimal tarkiblar tanlab olindi: 50 °C da sintez qilingan 8FAK va 55 °C da sintez qilingan 8FMK. Olingan ma'lumotlar quyida keltirilgan.



2-rasm. 8FAK ning IQ-spektri.



3-rasm. 8FMK ning IQ-spektri.

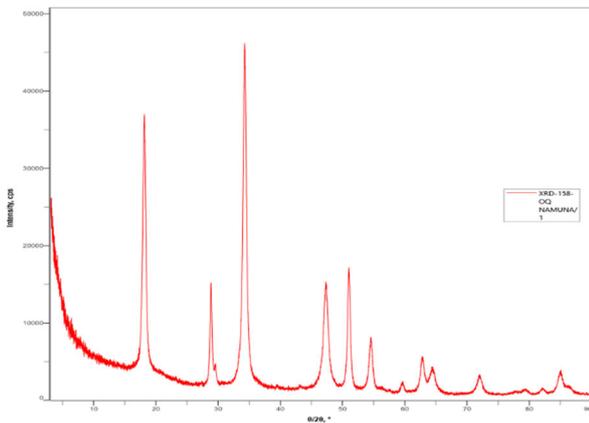
8FAK (AA–AK, 8:1) ning IQ-spektri amidli chiziqlar bilan xarakterlanadi: amid I 1651 cm^{-1} , amid II $\sim 1587 \text{ cm}^{-1}$, amid III/ $\nu(\text{COO}^-)$ $\sim 1415 \text{ cm}^{-1}$; $1170\text{--}1110 \text{ cm}^{-1}$ oralig‘ida $\nu(\text{C-O})/\nu(\text{C-N})$ tebranishlari kuzatiladi, $973/814 \text{ cm}^{-1}$ da skelet tebranishlari mavjud; monomer $\text{C}=\text{C}$ chiziqlari qayd etilmagan. Erkin kislota karbonilining ($1710\text{--}1730 \text{ cm}^{-1}$) aniq chizig‘ining yo‘qligi AK ulushining pastligi va kuchli vodorod bog‘lanishlari/qisman dissotsiatsiya bilan izohlanadi, bu esa p(AA-co-AK) strukturasi va COOH-funksionalligining saqlanishi bilan mos keladi.

8FMK namunasi 8FAK ga nisbatan yanada kuchli karboksil quyi tizim va vodorod bog‘lanishlarini namoyon etadi: N–H/O–H tebranishlarining ikkiga ajralgan maksimumi ($\approx 3347/3200 \text{ cm}^{-1}$), amid II polosasi 1568 cm^{-1} ga siljishi, 1440 va 1351 cm^{-1} da intensiv chiziqlar hamda $\Delta\nu(\text{COO}^-)$ ning kichik qiymati, shuningdek $\nu(\text{C-O})$ ning yagona maksimumi $\sim 1167 \text{ cm}^{-1}$ va tekislikdan tashqari tebranishlarning 872 cm^{-1} ga siljishi qayd etilgan. Barcha hollarda $\text{C}=\text{C}$ polosalarining yo‘qligi to‘liq konversiyani tasdiqlaydi; 8FMK uchun spektral belgilar maleinat bo‘g‘inidagi yonma-yon joylashgan ikki karboksil guruhlarini hamda makrozanjirlarning yanada “bog‘langan” lokal muhitini aks ettiradi.

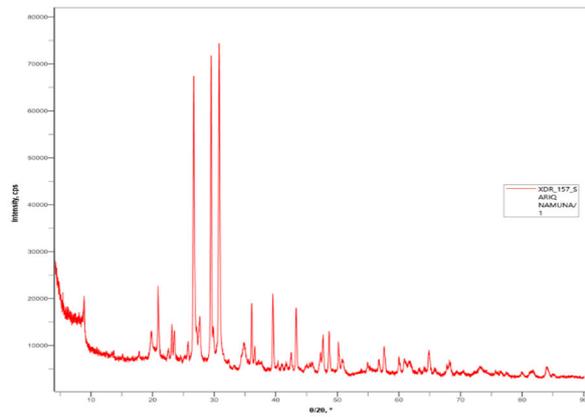
Model noorganik fazalar sifatida bentonit (Navbahor konidan olingan montmorillonit saqlovchi gil) va kaltsiy karbonati (bo‘r, asosan kaltsit) tanlab olingan.

RFA ma‘lumotlariga ko‘ra, CaCO_3 ning asosiy fazasi — kaltsit (R-3c) bo‘lib, $2\theta \approx 31,3\text{--}31,5^\circ$, $39,4\text{--}39,5^\circ$ (113 tekislik) va $71,6\text{--}71,8^\circ$ da xos reflekslar qayd etilgan va ular etalon bilan mos keladi. Past fon va begona cho‘qqilarning yo‘qligi yuqori kristalliklik darajasi hamda aralashmalarning juda kamligini ko‘rsatadi; namuna keyingi flokulyatsion sinovlar uchun reprezentativ hisoblanadi.

RFA natijalari bentonit uchun $2\theta \approx 5,3\text{--}6,5^\circ$ da past burchakli reflekslarni ko‘rsatadi ($d_{001} \approx 16,6\text{--}13,6 \text{ \AA}$), bu qisman gidratlangan smektitga xosdir. Shuningdek, illitning cho‘qqilari ($\approx 8,84^\circ$, $d \approx 10 \text{ \AA}$) va kaolinitniki ($\approx 12,1\text{--}12,5^\circ$, $d \approx 7,3\text{--}7,1 \text{ \AA}$) qayd etilgan. Yuqori burchaklarda esa kvarts ($\approx 26,66^\circ$) va kaltsit ($\approx 29,48^\circ$) chiziqlari yaqqol ifodalangan bo‘lib, ular tabiiy aralashmalarni ko‘rsatadi. d_{001} ning $\approx 14\text{--}16 \text{ \AA}$ diapazondagi holati Ca-smektitning ustunligini hamda qatlamlararo gidratatsiyaning yuqoriligini bildiradi (Ca^{2+} ionlarining anion polimerlar bilan ko‘prik hosil qilish ehtimoli mavjud). Shu bilan birga, illit va kaolinitning qo‘shilishi adsorbsiyaga va flokulyatsiya jarayonining ishchi pH qiymatlariga ta‘sir etuvchi chekka kislota-asosiy markazlarni qo‘shib beradi.



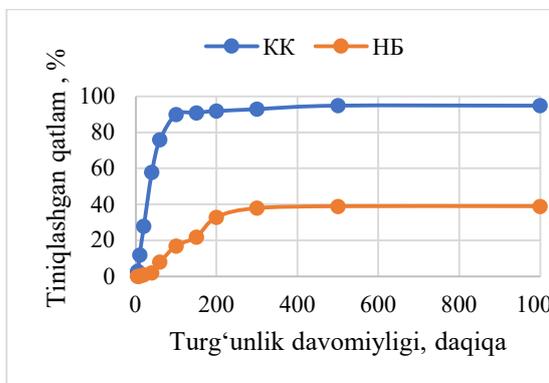
4-rasm. Foydalanilgan kaltsiy karbonatining rentgenogrammasi.



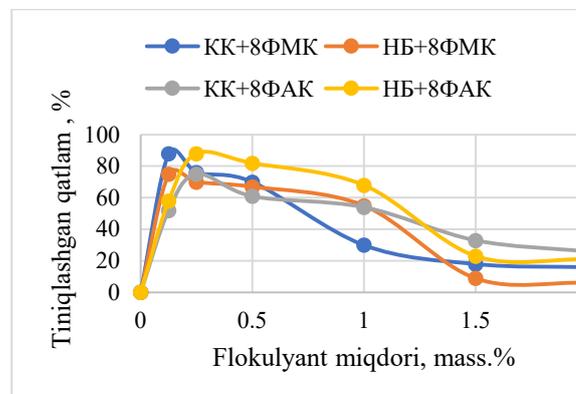
5-rasm. Foydalanilgan bentonitning rentgenogrammasi.

Bentonit va boʻrni yagona kinetik sharoitda taqqoslash ularning sirt zaryadi va disperslik taʼsirini ajratib koʻrsatishga imkon berdi: bentonitda mayda fraksiya va manfiy bazal zaryad tufayli dastlabki tiniqlashish sekinlashgan, boʻrda esa yirik floklarning siljishga chidamliligini belgilovchi zarrachalararo kontaktlarning mustahkamligi chegaralovchi omil boʻlgan. Tadqiqotning birinchi bosqichida flokulyantsiz statik sharoitda oʻz-oʻzidan tiniqlashish oʻrganilgan. Tiniqlashgan qatlam hajmining vaqtga bogʻliqligi 6-rasmda keltirilgan.

Flokulyantsiz sharoitda CaCO_3 tez choʻkadi: tiniqlashgan qatlam hajmi ~ 3 ml dan 60 daqiqada 76 ml gacha oshadi, ~ 100 daqiqada 90 ml ga yetadi va ~ 500 daqiqada ~ 95 ml atrofida plato kuzatiladi. Kinetika ikki bosqichli boʻlib, dastlabki tezlik 10–40 daqiqalarda $\sim 1,5$ ml/min gacha yetadi, $t_{50} \approx 30\text{--}35$ daqiqa, bu esa zich zarrachalarning gravitatsion choʻkishiga mos keladi. Bentonit esa, aksincha, juda sekin choʻkadi: 60 daqiqada ~ 8 ml, 200–300 daqiqalarda 33–38 ml, 500–1000 daqiqalarda esa ~ 39 ml darajasida plato hosil qiladi; oʻz platoga nisbatan $t_{50} \approx 120\text{--}140$ daqiqani tashkil etadi. Bu holat mayda fraksiya, shishish jarayoni va smektitning manfiy bazal zaryadi bilan bogʻliq. Shunday qilib, boʻr uchun moʻtadil dozada mustahkam floklar talab etiladi, bentonit uchun esa yuqoriroq doza va choʻzilgan, sekin aralashtirish zarur. Fon agregatsiyasini bartaraf etish maqsadida model suspenziyalar 1 mass.% kokamid DEA bilan barqarorlashtirildi: 24 soat davomida turgʻuzilganda tiniqlashgan qatlam hosil boʻlmadi. Barcha taqqoslama sinovlar ana shunday barqarorlashtirilgan tizimlarda oʻtkazildi.



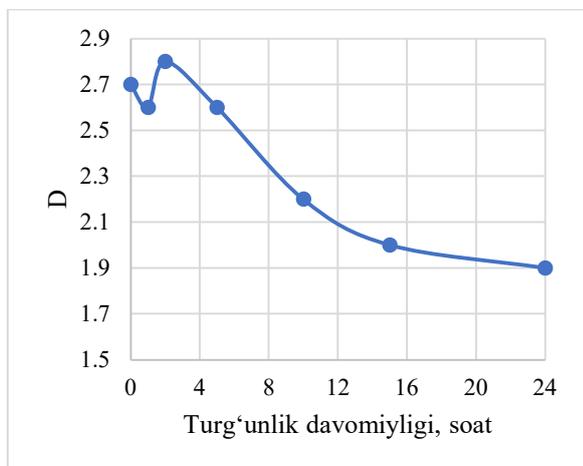
6-rasm. KK (10 %) va NB (5 %) suspenziyalarida tiniqlashgan qatlam hosil boʻlish kinetikasi.



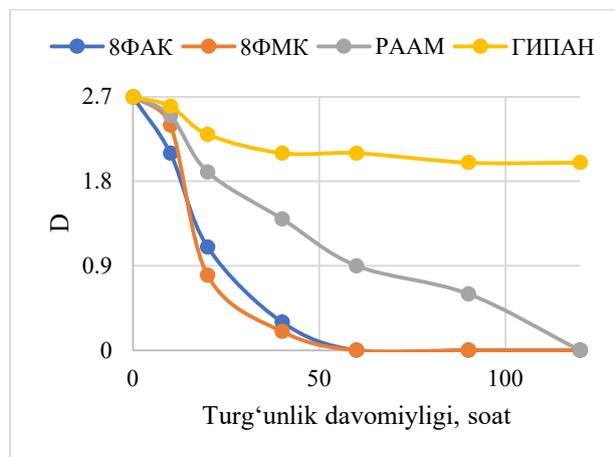
7-rasm. Flokulyantlarning turli miqdorlarida flokulyatsiya kinetikasi.

“Tiniqlashgan qatlam hajmi – doza” egri chiziqlari pog‘onali shaklga ega bo‘lib, bu ko‘priksimon flokulyatsiyani va ortiqcha dozalanishda yuzaga keladigan qayta barqarorlashishni tasdiqlaydi. CaCO_3 uchun eng yaxshi natijani 8FMK beradi: maksimal tiniqlashish $\approx 88\%$ 0,125 % dozada kuzatiladi, undan keyin samaradorlik muntazam kamayadi; 8FAK esa $\approx 75\%$ tiniqlashishga 0,25 % da erishadi. Bentonit uchun esa 8FAK afzal: 0,25–0,5 % diapazonda 82–88 % tiniqlashish ta‘minlanadi; 8FMK 0,125–0,25 % da 70–75 % bilan chegaralanadi va yuqori dozalar berilganda tizimni keskin qayta barqarorlashtiradi. Amaliy jihatdan: karbonat suspenziyalar uchun 8FMK ning past dozali rejimi, smektitli suspenziyalar uchun esa 8FAK ning mo‘tadil dozalarida va cho‘zilgan sekin aralash tirish bilan qo‘llanishi maqsadga muvofiq; har ikkala holatda ham ortiqcha dozadan qochish zarur. Asosiy sinovlar bo‘rning o‘z-o‘zidan tiniqlashishini va bentonitning barqarorligini tasdiqladi; taqqoslash uchun model suspenziyalar 1 mass.% kokamid DEA bilan barqarorlashtirilgan.

Keyingi tadqiqot bosqichi AA–AK va AA–MK sopolimerlarining aralash dispersiyalarda (bentonit, CaCO_3) model organik ifloslantiruvchilar ishtirokida ta‘sirini o‘rganishga bag‘ishlandi. Ishchi dozalarining qiymati va reagentlarni kiritish tartibi, pH va ion kuchining ta‘siri, shuningdek polimerlarning organik molekulalar bilan adsorbsion markazlar uchun raqobati baholandi. Model tizim sifatida 40:60 nisbatdagi “og‘ir neft-suv” emulsiyalari ishlatildi, ular 1 mass.% natriy stearati bilan barqarorlashtirildi; demulsifikatsiya kinetikasi va barqarorlik UV-Vis spektroskopik usuli yordamida optik zichlikdagi o‘zgarishlar asosida qayd etildi.



8-rasm. Tizimning optik zichligi saqlash jarayonida (25 °C) o‘zgarishi.



9-rasm. Tizim massasiga nisbatan 0,25 % flokulyant qo‘llanganda optik zichlikning o‘zgarishi (25 °C).

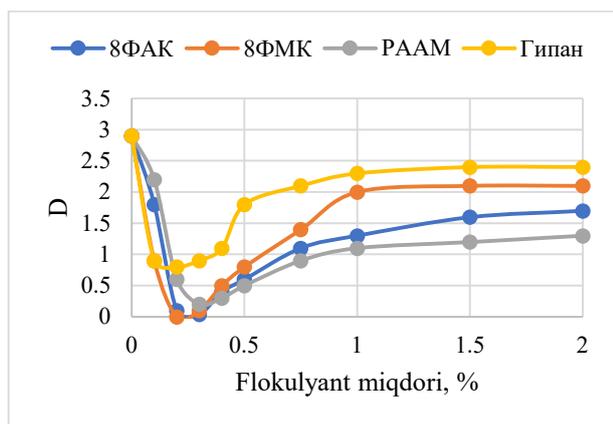
D(t) egri chizig‘iga ko‘ra, natriy stearati bilan barqarorlashtirilgan “neft-suv” emulsiyasi sekin parchalanish bilan barqarorlikni namoyon etadi. Optik zichlik bir sutka davomida $\sim 2,7$ dan $\sim 1,9$ gacha pasayadi, ya‘ni taxminan 30 % kamayadi. Dastlabki soatlarda o‘zgarishlar ahamiyatsiz bo‘lib, 2-soatdagi kichik ko‘tarilish (2,8) namuna olish xatoligi yoki dispers tuzilmaning dastlabki qayta tashkil topishi bilan izohlanadi. 5–10-soatlardan boshlab D ning sezilarli pasayishi kuzatiladi, 15-soatdan keyin esa tezlik sekinlashadi. Bunday kinetika barqaror emulsiyaga xos bo‘lib, bunda uzoq vaqt davomida tez koalesensiya emas, balki tomchilarning sekin yiriklashish jarayonlari ustunlik qiladi.

Egri chiziqlarni taqqoslash (9-rasm) shuni ko‘rsatadiki, sintez qilingan har ikkala sopolimer emulsiyalarning parchalanishini keskin tezlashtiradi. 8FMK qo‘shilganda optik

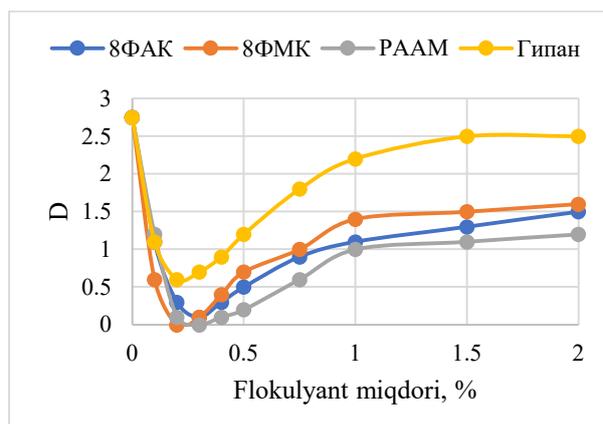
zichlik 20-soatga kelib 2,7 dan 0,8 gacha, 40 soatda esa 0,2 gacha tushadi; to'liq tiniqlashish 60 soatda qayd etiladi. 8FAK uchun dinamika yaqin bo'lsa-da, biroz sekinroq: 20-soatga kelib optik zichlik 2,7 dan 1,1 gacha, 40 soatda 0,3 gacha kamayadi va nol qiymatga 60 soatda erishiladi.

Tovar poliakrilamidi (PAAM) ancha sust ta'sir ko'rsatadi: xuddi shu sharoitlarda optik zichlik 40 soatda faqat 1,4 gacha kamayadi va nol qiymatga faqat 120 soatda erishiladi. Bu holat PAAM ning neytral tabiatiga mos keladi: karboksil markazlari bo'lmagani sababli u natriy stearati bilan fazalararo plyonka uchun sustroq raqobatlashadi va tomchilararo kamroq samarali ko'priklar hosil qiladi. Aksincha, gidrolizlangan poliakrilonitril (GIPAN) aniq barqarorlashtiruvchi effekt namoyon etadi: D deyarli kamaymaydi va 120 soatgacha 2,0–2,1 atrofida saqlanadi. COO⁻ guruhlarini zich joylashgan polimer zanjiri suv fazasining qovushqoqligini oshiradi va tomchilarni elektrosterik himoya bilan o'rab, koalesensiya hamda suzib chiqishga to'sqinlik qiladi.

“Neft-suv” emulsiyasiga mineral tarkibning ta'sirini baholash uchun tarkibida 0,1% og' kaltsiy karbonat (KK) va 0,1 mass.% Navbahor bentoniti (NB) qo'shilgan namunalari tayyorlandi. Bu qo'shimchalar oqova suvlarga xos bo'lgan suspenziyalangan mineral aralashmalarni modeli sifatida xizmat qiladi.



10-rasm. Neft+suv+bentonit (0,05 %) tizimining optik zichligining turli flokulyant konsentratsiyalari ta'sirida o'zgarishi (25 °C).



11-rasm. Neft+suv+KK (0,05 %) tizimining optik zichligining turli flokulyant konsentratsiyalari ta'sirida o'zgarishi (25 °C).

0,05 % bentonit ishtirokida boshlang'ich $D_0 \approx 2,9$ bir xil bo'lsa-da, javob turlicha namoyon bo'ladi: anion sopolimerlar uchun optimal diapazon tor — 0,20–0,30 %. 8FMK qo'shilganda 0,20 % da to'liq tiniqlashish ($D=0$) kuzatiladi, ammo 0,4–1,0 % da qayta barqarorlashish ($D \approx 0,5–2,0+$) sodir bo'ladi. 8FAK esa 0,20–0,30 % da $D \approx 0,10–0,04$ minimal qiymatlarni beradi, 0,5–1,0 % da esa $D \approx 0,6–1,3$ gacha ortadi. Poliakrilamid sezilarli darajada sustroq ($D \approx 0,2–0,3$ minimal qiymat 0,3–0,4 % da, undan keyin 1,1–1,3 gacha ko'tariladi), GIPAN esa barqarorlashtiruvchi ta'sir ko'rsatadi (0,1–0,3 % da $D \approx 0,8–0,9$, keyinchalik 2,3–2,4 gacha oshadi). Mexanizm nuqtayi nazaridan, manfiy zaryadlangan bentonit plastinkalari kichik dozalarda ko'priksimon flokulyatsiyani qo'llab-quvvatlaydi (8FMK uchun bu yaqin joylashgan COOH-guruhlarining kaltsiy bilan koordinatsiyasi hisobiga kuchayadi), ortiqcha dozalanishda esa elektrosterik qayta barqarorlashish yuz beradi. Amaliy jihatdan optimal dozalar 0,20–0,30 % bo'lib, 8FMK tezroq demulsifikatsiya qiladi, 8FAK esa doza o'zgarishlariga nisbatan barqarorroqdir.

Kaltsit matritsasi demulsifikatsiya barcha flokulyantlar uchun osonlashadi,

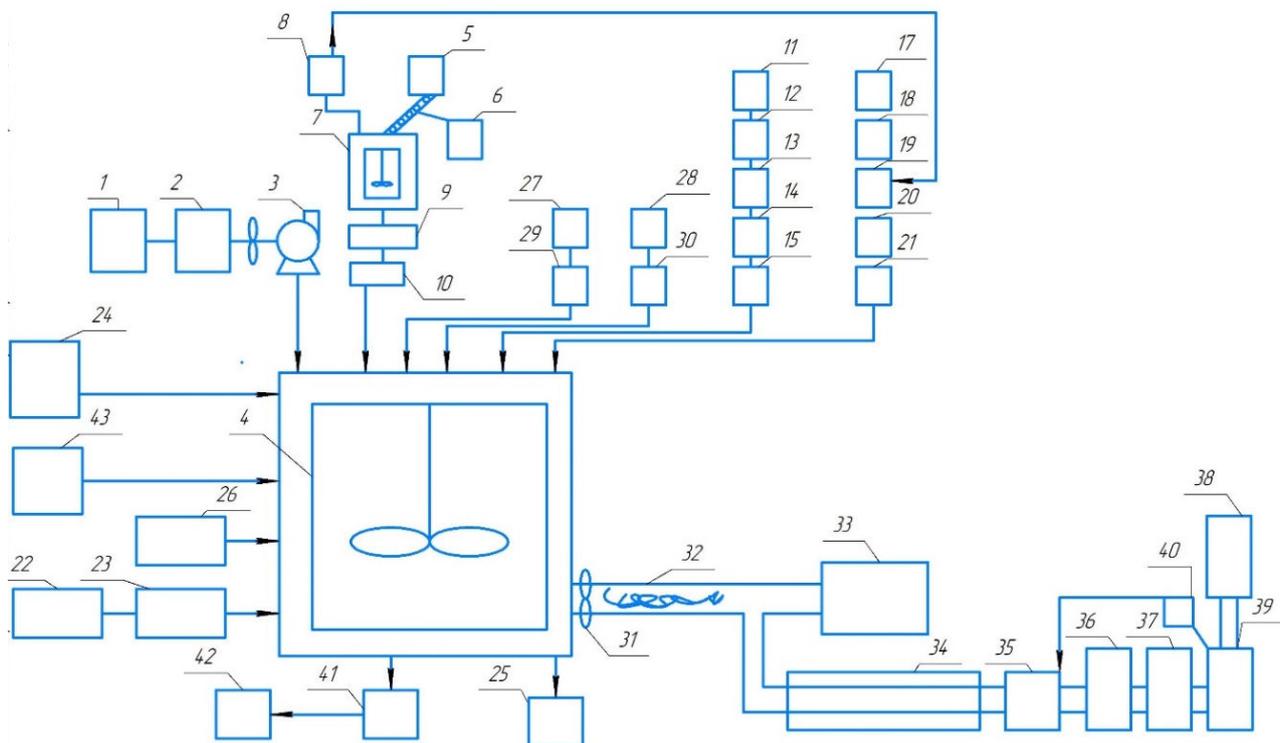
ayniqsa 8FMK va PAAM uchun: 8FMK har ikkala tizimda ham 0,20 % da to'liq tiniqlashishni beradi, ammo CaCO_3 da qayta barqarorlashish yumshoqroq (1–2 % da $D \approx 1,4-1,6$), bentonitdagi >2 ga nisbatan, bu kaltsiy-koordinatsion ko'priklar bilan bog'liq. 8FAK uchun CaCO_3 da minimal qiymatlar biroz yuqoriroq: 0,20–0,30 % da $D \approx 0,3-0,1$, bentonitda esa 0,10–0,04 bo'lib, karbonat tizimidagi qayta barqarorlashish ancha yumshoqroq kechadi. Tovar PAAM CaCO_3 da samaraliroq: 0,30 % da $D=0$ ga erishiladi, bentonitda esa minimum faqat $\approx 0,2-0,3$ darajasida qoladi. GIPAN har ikkala matritsada yuqori dozalarda barqarorlashtiruvchi ta'sir ko'rsatadi, ammo past konsentratsiyalarda CaCO_3 da boshlang'ich pasayish kuchliroq ($D \approx 0,6-0,7$, bentonitdagi 0,8–0,9 ga nisbatan). Umuman olganda, CaCO_3 ishchi doza oynasini kengaytiradi va ortiqcha dozalanishni yumshatadi; smektit esa polimer ortig'iga nisbatan sezgir bo'lib qoladi.

Dissertatsiyaning «**Akrilamid va to'yinmagan kislotalar asosida flokulyantlar olish texnologiyasini ishlab chiqish**» deb nomlangan to'rtinchi bobida 8FAK va 8FMK flokulyantlarini olish bo'yicha yarim sanoat texnologiyasini yaratishga oid tadqiqot natijalari yoritilgan.

8FAK va 8FMK ni yarim sanoat sharoitida sintez qilish texnologiyasini ishlab chiqish — laboratoriyadan amaliyotga o'tishning muhim bosqichi bo'lib, bunda akrilamidning akril/malein kislotalari bilan radikal sopolimerlash jarayonini optimal rejimlarni saqlagan holda kengaytirish vazifasi hal qilinadi. Bu esa zarur molekulyar parametrlar va yuqori flokulyatsion faollikni ta'minlaydi. Ishlab chiqilgan texnologiya yiriklashtirilgan darajada takrorlanishini tasdiqlaydi va sanoatga joriy etishda tanqidiy ahamiyatga ega bo'lgan uzellar hamda rejimlarni aniqlaydi. Akrilamid, akril kislotalari va malein kislotasidan foydalanishga asoslangan ishlab chiqilgan texnologik sxema 12-rasmda keltirilgan.

Deionizatsiyalangan suv baki (1)dan filtr (2) va nasos (3) orqali polimerizatsiya reaktoriga (4) uzatiladi. Akrilamid bunkeridan (5) dozator (6) yordamida olinib, erituvchi-aralashtirgichda (7) suv (8) bilan eritiladi; hosil bo'lgan eritma filtr (9) va nasos (10) orqali reaktorga (4) yuboriladi. Akril kislotalari termostatlangan idishdan (11) gabsizlantirishdan keyin ko'mir filtri (12) orqali o'tkazilib, nasos (13) yordamida qabul qiluvchi idishga (14) uzatiladi, so'ng filtr (15) va nasos (16) orqali reaktorga (4) beriladi. Malein kislotalari silosdan (17) dozator (18) yordamida eritma tayyorlash tugunida (19) suv (8) bilan eritilib, filtr (20) va nasos (21) orqali reaktorga (4) yuboriladi. Ishqor eritmasi apparatda (22) tayyorlanadi va nasos (23) orqali pH qiymatiga qarab (4) ga kiritiladi. Inertlashtirish tugundan (24) azot yordamida amalga oshiriladi, dastlabki gabsizlantirish vakuum nasosi (25) orqali bajariladi; harorat tartibini stansiya (26) ta'minlaydi. Initsiator eritmalari aralashtirgichlarda (27) va (28) tayyorlanib, dozatorlar (29) va (30) orqali reaktorga (4) yuboriladi. Polimerizatsiyadan so'ng gel lotok (31) orqali maydalagichga (32) uzatiladi, quritish shkafda (33) yoki lenta quritgichida (34) bajariladi, undan keyin maydalash (35), saralash (36), antisoyg'uvchi qo'shilgan holda aralashtirish (37) va dozator (38) orqali qadoqlash amalga oshiriladi; namunalar shkaf (39) orqali tayyorlanadi. Nostandart fraksiya elevator (40) yordamida qaytariladi. Oqava suvlar bakda (41) neytrallanadi va ko'mir kolonkasida (42) tozalanadi; uskunalar yuvilishi SIP-stansiya (43) orqali drenajlarni (41) ga qaytarish bilan bajariladi. Xomashyo va tayyor mahsulotlar alohida

saqlanadi; gaz tizimlari va shamollatish moslamalari himoya armaturalari bilan jihozlangan, tugunlarni boshqarish panel orqali amalga oshiriladi.



12-rasm. Akrilamidning to‘yinmagan kislotalar bilan sopolimerlari asosida flokulyantlar ishlab chiqarish texnologik sxemasi:

1. deionizatsiyalangan suv baki; 2. nozik tozalash filtri; 3. suv uzatish nasosi; 4. qoplama va aralastirgichga ega polimerizatsiya reaktori; 5. akrilamid bunkeri; 6. akrilamid dozatori; 7. AA aralastirgich-eritgichi; 8. suv baki; 9. 5 mkm filtri; 10. AA dozator-nasosi; 11. akril kislotasi idishi; 12. ko‘mir filtri; 13. AK dozator-nasosi; 14. AK qabul qiluvchi idish; 15. AK filtri; 16. AK dozator-nasosi; 17. malein kislotasi silosi; 18. MK dozatori; 19. MK eritma tayyorlash tuguni; 20. MK filtri; 21. MK dozator-nasosi; 22. ishqor tayyorlash apparati; 23. ishqor dozator-nasosi; 24. azot berish tuguni; 25. vakuum nasosi; 26. termostatlash stansiyasi; 27. PSA eritma aralastirgichi; 28. BSN eritma aralastirgichi; 29. PSA dozatori; 30. BSN dozatori; 31. gel tushirish lotogi; 32. gel maydalagichi; 33. quritish shkafi; 34. lenta quritgichi; 35. tegirmon; 36. klassifikator; 37. tayyor mahsulot aralastirgichi; 38. qadoqlash dozatori; 39. namuna tayyorlash shkafi; 40. retsirkulyatsiya elevatori; 41. oqava suvlarni neytrallash baki; 42. ko‘mir kolonnasi; 43. SIP-stansiya.

1 partiya uchun moddiy balans. Sopolimerizatsiya AA/AK = 8/1 (mol nisbatida), monomerlarning massaviy ulushlari tipik partiya tarkibida: akrilamid (AA) 88,752 %, akril kislotasi (AK) 11,248 %. 10,0 kg quruq polimer olish uchun 8,88 kg akrilamid va 1,12 kg akril kislotasi talab etiladi. Qisman neytrallash (35 %) uchun texnik natriy gidroksidi (NaOH) sof modda hisobida 0,22 kg (yoki $\approx 0,44$ kg 50 % li eritma) sarflanadi. Initsiator sifatida amoniy persulfati monomerlar massasining 0,15–0,30 % miqdorida (15–30 g) olinadi; redoks-variantda qo‘shimcha ravishda natriy metabisulfiti 10–15 g ishlatiladi. Quruq modda 22 % bo‘lishi uchun suv miqdori 45,45 kg – 10,0 kg = 35,45 kg (eritmalaridagi suvni hisobga olgan holda). Yakunda 8 % namlikda tayyor mahsulot massasi 10,87 kg ni tashkil etadi; quritish jarayonida bug‘lanadigan suv miqdori $\approx 34,6$ kg.

1 partiya uchun moddiy balans 8FAK (10,0 kg quruq modda; 22 % QM)

Komponent	Vazifasi	Me'yor/ulush	Miqdor	Birlik	Izoh
AA	monomer	quruq moddaning 88,752 % i	8,88	kg	
AK	Monomer	quruq moddaning 11,248 % i	1,12	kg	
NaOH (100 %)	qisman neytrallash 35 %		0,22	kg	0,44 kg 50 % li NaOH eritmasiga teng
PSA (amoniyl persulfati)	Initsiator	monomerlar massasining 0,15–0,30 % i	15–30	g	termik initsiatsiya uchun
BSN (natriyl metabisulfiti)	qaytaruvchi (redoks)	monomerlar massasining 0,10–0,15 % i	10–15	g	faqat redoks- sxema uchun
Suv	reaksiya muhiti	22 % QM uchun	35,45	kg	eritmaldagi suvni hisobga olgan holda

Reaksiya massasini 25 °C dan 55 °C gacha isitish: $\approx 1,52$ kVt·soat issiqlik tashuvchida ($45,5 \text{ kg} \times 4 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \times 30 \text{ K}$), talabning bir qismi ekzotermiya bilan qoplanadi, biroq hisobda konservativ baho uchun kiritilgan. Aralashtirish: gel hosil bo'lishigacha 1 soat davomida 0,55 kVt va keyingi 4 soat davomida kichik aylanish tezligida 0,2 kVt, jami $\approx 1,35$ kVt·soat. Vakuimli gabsizlantirish: 15 daqiqa davomida 0,5 kVt nasos $\approx 0,125$ kVt·soat; kichik dozator va nasoslarning ishlashi $\approx 0,2$ kVt·soat. Quritishda 34,6 kg suv chiqariladi: bug'lanishning yashirin issiqligi $\sim 2,30$ MJ/kg va suvni 60 °C gacha qizdirish (~ 146 kJ/kg) $79,5 \text{ MJ} + 5,06 \text{ MJ} = 84,6 \text{ MJ}$ ga teng, bu $\approx 23,5$ kVt·soat foydali issiqlikka ekvivalent. Umumiy energiya sarfi bir partiya uchun reaktorni isitish, aralashtirish, vakuum, nasoslar va quritishni hisobga olgan holda $\approx 26,7$ kVt·soatni tashkil qiladi. Elektrli quritish shkafi uchun bu bevosita iste'mol qilingan elektr energiyasiga mos keladi; gazli yoki bug'li-havo quritishda esa ekvivalent samaradorlik (KPD) asosida yoqilg'i sarfiga aylantiriladi.

1 partiya 8FAK uchun energetik sarflar (reaktor 50 l; 22 % QM; isitish 55 °C; bug'latiladigan suv 34,6 kg)

Bosqich / uzul	Parametrlar	Hisob	Energiya, kVt·soat	Energiya, MJ
Reaksiya massasini isitish	$m=45,5 \text{ kg}$; $c=4$ $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; $\Delta T=30 \text{ K}$	$45,5 \times 4 \times 30 = 5460 \text{ kJ}$	1,52	5,47
Aralashtirish	0,55 kVt·1 soat + 0,2 kVt·4 soat	$0,55 + 0,8 = 1,35$ kVt·soat	1,35	4,86
Vakuum-gabsizlantirish	0,5 kVt; 0,25 soat	$0,5 \times 0,25$	0,125	0,45
Dozator/perenos nasoslari	kichik yuklama	Baholash	0,2	0,72
Quritish (suvni bug'latish)	$m=34,6 \text{ kg}$; $\lambda \approx 2,30$ MJ/kg; 60 °C gacha isitish $\approx 0,146$ MJ/kg	$34,6 \times (2,30 + 0,146) = 84,6$ MJ	23,5	84,6
Jami			26,7	96,1

Bosqichlar bo'yicha vaqt sarfi. Xomashyoni tayyorlash, yuklash va gazsizlantirish – 0,8–1,2 soat. Inertlashtirish va rejimga chiqish – 0,5–0,8 soat. To'liq konversiyagacha polimerizatsiya – 3–5 soat, qo'shimcha qotirish – 2–3 soat. Sovitish va gelni tushirish – 0,5–1,0 soat. Qolgan namlik $\leq 8-10\%$ gacha quritish: lotekli quritgichda 10–15 mm qavat uchun 3–4 soat; uzluksiz lenta quritgichida 2–4 soat ekvivalent bo'lishi mumkin. Maydalash va saralash – 0,7–1,0 soat, antisyog'uvchi qo'shib aralashtirish va qadoqlash – 0,3–0,5 soat. "Xomashyo → qadoqlash" to'liq sikli 50 l hajmli reaktorda laboratoriya-yarim sanoat sharoitida ketma-ket bajarilganda taxminan 10–12 soatni tashkil etadi. Jarayonlarni qisman parallel olib borishda (masalan, quritish vaqtida keyingi partiyani tayyorlash) bir partiyaga to'g'ri keladigan kalendar vaqt qisqaradi.

4-jadval

Elementlar bo'yicha kalkulyatsiya (10 kg quruq modda partiyasi uchun)

Modda / sarf	Me'yor	Miqdor	Narx, USD/birlik	Summasi, USD
Akrilamid (AA, 98 %)	QM ning 88,8 % i	8,88 kg	1,20 \$/kg	10,66
Akril kislotasi (AK)	QM ning 11,2 % i	1,12 kg	1,041 \$/kg	1,17
NaOH (100 % ЭКВ.)	35 % neytr.	0,22 kg	0,60 \$/kg	0,13
PSA (initsiator)	monomerlarning 0,15 % i	0,015 kg	0,62 \$/kg	0,01
Antisyog'uvchi (SiO ₂)	mahsulotning 0,2 % i	0,020 kg	0,50 \$/kg	0,01
Deionlangan suv	22 % QM gacha	35,45 kg	0,0005 \$/kg	0,02
Elektr energiya	26,7 kVt·soat	26,7 кВт·ч	0,071 \$/kVt·soat	1,9
Monomerlarni logistika (Xitoy–Toshkent, temir yo'l, 20' konteyner)	~0,326 \$/kg yuk	10,0 kg	0,326 \$/kg	3,26
Qadoqlash (20 kg qop)	1 dona	1	0,30 \$/dona	0,3
Jami, to'g'ridan-to'g'ri xarajatlar				17,45

Hisob-kitob natijalariga ko'ra, 8FAK partiyasi uchun (reaktor hajmi 50 l, quruq modda 22 %) monomerlar importi sharoitida minimal to'g'ridan-to'g'ri tannarx 17,45 USD ni tashkil etdi, bu esa 1 kg quruq mahsulot uchun 1,75 USD ga teng. Xarajatlarning eng katta ulushini monomerlar (AA + AK) tashkil etib, ular jami ~68 % ni beradi; logistika xarajatlari ~19 %; elektr energiya ~11 %; qolgan moddalar esa umumiy hisobda 3 % dan kam ulushga ega.

Tannarx akrilamid narxiga va tashish tariflariga yuqori darajada sezgir: AA narxining 10 % ga oshishi tannarxni taxminan 6 % ga oshiradi, fraxtning 20 % ga ko'tarilishi esa ~4 % qo'shimcha xarajat keltiradi. Xarajatlarni sezilarli darajada kamaytirish quruq modda ulushini oshirish, quritish rejimini optimallashtirish va yanada energiya tejamkor quritish uskunasiidan foydalanish, shuningdek xarid hajmlarini konsolidatsiya qilish va eng maqbul logistika yo'nalishlarini tanlash hisobiga mumkin.

XUJIOCA

1. Akrilamidning akril va malein kislotalari bilan sopolimerlari asosida suvda eruvchan anion flokulyantlar olingan va tavsiflangan. Gel hosil qilmasdan yuqori molekulyar mahsulotlarni ta'minlovchi sintezning texnologik rejimlari aniqlangan: 8FAK uchun 50–60 °C da termik initsiatsiya yoki 25–35 °C da 30–40 % oldindan neytrallash sharoitidagi redoks-jarayon qo'llanishi mumkin; 8FMK uchun esa minimal oldindan neytrallash bilan 25–35 °C da redoks-initsiatsiya afzal hisoblanadi.

2. Sintez qilingan flokulyantlarning tuzilishiga oid tadqiqotlar o'tkazilgan va sifatning maqsadli ko'rsatkichlari qayta ishlab chiqarilishini tasdiqlangan: xarakteristik qovushqoqlik 12–16 dl/g darajasida (0,5 M NaCl, 25 °C), qoldiq monomerlar $\leq 0,05$ %, namligi ≤ 8 –10 % bo'lgan kukun va 0,1 % li eritmaning suvda to'liq erishi ≤ 60 minut ichida ta'minlangan.

3. Tuzilmani kompleks tasdiqlash (IQ-Furye, CHNS/O, TGA/DSC, SEM) natijalariga ko'ra, AA–AK va AA–MK sopolimerlari qoldiq monomersiz, suvda eruvchan chiziqli amid-karboksil zanjirlar ekanligi isbotlandi. 8FMK uchun kuchliroq vodorod bog'lanishi aniqlangan hamda kimyoviy destruksiya boshlanishi ~ 285 °C ga siljishi (8FAK uchun ~ 240 °C ga nisbatan) va yanada yaqqolroq cho'kish morfologiyasi qayd etilgan, bu esa maleinat bo'g'inidagi qo'shni karboksil guruhlari bilan bog'liqdir. Ushbu xususiyatlar ≤ 120 –140 °C yumshoqroq issiqlik ishlovi rejimlarini tanlashni asoslaydi hamda ko'priksimon flokulyatsiya kinetikasidagi kutiladigan farqlarni izohlaydi.

4. Natriy stearati bilan barqaror "neft-suv" emulsiyalarida har ikkala sopolimer tizimni ko'priksimon flokulyatsiya rejimiga o'tkazishi aniqlandi: 0,25 % 8FMK qo'llanganda tezroq tiniqlashish kuzatildi ($t_{50} \approx 15$ soat; D: 2,7 dan 0,8 gacha 20 soatda va 0,2 gacha 40 soatda), 8FAK esa $t_{50} \approx 16$ –17 soatda shunga yaqin yakuniy tiniqlikka erishdi. Bentonit dispersiyalarida 8FAK samaraliroq (0,20–0,30 %; ortiqcha dozalashda tez qayta barqarorlashish), kaltsit tizimlarida esa 8FMK afzalroq (0,125–0,20 %; qayta barqarorlashish yumshoqroq). Shu bois flokulyant turi va dozasi minerologik tarkib va fazalararo o'zaro ta'sir mexanizmini inobatga olgan holda tanlanishi zarur.

5. 8FAK va 8FMK olish uchun yarim sanoat texnologiyasi ishlab chiqilgan va to'liq apparat jihozlari bilan tavsiflangan (tugunlarning materiallari, inertlashtirish, vakuumli gabsizlantirish, termostatlash, yakuniy ishlov berish). Uning samaradorligi 50 l hajmdagi reaktor partiyasi ko'rsatkichlari bilan tasdiqlandi: 22 % quruq modda sharoitida 10–12 soatda 10,0 kg quruq polimer ishlab chiqarildi, reaksiya aralashmasi massasi 45,45 kg ni tashkil etdi, quritishda bug'latilgan suv miqdori $\approx 34,6$ kg bo'ldi, umumiy energiya sarfi bir partiya uchun 26–27 kVt·soatni tashkil qildi. Mahsulot texnik ko'rsatkichlari 50–60 °C da quritish, 100–300 mkm o'lchamda maydalanish orqali ta'minlandi; to'g'ridan-to'g'ri tannarx 17,45 USD (1,75 USD/kg) bo'lib, xarajatlar tuzilmasi quyidagicha: monomerlar 67,8 %, logistika 18,7 %, elektr energiya 10,9 %, boshqa sarflar 2,6 %.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02.30.12.2019.К/Т35.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ ИНСТИТУТЕ
ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

ЖУМАЕВА ГУЛНИСО ЮЛЧИ КИЗИ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЛОКУЛЯНТОВ НА
ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛАМИДА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ
ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ .**

02.00.11 – Коллоидная и мембранная химия

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

Ташкент -2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистана под номером B2025.1.PhD/T5223

Диссертация выполнена в Институте общей и неорганической химии.

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

Научный руководитель:

Эшметов Иззат Дусимбатович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Махкамов Равшан Рахимович
доктор химических наук,
старший научный сотрудник

Абдурахимов Акмал Ходжаибарович
доктор философии (PhD) по
техническим наукам, доцент

Ведущая организация:

**Ферганский государственный
технический университет**

Защита состоится «18» декабря 2025 г. в «14⁰⁰» часов на заседании Научного совета DSc.02.30.12.2019.K/T35.01 при Институте общей и неорганической химии по адресу: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90; e-mail: ionxanruz@mail.ru

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института общей и неорганической химии за № 23, с которой можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре (100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а). Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90.

Автореферат диссертации разослан «4» декабря 2025 года.
(Реестр за № 23 от «4» декабря 2025 года).

Закиров Б.С.

Председатель научного совета по присуждению
ученой степени, д.х.н., профессор

Салиханова Д.С.

Ученый секретар научного совета по присуждению
ученой степени, д.т.н., профессор

Исmoilов О.Ю.

Заместитель председателя научного семинара при научном совете
по присуждению ученой степени, д.т.н., профессор



ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора (PhD) философии)

Актуальность и востребованность темы диссертации. Во всем мире с ростом требований к водоподготовке, обогащению полезных ископаемых и очистке сточных вод, обеспечение быстрого и устойчивого разделения твёрдой и жидкой фаз становится серьёзной технической задачей, напрямую влияющей на производительность узлов осветления, сгущения и фильтрации. В этой связи актуальной задачей является разработка высокоэффективных анионных флокулянтов на основе сополимеров акриламида с непредельными кислотами, и создание полупромышленной технологии их получения, обеспечивающей стабильность при колебаниях pH и ионной силы. Для решения этой проблемы необходимо оптимизировать состав и условия синтеза, подтвердить структуру и функциональность полимеров, установить кинетику и механизм мостиковой флокуляции в минеральных и смешанных органо-минеральных суспензиях и разработать технологию их производства.

На сегодняшний день ведутся научные исследования по созданию высокоэффективных анионных флокулянтов для водоподготовки и переработки минерального сырья, ориентированных на работу в минеральных и смешанных органо-минеральных суспензиях. В связи с этим особое внимание уделяется обоснованию следующих научных решений, в том числе: подбору мономерных композиций и доступного сырьевого обеспечения, оптимизации условий синтеза и инициирования для управления молекулярной массой и степенью анионности, подтверждению структуры и функциональности полимеров, установлению кинетики и механизма мостиковой флокуляции в суспензиях минералов и в эмульсиях «нефть–вода», а также разработке полупромышленной технологии получения.

В Республике достигнуты научные и практические результаты по получению новых материалов, в частности по разработке технологий производства флокулянтов, других химических реагентов и материалов для очистки воды на основе местного сырья. В третьем направлении стратегии развития Нового Узбекистана, направленной на дальнейшее развитие Республики Узбекистан на 2022-2026 годы определены задачи в направлениях «Обеспечение устойчивости национальной экономики и увеличение промышленности в общей внутренней продукции, увеличение объема производства промышленности продукции в 1,4 раза...»¹. В этом аспекте имеет большое значение создание высокоэффективных флокулянтов, отвечающих современным требованиям промышленности и охраны окружающей среды.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит осуществлению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «Стратегия действий по приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в

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

2017-2021 годах», №16-УП от 30 января 2025 года «О Государственной программе по реализации Стратегии «Узбекистан — 2030» в «Год охраны окружающей среды и «зеленой экономики», № УП-149 от 26 сентября 2024 года «О мерах по обеспечению прозрачности и дальнейшему совершенствованию системы управления в сферах экологии и охраны окружающей среды», а также в других нормативно-правовых документах, относящихся к данной сфере.

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

Степень изученности проблемы. В мире целенаправленные исследования в области синтетических и биополимерных флокулянтов ведутся школами водоподготовки и минералопереработки (J. Gregory, B. A. Bolto, J. K. Edzwald, P. Somasundaran и др.), сформировавшими фундамент понимания механизмов коагуляции/флокуляции, селективной флокуляции и применения полиакриламида в очистке воды и обогащении тонких классов.

В Узбекистане под руководством К.С.Ахмедова сложилась школа исследований флокулянтов с высокими коллоидно-химическими характеристиками; существенный вклад внесли Э.А.Арипов, Ф.Л.Глекель, С.С.Хамраев, С.Н.Аминов, А.А.Агзамходжаев, У.К.Ахмедов, Г.Р. Нарметова, И.К.Сатаев, Р.Р.Махкамов, И.Д.Эшметов, и др.

Следует отметить, что до настоящего времени не проводилось комплексных исследований, направленных на создание анионных флокулянтов на основе сополимеров акриламида и ненасыщенных кислот, предназначенных для смешанных минеральных и органоминеральных систем. В частности, недостаточно изучены вопросы кинетики и механизма мостиковой флокуляции, окна дозирования и совместного изучения влияния рН/ионной силы, а также полупромышленной технологии их получения, оценки материально-энергетического баланса и себестоимости. В связи с этим проведение научных исследований в данном направлении является важной научной задачей для создания теоретических и практических основ получения высокоэффективных флокулянтов.

Связь исследования с научно-исследовательскими планами научно-исследовательского учреждения, в котором была выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках государственной программы по теме «Разработка технологии получения адсорбентов и реагентов для очистки сточных вод нефтяной, нефтегазодобывающей промышленности, а также создание прочного структурно-образующего состава реагентов в подвижных почвенно-песчаных дисперсиях» в соответствии с научно-исследовательскими планами Института общей и неорганической химии.

Целью исследования является разработка технологии получения флокулянтов на основе сополимеров акриламида для очистки воды от органических и неорганических загрязнителей.

Задачи исследования:

обоснование выбора мономерных композиций (акриламид (АА) + акриловая (АК)/малеиновая (МК) кислоты) и целевых параметров синтеза: температура, продолжительность, молярное соотношение, инициатор системы;

установление оптимальных условий синтеза на основе вязкостных характеристики растворов сополимеров АА с АК (ФАК) и МК (ФМК), а также выходов;

проведение физико-химических исследований для установления структуры сополимерных флокулянтов;

исследование кинетики флокуляции в модельных минеральных суспензиях (бентонит, карбонат кальция), определение оптимальных доз, скорости осветления, объём и прочность флокул;

исследование флокуляции в смешанных системах «нефть–вода» и органо-минеральных дисперсиях и сопоставление эффективности с товарными полимерами (РААМ, гидролизованные полиакрилонитрилы);

разработка полупромышленной технологической схемы получения флокулянтов и расчёт материальных, энергетических и временных балансов на производство флокулянта.

Объектами исследования являются водорастворимые анионные флокулянты — сополимеры акриламида с акриловой кислотой (4ФАК-8ФАК) и с малеиновой кислотой (4ФМК-8ФМК), полученные при мольном соотношении мономеров АА/кислота $\approx 4:1-8:1$.

Предметом исследования являются исследование влияния условий синтеза (температура, время, соотношение мономеров, тип инициирования) на молекулярно-массовые и зарядовые характеристики 8ФАК/8ФМК, кинетика и механизм мостиковой флокуляции в бентонитовых и кальцитовых суспензиях и в эмульсиях «нефть–вода», эксплуатационные режимы применения и критерии эффективности, параметры полупромышленной технологии получения и оценка материально-энергетических затрат и прямой себестоимости.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы широко использовались современные и традиционные методы определения физико-химических (электронно-микроскопические, ИК-спектральные, рентгеновские, термические анализы) и коллоидно-химических (вискозиметрические, титрометрические анализы) характеристик флокулянтов и дисперсных систем.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

установлены оптимальные условия синтеза сополимеров: для 7ФАК–8ФАК 45–50 °С при АА/АК = 7–8/1, для 7ФМК–8ФМК 50–55 °С при АА/МК = 7–8/1, что связано с балансом скорости полимеризации и распада инициатора, обеспечивающим высокий выход и высокие вязкостные показатели;

доказано, что сополимеры АА–АК и АА–МК представляют собой водорастворимые линейные статистические цепи с амидно-карбоксильной группой без остаточного мономера и различием по термостабильности (для 8ФМК начало химической деструкции сдвинуто на ~40–50 °С выше), что связано с соседним расположением двух карбоксильных групп в малеинатном звене;

установлено, что для карбоната кальция 8ФМК обеспечивает до 88 %

осветления при 0,125–0,20 %, тогда как 8ФАК достигает ~75 % при ≈0,25 % (в бентонитовой системе 8ФАК и 8ФМК дают 82–88 и 70–75% % при ≥0,25 %), что связано с кальций-координационными «мостами» карбоксильных групп 8ФМК на поверхности CaCO₃ и с требованием длинных полимерных мостиков на отрицательно заряженных смектитовых пластинах;

доказано, что в устойчивых эмульсиях «нефть–вода» оба сополимера быстро переводят систему в режим мостиковой флокуляции и при содержании 0,25 % 8ФМК скорость просветления составляет $t_{50} \approx 15$ ч, а для 8ФАК $t_{50} \approx 16$ –17 ч, что связано с большим содержанием карбоксильной группы с повышенной адсорбционной/координационной способностью на межфазной плёнке в системе 8ФМК.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

Разработаны методические основы создания флокулянтов для селективной флокуляции минеральных дисперсии;

разработана технологическая схема производства флокулянтов на основе сополимеров акриламида с непердельными кислотами.

Достоверность результатов исследования подтверждена результатами современных физико-химических (электронно-микроскопический, термический, ИК-спектральный) и коллоидно-химических (вискозиметрический, титрометрический) анализов и испытание технологии получения флокулянтов на основе сополимеров акриламида для очистки сточных вод проводились на базе СП АО «Elektrokimyozavodi» и подтверждены актами испытаний.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования обосновывается разработкой методологии процессов синтеза новых флокулянтов – сополимеров акриламида и акриловой кислоты, а также акриламида и малеиновой кислоты, установлением оптимальных концентрации флокулянтов для повышенной флокуляции минеральных дисперсий и нефтесодержащих эмульсий, которые послужат базой для целенаправленного проведения процесса создания флокулянтов для различных целей.

Практическая значимость результатов исследований служит для разработки технологии получения новых флокулянтов для очистки питьевых и сточных вод и их применения в различных условиях для селективной флокуляции, и в учебном процессе подготовки магистров и бакалавров в образовательных учреждениях в сфере химии, химической и экологической технологии.

Внедрение результатов исследования. На основании научных результатов по получению флокулянтов для очистки воды на основе сополимеров акриламида:

технология производства флокулянтов для очистки сточных вод от органических и неорганических веществ включена «в перечень перспективных разработок для реализации в 2026–2030 годах» на практике СП АО «Elektrokimyozavodi». (Справка СП АО «Elektrokimyozavodi» № 95 от 25 август 2025 г.). В результате представляется возможность полной замены импортных аналогов флокулянтов при снижении себестоимости до 1,75 USD за 1 кг сухого

продукта.

флокулянты на основе сополимеров акриламида с акриловой и малеиновой кислотами для очистки сточных вод включены «в перечень перспективных разработок для реализации в 2026-2030 годах» на практике СП АО «Elektrokimyozavodi». (Справка СП АО «Elektrokimyozavodi» № 95 от 25 август 2025 г.). В результате представляется возможность обеспечить соответствие требованиям технической воды за счёт снижения остаточных показателей по сравнению с коммерческим ПАА: взвешенные вещества на 20–30 %, мутность на 25–35 %, ХПК на 20–35 %, БПК₅ на 25–30 %, общий органический углерод на 20–30 %.

Апробация результатов исследования. Основные результаты данного исследования обсуждались на 4 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликование результатов исследования. По теме и материалам диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 7 научных статей, 3 в республиканских и 4 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объём диссертации составляет 128 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, охарактеризованы объекты и предмет исследования, отражено соответствие приоритетным направлениям науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены сведения о внедрении результатов, опубликованных работах, апробации и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Полимерные флокулянты и их использование для очистки воды от органических и неорганических устойчивых загрязнителей**» освещены полимерные флокулянты для очистки воды, проанализированы механизмы флокуляции и роль полимерных мостиков при флокуляционных процессах, приведены исследования про разработку полиакриламидов для флокуляционной очистки воды. Проведённый анализ послужил основой для формулирования цели и постановки задач настоящего диссертационного исследования.

Во второй главе «**Методические основы синтеза флокулянтов на основе акриламида и исследование их характеристик**» освещены объекты исследования.

В качестве объектов исследования использованы высокочистые мономеры и реагенты для синтеза анионных флокулянтов — сополимеров акриламида с акриловой (8ФАК) и малеиновой (8ФМК) кислотами. Малеиновая кислота ($\geq 99\%$) водорастворимая двухосновная кислота ($pK_{a1} \approx 1,9$; $pK_{a2} \approx 6,2$), формирующая

плотную карбоксильную функциональность и склонная к комплексообразованию с ионами металлов; акриловая кислота (≥ 99 %) полностью смешивается с водой, имеет $pK_a \approx 4,25$ и поставляется с ингибитором (МЕНQ) во избежание самополимеризации; акриламид (≥ 99 %) водорастворимый кристаллический мономер, применялся с соблюдением токсикологических требований. Инициирование осуществляли персульфатом аммония, растворы готовили непосредственно перед использованием; ионную силу, pH и степень нейтрализации регулировали KCl, KOH и HCl. Осаждение и промывку полимеров проводили ацетоном, реакционной средой служила бидистиллированная вода; вспомогательные реагенты лабораторной/аналитической чистоты применялись по мере необходимости при соблюдении стандартов чистоты и воспроизводимости.

Полимеризацию вели в воде при кислых значениях pH, формируемых самими сомономерами (без щелочей и нейтрализующих добавок), что снижает электростатическое отталкивание растущих макрорадикалов и способствует формированию длинных цепей. Синтез серий AA–AK и AA–MK проводили в боросиликатном реакторе с мешалкой, обратным холодильником и термостатированием: в 100 мл воды растворяли кислотный сомономер и акриламид при молярных соотношениях кислота:AA = 1:4–1:8 (для AA–MK: 0,01462–0,025 моль МК и 0,100–0,117 моль AA; для AA–AK — аналогично по стехиометрии). Реакционную смесь дегазировали азотом и герметизировали; инициирование осуществляли персульфатом аммония, свежеприготовленным, в количестве 0,01–0,10 % от массы мономеров. Полимеризацию вели при 50 °C в течение 6 ч при умеренном перемешивании; по завершении получали однородный вязкий раствор с $pH \approx 2,1–2,2$.

Выделение полимера осуществляли осаждением порционным добавлением ацетона до полной коагуляции, центрифугированием и промывкой ацетоном для удаления остаточных мономеров и низкомолекулярных примесей; сушку проводили при 40 °C под вакуумом до постоянной массы. В указанных условиях для обеих систем воспроизводимо достигались высокие выходы ($\approx 94,1–99$ %) при сохранении карбоксильных групп в –COOH-форме и формировании высокомолекулярных, водорастворимых продуктов, пригодных для реализации мостикового механизма флокуляции.

В качестве дисперсных субстратов использовали бентонит Навбахорского месторождения, товарный карбонат кальция ($CaCO_3$) и реальные сточные воды Ферганского НПЗ; твёрдые материалы предварительно фракционировали ситовым методом до < 1 мм, определяли влажность и все дозировки вели в пересчёте на сухое вещество. Bentonит готовили как 5%-ную водную суспензию с 1 мас.% кокамида ДЭА: высокоскоростное внесение порошка (вихрь), затем 45–60 мин диспергирования при 300–400 об/мин и «созревание» 12 ч при 20–25 °C с последующим кратким перемешиванием перед испытаниями. Карбонат кальция готовили как 10%-ную суспензию с 1 мас.% кокамида ДЭА: предварительное увлажнение порошка, перемешивание 20–30 мин (400–500 об/мин), при необходимости ультразвук до 5 мин; дегазация 15–20 мин и

использование в день приготовления. Сточные воды отбирали усреднённой пробой, хранили при 4 ± 2 °С и использовали в течение 24–48 ч после предварительного просева через 1 мм и измерения рН, мутности, цветности, ХПК/ДОК; ПАВ в реальные воды не добавляли. Во всех сериях фиксировали 20–25 °С, бидистиллированную воду, одинаковые времена перемешивания/выдержки и контролировали базовую стабильность суспензий (30–60 мин) перед началом флокуляционных опытов.

В третьей главе диссертации «Синтез флокулянтов и исследование их флокулирующих характеристик» освещены результаты исследований процессов синтеза сополимеров.

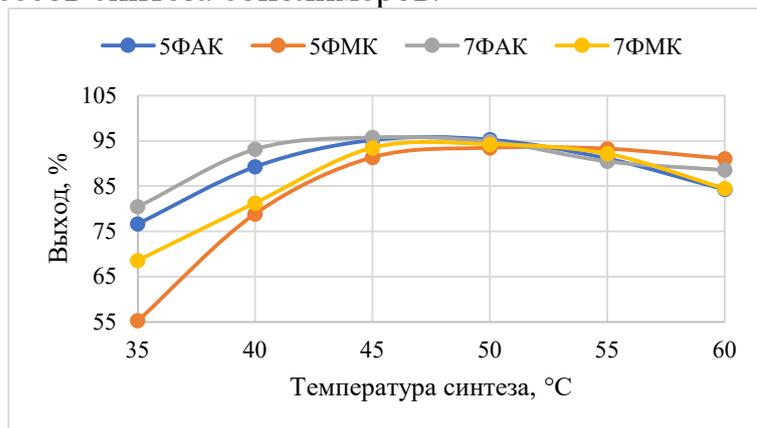


Рис. 1. Зависимость выхода реакции сополимеризации от температуры.

Во всех сериях отмечен узкий температурный максимум выхода 45–50 °С: для АА–АК 95–96 %; ниже 45 °С падение на 6–18 п.п., выше 50–55 °С перегрев с снижением до 84–91 % при 60 °С. Для АА–МК на 35–40 °С выход существенно ниже, но при 50–55 °С выравнивается (≈ 93 –95 %); при 60 °С 5ФМК удерживает ≈ 91 %, тогда как 7ФМК падает до ≈ 84 %. Увеличение доли АА (до 7:1) повышает конверсию в АА–АК во всём диапазоне; для АА–МК состав 7:1 предпочтителен при 35–50 °С, тогда как при 55–60 °С устойчивее 5:1 из-за различной термочувствительности и роста обрыва цепей.

Данные табл. 1 подтверждают выраженный максимум конверсии обеих систем при ~ 50 °С и рост выхода с увеличением доли АА (от 4:1 к 8:1): для ФАК при 8:1 достигается 94–97 % на 40–50 °С, тогда как при 60 °С наблюдается спад из-за ускоренного распада инициатора и обрыва цепей. Увеличение доли АА снижает долю протонированных карбоксильных центров, ослабляет межмолекулярные ассоциации и диффузионные ограничения, тем самым ускоряя рост цепей.

Таблица 1.

Выход процесса сополимеризации в зависимости от температуры и соотношения мономеров

Образец	Температура, °С	Соотношение мономеров, АА/Кислота		
		4/1	6/1	8/1
ФАК	40	76,1	88,6	94,3
	50	78,2	89,2	96,5
	60	74,3	86,8	91,2
ФМК	40	66,2	78,2	83,3
	50	71,3	79,6	95,1
	60	74,6	77,3	88,2

Для ФМК при 40 °С выходы ниже из-за сильных Н-связей и двукратной кислотности МК; при 50 °С конверсия резко возрастает (до ~95 % при 8:1) и снова падает к 60 °С. Оптимальными являются умеренные температуры порядка 50 °С и АА-обогащённые составы (8:1); режимы ~40 °С и ≥55–60 °С нежелательны.

Исходя из совокупности данных по выходу и вязкостным показателям, для дальнейших исследований отобраны оптимальные составы: 8ФАК, синтезированный при 50 °С, и 8ФМК, синтезированный при 55 °С. Полученные данные приводятся ниже.

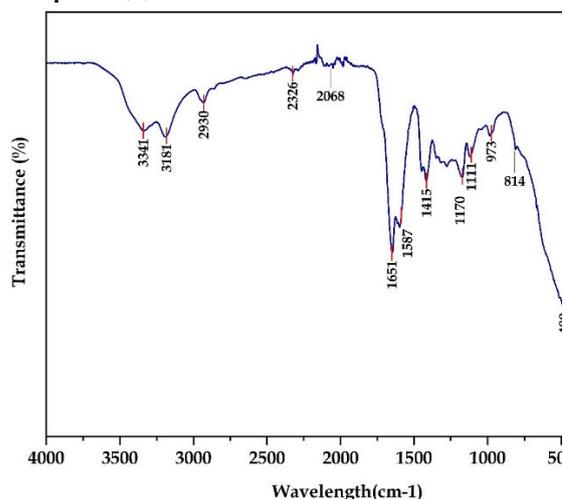


Рис. 2. ИК-спектр 8ФАК.

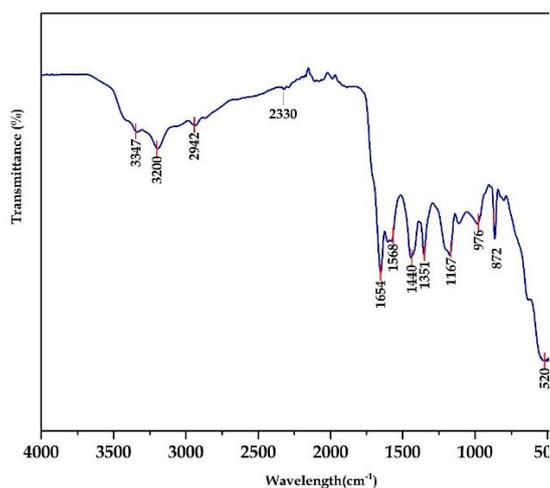


Рис. 3. ИК-спектр 8ФМК.

ИК-спектр 8ФАК (АА–АК, 8:1) характеризуется амидными полосами: амид I 1651 см^{-1} , амид II $\sim 1587\text{ см}^{-1}$, амид III/ $\nu(\text{COO}^-)$ $\sim 1415\text{ см}^{-1}$; в зоне $1170\text{--}1110\text{ см}^{-1}$ наблюдаются $\nu(\text{C-O})/\nu(\text{C-N})$, присутствуют скелетные колебания $973/814\text{ см}^{-1}$; полос мономерного $\text{C}=\text{C}$ нет. Отсутствие выраженного карбонила свободной кислоты ($1710\text{--}1730\text{ см}^{-1}$) объясняется низкой долей АК и сильной Н-связанностью/частичной диссоциацией, что согласуется со структурой $p(\text{AA-co-AK})$ и сохранением COOH -функциональности.

По сравнению с 8ФАК, 8ФМК демонстрирует более сильную карбоксильную подсистему и Н-связи: раздвоенный максимум N-H/O-H ($\approx 3347/3200\text{ см}^{-1}$), смещение амид II к 1568 см^{-1} , интенсивные полосы 1440 и 1351 см^{-1} и меньший $\Delta\nu(\text{COO}^-)$, а также единичный максимум $\nu(\text{C-O}) \sim 1167\text{ см}^{-1}$ и сдвиг внеплоскостных колебаний к 872 см^{-1} . Во всех случаях отсутствуют полосы $\text{C}=\text{C}$, что подтверждает полную конверсию; для 8ФМК спектральные признаки отражают соседние ди-карбоксильные группы малеинатного звена и более «связанную» локальную среду макроцепей.

В качестве модельных неорганических субстратов выбраны бентонит (монтмориллонитсодержащая глина Навбахорского месторождения) и карбонат кальция (мел, преимущественно кальцит).

По данным РФА основная фаза CaCO_3 — кальцит (R-3c): фиксируются характерные рефлексы при $2\theta \approx 31,3\text{--}31,5^\circ$, $39,4\text{--}39,5^\circ$ (плоскость (113)) и $71,6\text{--}71,8^\circ$, согласующиеся с эталоном. Низкий фон и отсутствие посторонних пиков указывают на высокую кристалличность и незначительное содержание

примесей; образец репрезентативен для последующих флокуляционных испытаний.

РФА бентонита показывает низкоугловые рефлексы при $2\theta \approx 5,3-6,5^\circ$ ($d001 \approx 16,6-13,6 \text{ \AA}$), характерные для частично гидратированного смектита; отмечены также пики иллита ($\approx 8,84^\circ$, $d \approx 10 \text{ \AA}$) и каолинита ($\approx 12,1-12,5^\circ$, $d \approx 7,3-7,1 \text{ \AA}$). В высоких углах выражены линии кварца ($\approx 26,66^\circ$) и кальцита ($\approx 29,48^\circ$), указывающие на природные примеси. Положение $d001$ ($\approx 14-16 \text{ \AA}$) свидетельствует о преобладании Са-смектита и значимой межслоевой гидратации (вероятность мостиков Ca^{2+} с анионными полимерами), а сопутствующие иллит/каолинит добавляют краевые кислотные центры, влияющие на адсорбцию и рабочий pH флокуляции.

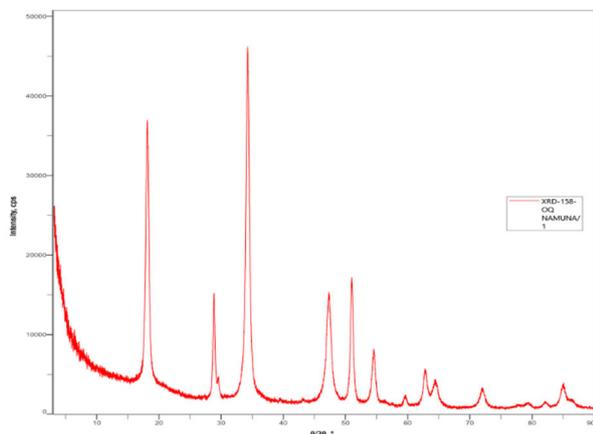


Рис. 4. Рентгенограмма используемого карбоната кальция.

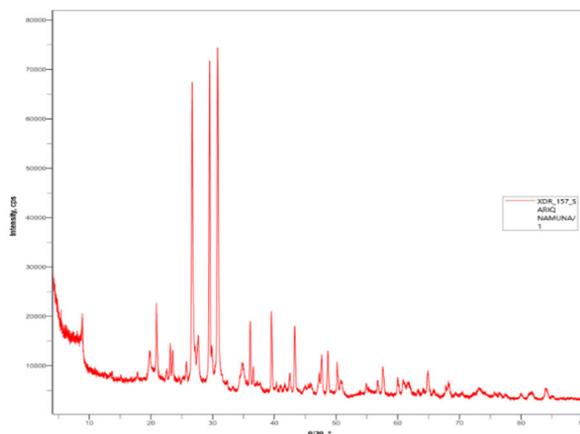


Рис. 5. Рентгенограмма используемого бентонита.

Сопоставление бентонита и мела в единой кинетической постановке позволяет разделить влияние поверхностного заряда и дисперсности: у бентонита из-за тонкой фракции и отрицательного базального заряда замедлено начальное осветление, тогда как для мела лимитирует прочность межчастичных контактов (сдвигостойкость крупных флоков). На первом этапе изучали самопроизвольное осветление в статике без флокулянтов; зависимости объема осветлённого слоя от времени представлены на рис. 6.

Без флокулянта CaCO_3 оседает быстро: объем осветлённого слоя растёт с ~ 3 до 76 мл за 60 мин, 90 мл достигается к ~ 100 мин, плато ~ 95 мл к ~ 500 мин; кинетика двухстадийная с начальной скоростью до $\sim 1,5$ мл/мин (10–40 мин), $t_{50} \approx 30-35$ мин, что отражает гравитационную седиментацию плотных частиц. Bentonite, напротив, седиментирует медленно: ~ 8 мл к 60 мин, 33–38 мл к 200–300 мин, плато ~ 39 мл к 500–1000 мин; t_{50} относительно собственного плато $\approx 120-140$ мин, что связано с тонкой фракцией, набуханием и отрицательным базальным зарядом смектита. Следовательно, мелу нужны прочные флокки при умеренных дозах, а бентониту — более высокие дозы и удлиненное медленное перемешивание. Для исключения фоновой агрегации модельные суспензии стабилизировали 1 мас.% кокамида ДЭА: при 24-часовом отстое осветлённый надслой не формировался; все сравнительные испытания проводили на таких стабилизированных системах.

Кривые «ОВ–доза» имеют ступенчатый характер, что подтверждает

мостиковую флокуляцию и последующую рестабилизацию при передозировке. Для CaCO_3 наилучший эффект даёт 8ФМК: максимум осветления $\approx 88\%$ при $0,125\%$, после чего эффективность монотонно падает; 8ФАК достигает $\approx 75\%$ при $0,25\%$. Для бентонита предпочтителен 8ФАК: $82\text{--}88\%$ при $0,25\text{--}0,5\%$; 8ФМК ограничивается $70\text{--}75\%$ при $0,125\text{--}0,25\%$ и резко рестабилизирует систему при больших дозах. Практически: для карбонатных суспензий низкодозовый режим 8ФМК, для смектитовых умеренные дозы 8ФАК с удлинённой стадией медленного перемешивания; во всех случаях избегать передозировки. Базовые испытания подтвердили самопроизвольное осветление мела и устойчивость бентонита; для сопоставимости модельные суспензии стабилизировали $1\text{ мас.}\%$ кокамидом ДЭА.

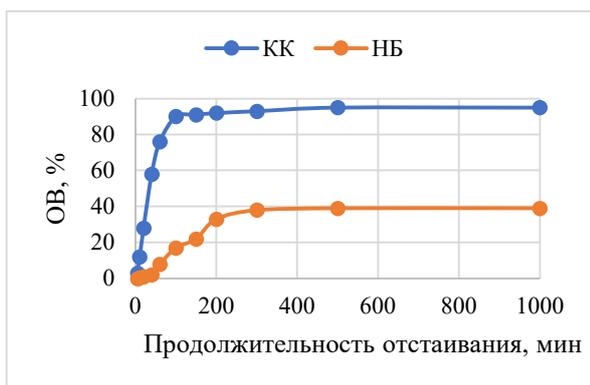


Рис. 6. Кинетика образования осветленного слоя в суспензиях КК (10%) и НБ (5%).

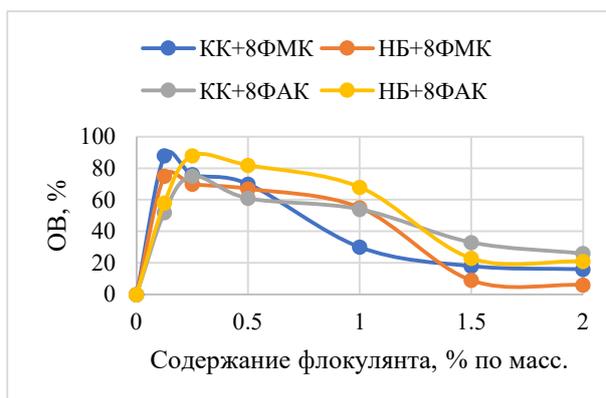


Рис. 7. Кинетика флокуляции при различных содержаниях флокулянтов.

Следующим этапом исследований было изучение действия сополимеров АА–АК и АА–МК в смешанных дисперсиях (бентонит, CaCO_3) при наличии модельных органических загрязнителей. Оценивали рабочие дозы и порядок ввода реагентов, влияние рН и ионной силы, а также конкуренцию полимеров с органическими молекулами за адсорбционные центры. В качестве модельной системы использовали эмульсии «тяжёлая нефть–вода» $40:60$, стабилизированные $1\text{ мас.}\%$ стеарата натрия; кинетику демульсации и устойчивость регистрировали по изменению оптической плотности (UV-Vis).



Рис. 8. Изменение оптической плотности системы при хранении (25°C).

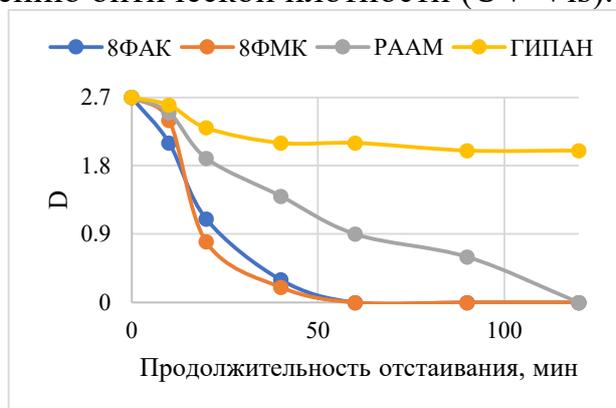


Рис. 9. Изменение оптической плотности под воздействием флокулянтов в количестве $0,25\%$ от массы системы (25°C).

По кривой $D(t)$ эмульсия нефть-в-воде со стеаратом натрия демонстрирует устойчивость с медленным распадом. Оптическая плотность падает с $\sim 2,7$ до $\sim 1,9$ за сутки, то есть снижение составляет около 30 %. В первые часы изменения незначительны, а небольшое увеличение к 2-й часовой точке (2,8) укладывается в погрешность отбора или в начальную перестройку дисперсной структуры. С 5–10-й часов начинается заметное убывание D , после 15 часов темп снижается. Такая кинетика характерна для стабильной эмульсии, где длительное время доминируют процессы медленного укрупнения капель, а не быстрая коалесценция.

Сопоставление кривых показывает (рис. 9), что оба синтезированных сополимера резко ускоряют разрушение эмульсий. При добавлении 8ФМК оптическая плотность падает с 2,7 до 0,8 уже к 20-й часовой точке и до 0,2 к 40 ч; полное просветление фиксируется к 60 ч. Для 8ФАК динамика близка, но несколько медленнее: к 20-й часовой отметке оптическая плотность снижается с 2,7 до 1,1, к 40 часам до 0,3, а нулевого значения достигает к 60 часам.

Товарный полиакриламид (РААМ) действует слабее: при тех же условиях оптическая плотность снижается лишь до 1,4 за 40 ч и достигает нуля только к 120 ч. Это согласуется с нейтральной природой РААМ: без карбоксильных центров он хуже конкурирует со стеаратом натрия за межфазную плёнку и формирует менее эффективные межкапельные мостики. В противоположность этому гидролизированный полиакрилонитрил (ГИПАН) проявляет отчётливый стабилизирующий эффект: D практически не уменьшается и остаётся около 2,0–2,1 вплоть до 120 ч. Полимерная цепь с высокой плотностью COO^- увеличивает вязкость водной фазы и создаёт электростерическую защиту капель, тем самым препятствуя коалесценции и всплыванию.

Для оценки влияния минеральной составляющей на эмульсию «нефть–вода» были приготовлены образцы с добавлением карбоната кальция (КК) и навбахорского бентонита (НБ) по 0,1 мас.% каждый, имитирующие взвешенные минеральные примеси, характерные для сточных вод.

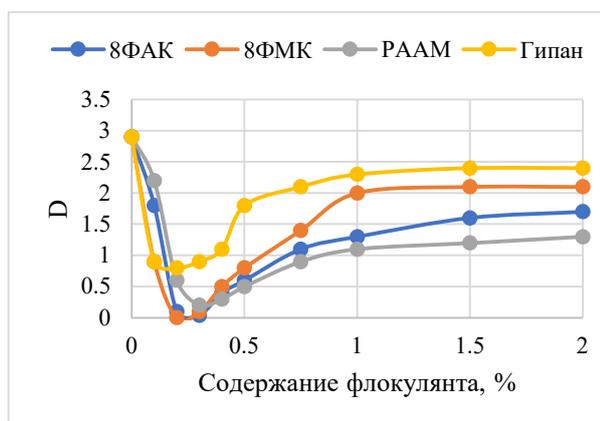


Рис. 10. Изменение оптической плотности системы нефть+вода+бентонит (0,05%) под воздействием различных концентраций флокулянтов (25°C).

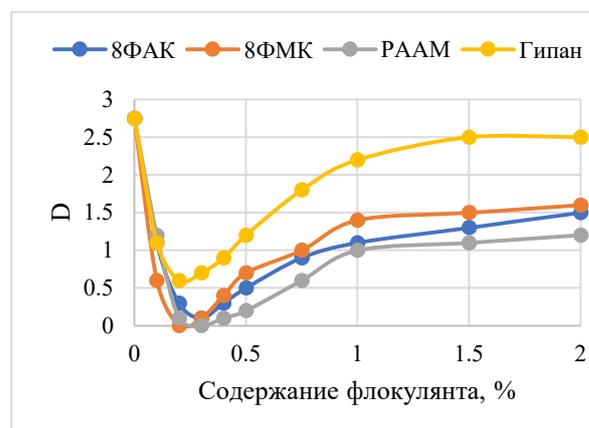


Рис. 11. Изменение оптической плотности системы нефть+вода+КК (0,05%) под воздействием различных концентраций флокулянтов (25°C).

При 0,05 % бентонита исходная $D_0 \approx 2,9$ одинакова, но отклик различается: анионные сополимеры имеют узкий оптимум 0,20–0,30 %. Для 8ФМК при 0,20 % достигается полное просветление ($D=0$), затем при 0,4–1,0 % наступает рестабилизация ($D \approx 0,5–2,0+$); 8ФАК даёт минимум $D \approx 0,10–0,04$ при 0,20–0,30 %, а при 0,5–1,0 % D растёт до $\approx 0,6–1,3$. Полиакриламид существенно слабее (минимум $D \approx 0,2–0,3$ при 0,3–0,4 %, далее до 1,1–1,3), ГИПАН — стабилизатор ($D \approx 0,8–0,9$ при 0,1–0,3 %, затем до 2,3–2,4). Механистически бентонитовые пластинки с отрицательным зарядом поддерживают мостиковую флокуляцию при малых дозах (у 8ФМК усиливается за счёт кальций-координации близких COOH -групп), а передозировка приводит к электростерической рестабилизации; практически оптимальны дозы 0,20–0,30 %, 8ФМК быстрее демульсирует, 8ФАК устойчивее к вариациям дозы.

В кальцитовой матрице демульсация облегчается для всех флокулянтов, особенно для 8ФМК и РААМ: 8ФМК даёт полное просветление при 0,20 % в обеих системах, но на CaCO_3 рестабилизация мягче ($D \approx 1,4–1,6$ при 1–2 %) против >2 на бентоните, что связано с кальций-координационными мостиками. Для 8ФАК минимумы с CaCO_3 несколько выше, чем с бентонитом ($\approx 0,3–0,1$ при 0,20–0,30 % против 0,10–0,04), при этом рестабилизация в карбонатной системе менее резкая. Товарный РААМ на CaCO_3 эффективнее: при 0,30 % достигается $D=0$, тогда как на бентоните минимум лишь $\approx 0,2–0,3$. ГИПАН в обеих матрицах стабилизирует при повышенных дозах, хотя на малых концентрациях на CaCO_3 первичное снижение больше ($D \approx 0,6–0,7$ против 0,8–0,9). В целом CaCO_3 расширяет рабочее окно доз и сглаживает передозировку; смектит остаётся более чувствительным к избытку полимера.

В четвертой главе «**Разработка технологии получения флокулянтов на основе акриламида и непредельных кислот**» освещены результаты исследований по созданию полупромышленной технологии получения флокулянтов 8ФАК и 8ФМК.

Создание полупромышленной технологии синтеза 8ФАК и 8ФМК — ключевой этап перехода от лаборатории к применению: решается задача масштабирования радикальной сополимеризации АА с АК/МК при сохранении оптимальных режимов, обеспечивающих требуемые молекулярные параметры и высокую флокулирующую активность. Отработанная технология подтверждает воспроизводимость на укрупнённом уровне и выявляет узлы и режимы, критичные для промышленного внедрения; разработанная технологическая схема с использованием АА, АК и МК приведена на рис. 12.

Деионизированная вода из бака (1) через фильтр (2) и насос (3) подаётся в реактор полимеризации (4). Акриламид из бункера (5) через дозатор (6) растворяют в смесителе (7) водой из бака (8); раствор после фильтра (9) и насоса (10) подают в (4). Акриловую кислоту из термостатируемой ёмкости (11) после дегазации через угольный фильтр (12) перекачивают насосом (13) в приёмник (14), далее через фильтр (15) и насос (16) дозируют в (4). Малеиновую кислоту из силоса (17) через дозатор (18) растворяют в узле (19) водой из (8) и после фильтра (20) и насоса (21) подают в (4). Раствор щёлочи готовят в аппарате (22)

и насосом (23) вносят в (4) по рН. Инерттирование — азотом от узла (24), предварительная дегазация — вакуумным насосом (25), температурный режим обеспечивает станция (26). Иницирующие растворы готовят в смесителях (27) и (28) и подают дозаторами (29) и (30) в (4). После полимеризации гель выгружают по лотку (31) на крошитель (32), сушат в шкафу (33) или на ленточной сушилке (34), затем помол (35), классификация (36), смешение с антислеживателем (37) и фасовка дозатором (38); пробы оформляют через шкаф (39). Нестандартная фракция возвращается элеватором (40). Стоки нейтрализуют в баке (41) и очищают на угольной колонне (42); мойка оборудования — через СИП-станцию (43) с возвратом дренажей в (41). Складирование сырья и готового продукта организовано отдельно; газовая обвязка и вентиляция оснащены предохранительной арматурой, управление узлами с панели.

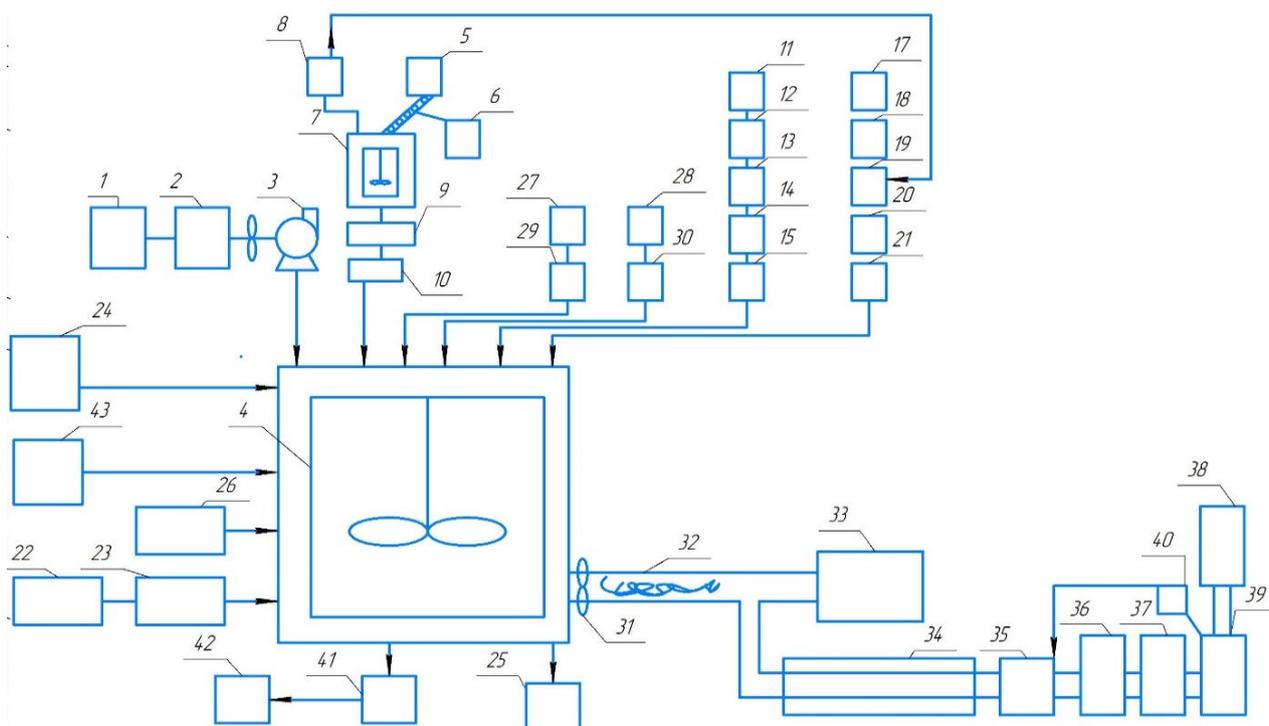


Рис. 12. Технологическая схема производства флокулянтов на основе сополимеров акриламида с неопределёнными кислотами: 1) бак деионизированной воды; 2) фильтр тонкой очистки; 3) насос подачи воды; 4) реактор полимеризации с рубашкой и мешалкой; 5) бункер акриламида; 6) дозатор акриламида; 7) смеситель-растворитель АА; 8) бак воды; 9) фильтр 5 мкм; 10) насос-дозатор АА; 11) ёмкость акриловой кислоты; 12) угольный фильтр; 13) насос-дозатор АК; 14) приёмник АК; 15) фильтр АК; 16) насос-дозатор АК; 17) силос малеиновой кислоты; 18) дозатор МК; 19) растворный узел МК; 20) фильтр МК; 21) насос-дозатор МК; 22) аппарат приготовления щёлочи; 23) насос-дозатор щёлочи; 24) узел подачи азота; 25) вакуумный насос; 26) станция термостатирования; 27) смеситель раствора ПСА; 28) смеситель раствора БСН; 29) дозатор ПСА; 30) дозатор БСН; 31) лоток выгрузки геля; 32) крошитель геля; 33) сушильный шкаф; 34) ленточная сушилка; 35) мельница; 36) классификатор; 37) смеситель готового продукта; 38) фасовочный дозатор; 39) шкаф пробоподготовки; 40) элеватор рециркуляции; 41) бак нейтрализации стоков; 42) угольная колонна; 43) СИП-станция.

Материальный баланс на 1 партию. Сополимеризация АА/АК = 8/1 (по молям), доли мономеров по массе как в типовой партии: АА 88,752 %, АК 11,248 %. Для 10,0 кг сухого полимера требуется акриламид 8,88 кг и акриловая кислота 1,12 кг. Частичная нейтрализация 35 %: техническая щёлочь NaOH 0,22 кг в пересчёте на 100 % вещества (или $\approx 0,44$ кг 50 %-ного раствора). Инициатор персульфат аммония 0,15–0,30 % от массы мономеров 15–30 г; при редокс-варианте дополнительно метабисульфит натрия 10–15 г. Вода для набора 22 % сухих веществ $45,45 \text{ кг} - 10,0 \text{ кг} = 35,45 \text{ кг}$ с учётом воды из растворов. На финише при влажности 8 % масса готового продукта 10,87 кг; испаряемая вода при сушке $\approx 34,6 \text{ кг}$.

Таблица 2.
Материальный баланс на 1 партию 8ФАК (10,0 кг сухого вещества; 22 % СВ)

Компонент	Назначение	Норма/доля	Количество	Ед.	Примечание
АА	мономер	88,752 % от сухих веществ	8,88	кг	
АК	мономер	11,248 % от сухих веществ	1,12	кг	
NaOH (100 %)	частичная нейтрализация 35 %		0,22	кг	экв. 0,44 кг раствора NaOH 50 %
ПСА (персульфат аммония)	инициатор	0,15–0,30 % от массы мономеров	15–30	г	для термической инициации
БСН (метабисульфит натрия)	восстановитель (редокс)	0,10–0,15 % от массы мономеров	10–15	г	только для редокс-схемы
Вода	реакционная среда	для 22 % СВ	35,45	кг	с учётом воды из растворов

Нагрев реакционной массы от 25 до 55 °С: $\approx 1,52 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ на теплоносителе ($45,5 \text{ кг} \times 4 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К}) \times 30 \text{ К}$), часть потребности компенсируется экзотермией, но в расчёте учтена для консервативной оценки. Перемешивание: 0,55 кВт в течение 1 ч до гелеобразования и 0,2 кВт ещё 4 ч на малых оборотах, суммарно $\approx 1,35 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Вакуум-дегазация 15 мин насосом 0,5 кВт $\approx 0,125 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$; работа малых насосов дозирования и перекачки $\approx 0,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Сушка удаляемой воды 34,6 кг: скрытая теплота испарения $\sim 2,30 \text{ МДж}/\text{кг}$ и подогрев воды до 60 °С ($\sim 146 \text{ кДж}/\text{кг}$) дают $79,5 \text{ МДж} + 5,06 \text{ МДж} = 84,6 \text{ МДж}$, что эквивалентно $\approx 23,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ полезного тепла. Суммарные энергозатраты на партию, учитывая тепло на реактор, перемешивание, вакуум, насосы и сушку, составляют порядка 26,7 кВт·ч. Для электрического шкафа-сушилki это близко к потреблённой электроэнергии; для газовой/паровоздушной сушки эквивалент переводится в топливо по КПД.

Таблица 3.

Энергетические затраты на 1 партию 8ФАК (реактор 50 л; 22 % СВ; нагрев 55 °С; испаряемая вода 34,6 кг)

Стадия / узел	Параметры	Расчёт	Энергия, кВт·ч	Энергия, МДж
Нагрев реакционной массы	$m=45,5$ кг; $c=4$ кДж/(кг·К); $\Delta T=30$ К	$45,5 \times 4 \times 30 = 5460$ кДж	1,52	5,47
Перемешивание	$0,55$ кВт·1 ч + $0,2$ кВт·4 ч	$0,55 + 0,8 = 1,35$ кВт·ч	1,35	4,86
Вакуум-дегазация	$0,5$ кВт; $0,25$ ч	$0,5 \times 0,25$	0,125	0,45
Насосы дозирования/перекачки	малые нагрузки	Оценка	0,2	0,72
Сушка (испарение воды)	$m=34,6$ кг; $\lambda \approx 2,30$ МДж/кг; нагрев до 60 °С $\approx 0,146$ МДж/кг	$34,6 \times (2,30 + 0,146) = 84,6$ МДж	23,5	84,6
Итого			26,7	96,1

Временные затраты по стадиям. Подготовка сырья, заряд и дегазация 0,8–1,2 ч. Инертирование и выход на режим 0,5–0,8 ч. Полимеризация до полной конверсии 3–5 ч с постотверждением 2–3 ч. Охлаждение и выгрузка геля 0,5–1,0 ч. Сушка до остаточной влажности ≤ 8 –10 % 3–4 ч для лотковой загрузки 10–15 мм; на ленточной сушилке непрерывного действия 2–4 ч эквивалентного времени пребывания. Помол и классификация 0,7–1,0 ч, смешение с антислеживателем и фасовка 0,3–0,5 ч. Полный цикл «сырьё → фасовка» при последовательном выполнении стадий составляет ориентировочно 10–12 часов в лабораторно-полупромышленном масштабе с реактором 50 л; при параллелизации (подготовка следующей партии во время сушки) календарное время на одну партию сокращается.

Таблица 4.

Поэлементная калькуляция (на партию 10 кг СВ)

Статья	Норма	Кол-во	Цена, USD/ед.	Сумма, USD
Акриламид (АА, 98 %)	88,8 % от СВ	8,88 кг	1,20 \$/кг	10,66
Акриловая кислота (АК)	11,2 % от СВ	1,12 кг	1,041 \$/кг	1,17
NaOH (100 % экв.)	35 % нейтр.	0,22 кг	0,60 \$/кг	0,13
ПСА (инициатор)	0,15 % от мономеров	0,015 кг	0,62 \$/кг	0,01
Антислеживатель (SiO ₂)	0,2 % от продукта	0,020 кг	0,50 \$/кг	0,01
Вода деион.	до 22 % СВ	35,45 кг	0,0005 \$/кг	0,02
Электроэнергия	26,7 кВт·ч	26,7 кВт·ч	0,071 \$/кВт·ч	1,9
Логистика мономеров (КНР-Ташкент, ж/д, 20' контейнер)	$\sim 0,326$ \$/кг груза	10,0 кг	0,326 \$/кг	3,26
Упаковка (мешок 20 кг)	1 шт	1	0,30 \$/шт	0,3
Итого, прямые затраты				17,45

По результатам расчёта для партии 8ФАК (реактор 50 л, 22 % сухих веществ) минимальная прямая себестоимость при импорте мономеров составила 17,45 USD на партию, что соответствует 1,75 USD на 1 кг сухого продукта. Наибольший вклад формируют мономеры (АА + АК) около 68 %; логистика порядка 19 %; электроэнергия около 11 %; прочие статьи суммарно менее 3 %.

Себестоимость высоко чувствительна к цене АА и ставкам перевозки: рост цены АА на 10 % увеличивает себестоимость примерно на 6 %, увеличение фрахта на 20 % добавляет около 4 %. Существенное снижение затрат возможно за счёт повышения доли сухих веществ в реакционной массе, оптимизации режима сушки и перехода на более энергоэффективное сушильное оборудование, а также за счёт консолидации объёмов закупок и выбора оптимальных логистических маршрутов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получены и охарактеризованы водорастворимые анионные флокулянты на основе сополимеров АА с акриловой и малеиновой кислотами. Установлены технологические режимы синтеза, обеспечивающие высокомолекулярные продукты без гелеобразования в объёме: для 8ФАК допустимы термическая инициация при 50–60 °С либо редокс при 25–35 °С с преднейтрализацией 30–40 %; для 8ФМК предпочтителен редокс при 25–35 °С с минимальной преднейтрализацией.

2. Проведены структурные исследования синтезированных флокулянтов и подтверждена воспроизводимость целевых параметров качества: характеристическая вязкость на уровне 12–16 дл/г (0,5 М NaCl, 25 °С), остаточные мономеры $\leq 0,05$ %, порошок с влажностью ≤ 8 –10 % и полной растворимостью 0,1 % раствора в воде за ≤ 60 мин.

3. Комплексная верификация структуры (ИК-Фурье, СНNS/O, ТГА/ДСК, СЭМ) доказало, что сополимеры АА–АК и АА–МК представляют собой водорастворимые линейные амидно-карбоксильные цепи без остаточного мономера; для 8ФМК выявлена более сильная водородная связность и сдвиг начала химической деструкции к ~ 285 °С (против ~ 240 °С у 8ФАК) при более выраженной усадочной морфологии, что связано с соседними карбоксильными группами малеинатного звена и обосновывает выбор щадящих режимов термообработки ≤ 120 –140 °С и ожидаемые различия в кинетике мостиковой флокуляции.

4. Установлено, что в устойчивых эмульсиях нефть–вода со стеаратом натрия оба сополимера переводят систему к мостиковой флокуляции: при 0,25 % 8ФМК даёт более быстрое просветление ($t_{50} \approx 15$ ч; D: от 2,7 до 0,8 к 20 ч и до 0,2 к 40 ч), 8ФАК достигает сопоставимой конечной прозрачности при $t_{50} \approx 16$ –17 ч; в бентонитовых дисперсиях эффективнее 8ФАК (0,20–0,30 %; быстрая рестабиллизация при передозировке), в кальцитовых — 8ФМК (0,125–0,20 %; рестабиллизация мягче), что требует подбора флокулянта и дозы с учётом минералогии и механизма межфазного взаимодействия.

5. Разработана и описана полупромышленная технология получения 8ФАК и 8ФМК с полным аппаратурным оформлением (материалы узлов, инертирование, вакуум-дегазация, термостатирование, финишная обработка), эффективность подтверждена показателями партии в реакторе 50 л: выпуск 10,0 кг сухого полимера при 22 % СВ за 10–12 ч, масса реакционной смеси 45,45 кг, испаряемая при сушке вода $\approx 34,6$ кг, суммарные энергозатраты 26–27 кВт·ч на партию; спецификация продукта обеспечивается сушкой при 50–60 °С, помолом 100–300 мкм; прямая себестоимость 17,45 USD на партию (1,75 USD/кг) со структурой затрат: мономеры 67,8 %, логистика 18,7 %, электроэнергия 10,9 %, прочие 2,6 %.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES
DSc.02.30.12.2019.K/T.35.01 AT INSTITUTE OF GENERAL AND
INORGANIC CHEMISTRY**

INSTITUTE OF GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY

JUMAEVA GULNISO

**DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR PRODUCING
FLOCCULANTS BASED ON ACRYLAMIDE COPOLYMERS FOR THE
PURIFICATION OF WATER FROM ORGANIC AND INORGANIC
CONTAMINANTS**

02.00.11 – Colloid and membrane chemistry

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

Tashkent – 2025

The subject of the Doctor of Philosophy (PhD) dissertation has been registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science, and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2025.1.PhD/T5223

Dissertation work completed at the Institute of general and inorganic chemistry.

Abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) posted on the web site of «ZiyoNet» to the address www.ziyo.net/uz.

Academic Supervisor:	Eshmetov Izzat doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	Maxkamov Ravshan doctor of chemical sciences, senior researcher Abduraximov Akmal doctor of philosophy in technical sciences, associate professor
Leading organization:	Fergana state technical university

The defense will take place «18» December 2025 at 14⁰⁰ o'clock at the meeting of on-time scientific Council No DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 at General and Inorganic Chemistry Institute (Address: 100170, Tashkent city, Mirzo Ulug'bek district, Mirzo Ulug'bek street, 77-a. Tel.: (+99 871) 262-56-60, fax: (+99 871) 262-79-90, e-mail: ionxanruz@mail.ru).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the General and Inorganic Chemistry, (is registered under № 23). Address: 100170, Tashkent city, Mirzo Ulug'bek street, 77-a. Tel./fax: (+99871) 262-56-60, (+99871) 262-79-90).

Abstract of dissertation sent out on «4» December 2025 y.
(mailing report №23 from «4» December 2025 y.)



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

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

O.Yu. Ismoilov
Deputy chair of the scientific seminar at the Scientific Council
for the award of an academic degree,
Doctor of Technical Sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

The aim of the research work: is to develop a technology for producing flocculants based on acrylamide copolymers for the purification of water from organic and inorganic contaminants.

The object of the research work: water-soluble anionic flocculants — copolymers of acrylamide with acrylic acid (4FAK–8FAK) and with maleic acid (4FMK–8FMK), synthesized at a molar ratio of monomers AA/acid of approximately 4:1–8:1.

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

It has been established that the optimal conditions for copolymer synthesis are 45–50 °C at an AA/AK ratio of 7–8/1 for 7FAK–8FAK, and 50–55 °C at an AA/MK ratio of 7–8/1 for 7FMK–8FMK, which is attributed to the balance between the polymerization rate and initiator decomposition, ensuring high yield and high viscosity parameters;

It has been demonstrated that the AA–AK and AA–MK copolymers are water-soluble linear statistical chains with an amide–carboxyl functional group, free of residual monomer, and differing in thermal stability (for 8FMK, the onset of chemical degradation is shifted ~40–50 °C higher), which is explained by the adjacent arrangement of two carboxyl groups in the maleinate unit;

It has been found that for calcium carbonate, 8FMK provides up to 88% clarification at a concentration of 0.125–0.20%, whereas 8FAK reaches 75% at ≈0.25% (in a bentonite system, 8FAK and 8FMK yield 82–88% and 70–75% at ≥0.25%, respectively), which is attributed to calcium-coordination “bridges” formed by the carboxyl groups of 8FMK on the CaCO₃ surface and to the requirement for long polymer bridges on negatively charged smectite plates;

It has been shown that in stable «oil–water» emulsions, both copolymers rapidly shift the system to a bridging-flocculation regime, and at a dosage of 0.25%, the clarification half-time is $t_{50} \approx 15$ h for 8FMK and $t_{50} \approx 16–17$ h for 8FAK, which is associated with the higher content of carboxyl groups in 8FMK that exhibit enhanced adsorption and coordination ability at the interfacial film.

Implementation of research results. Based on the scientific outcomes obtained in the synthesis of acrylamide copolymer-based flocculants for water treatment:

the technology of producing flocculants for the purification of wastewater from organic and inorganic impurities has been included in the “Prospective List of Developments for Practical Implementation in 2025–2026” at JSC “Elektrokimyo zavod” (reference № 95 dated 25.08.2025). As a result, the synthesized products enable complete substitution of imported flocculant analogues under local production conditions;

the flocculants based on acrylamide copolymers with acrylic and maleic acids for wastewater treatment have been included in the “Prospective List of Developments for Practical Implementation in 2025–2026” at JSC “Elektrokimyo zavod” (reference № 95 dated 25.08.2025). As a result, by reducing the residual indicators relative to commercial PAAGA—suspended solids by 20–30%, turbidity by 25–35%, COD by

20–35%, BOD₅ by 25–30%, and total organic carbon by 20–30%—the synthesized flocculants ensure compliance with technical water quality requirements.

The structure and scope of the thesis. The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a bibliography and an appendix. The volume of the thesis is 128 pages.

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

I bo'lim (I част; part I)

1. Jumaeva G.Y., Mamataliev N.N., Abdikamalova A.B., Kuldasheva Sh.A., Eshmetov I.D. Optimization of production and improvement of characteristics of water-coal fuel suspensions based on high-ash coals // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 59. 5. 2024. 1145-1156p. (Impact factor: 1.7)

2. Бухаров Ш.Б., Джумаева Г.Ю., Пайгамова М.И., Абдикамалова А.Б., Эшметов И.Д. Анализ предполагаемых механизмов адсорбции флотореагентов на поверхности сильвинитовых минералов // Qo'qon Davlat pedagogika instituti Ilmiy xabarlar №4. 19-23 b. (ОАК Rayosatining 2021- yil 31-martdagi qarori bilan ОАК ilmiy nashrlar ro'yxatiga kimyo, biologiya, filologiya, tarix fan tarmoqlari bo'yicha milliy nashrlar sifatida kiritilgan).

3. Абдикамалова А.Б., Бухаров Ш.Б., Кулдашева Ш.А., Эшметов И.Д. Жумаева Г.Ю. Синтез и исследование собирателей на базе местного сырья для флотационного обогащения минеральных руд/Узбекистон кимё журнали ,2023, махсус сони 107-115 с

4. Najimova N.B., Sharipova A.I., Seytnazarova O.M., Abdikamalova A.B., Jumayeva.G.Y. Polymers and their effectiveness in mineral separation and wastewater treatment:challenges and solutions/Science and Education in Karakalpakstan. 2024 №4/1 70-75 ps(02.00.00. №16).

5. Жумаева Г.Ю., Уринбоева М.Х., Абдикамалова А.Б., Эшметов И.Д. Влияние структуры и концентрации неионогенных пав на пенообразование и стабилизацию эмульсий 9(122) сайте <https://7universum.com/ru/tech> 27 мая 2024 года. (02.00.00. №2).

6. Жумаева Г.Ю., Абдикамалова А.Б., Эшметов И.Д., Маматалиева С.С., Калбаев.А.М. Анионные сополимеры акриламида для флокуляционной очистки воды:синтез,структура и эффективность 9(138) сайте <http://7universum.com/ru/tech> Сентябрь 2025 года. (02.00.00., № 1).

7. Jumayeva G.Y., Abdikamalova A.B., Eshmetov I.D., Mamatalieva S.S., Kalbaev A.M. Structural and functional features of anionic acrylamide copolymers in the flocculation of model mineral and oil-containing systems. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 12, Issue 8 , August 2025, 23711-23720 (05.00.00., № 8).

II bo'lim (II част; part II)

8. Abdikamalova A.B., Jumayeva G.Y., Kuldasheva SH.A., Eshmetov.I.D, Bukharov SH.B., Stady of collectors based on local raw materials of Uzbekistan for flotation beneficiation of mineral ores // Proceeding X International Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE – 2023, Volume I Shymkent, Kazakhstan November 18, 2023 (4-10p).

9. Жумаева Г. Ю., Холмуродов Ш.А., Бухаров Ш.Б. Жидкий парафин из вторичного сырья для флотационного обогащения природного сильвинита //

«Kimyo va kimyoviy texnologiya yo'nalishidagi dolzarb muammolar» TOSHKENT 2021. С. 225-226.

10. Жумаева Г.Ю., Бухаров Ш.Б., Абдикамалова А.Б., Эшметов И.Д. Анализ предполагаемых механизмов адсорбции флотореагентов на поверхности сильвинитовых минералов //Нодир ва ноёб металллар кимёси ва технологияси, бугунги ҳолати, муаммолари ва истиқболлари. Термиз. 2023. 227-228 бет.

11. Жумаева Г.Ю., Ниязова Д.Б., Эшметов И.Д., Бухаров Ш.Б. Сильвинит рудасини бойитиш учун флотацион реагентларни олиш шароитларини тадқиқ қилиш. «Mahalliy lashtirishda innovatsion yondashuvlar» Халқаро конференция материаллари. Қарши - 2023. 268-272 бет.

12. Жумаева Г.Ю., Эшметов И.Д., Халилов М.Н., Бухаров Ш.Б. Ноионоген СФМлар ёрдамида сильвинит рудаларини флотацион шламсизлантириш // Роллоидная химия и промышленная экология. Материалы Международной научно-технической конференции. Ташкент - 2023. 344-346 бет.

13. Жумаева Г.Ю., Нажимова Н.Б., Шарипова А.И., Сейтназарова О.М., Абдикамалова А.Б. Привитые полимеры для селективной флокуляции минералов // Материалы I-Международной научно-технической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика К.С. Ахмедова. Ташкент - 2024. 465-468 бет.

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

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturası.
Raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i: 2.75. Adadi 100 dona. Buyurtma № 28/25.

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko‘chasi, 83-uy.

