**NAMANGAN DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/2025.27.12.K/T.15.08 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

NAMANGAN DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ABDUQODIROV ELYORJON ABDULBORI O‘G‘LI

SUVLI MUHITNI TOZALASH UCHUN AKRILAMID VA METAKRIL KISLOTA SOPOLIMERI ASOSIDA FLOKULYANTLARNI SINTEZ QILISH VA O‘RGANISH

02.00.11 - Kolloid va membrana kimyosi

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

Namangan - 2026

UO‘K: 661.183.123

Falsafa doktori (PhD) Dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of the dissertation abstract of doctor of Philosophy (PhD)

Abduqodirov Elyorjon Abdulbori o‘g‘li
Suvli muhitni tozalash uchun akrilamid va metakril kislota sopolimeri asosida flokulyantlarni sintez qilish va o‘rganish 3

Абдукодиров Элёржон Абдулбори угли
Синтез и исследование флокулянтов на основе сополимера акриламида и метакриловой кислоты для очистки водных сред..... 21

Abduqodirov Elyorjon
Synthesis and study of flocculants based on a copolymer of acrylamide and methacrylic acid for the purification of aqueous media..... 39

E’lon qilingan ishlar ro‘yxati
Список опубликованных работ
List of published works……... 43

**NAMANGAN DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/2025.27.12.K/T.15.08 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

NAMANGAN DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ABDUQODIROV ELYORJON ABDULBORI O‘G‘LI

SUVLI MUHITNI TOZALASH UCHUN AKRILAMID VA METAKRIL KISLOTA SOPOLIMERI ASOSIDA FLOKULYANTLARNI SINTEZ QILISH VA O‘RGANISH

02.00.11 - Kolloid va membrana kimyosi

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

Namangan - 2026

Kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi huzuridagi Oliy Attestasiya Komissiyasida B2025.4.PhD/K1093 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya ishi Namangan davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus va ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasi (www.namdtu.uz) va «ZiyoNet» axborot ta'lim tarmog'iga (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	**Mallaboyev Odiljon Toxirjanovich** kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent
Rasmiy opponentlar:	**Eshmetov Izzat Do'simbatovich** texnika fanlari doktori, professor
	Baxronov Hayot Nurovich kimyo fanlari doktori, professor
Yetakchi tashkilot:	**Qo'qon davlat universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Namangan davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/2025.27.12.K/T.15.08 raqamli Ilmiy kengashning « 28 » noyabr 2026 yil 11^{00} dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 160115, Namangan shahri, Kosonsoy ko'chasi 7-uy. Tel.: (69) 234-14-85; faks: (69) 228-14-85, e-mail: info@namdtu.uz). Namangan davlat texnika universiteti, 3-bino, 1-qavat, 303 xona ilmiy kengash xonasi).

Dissertatsiya bilan Namangan davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№256 raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil:Namangan shahri, Yangi Namangan tumani, I.Karimov ko'chasi 12-uy, tel: (+998 69) 234-14-30.)

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil « 10 » noyabr kuni tarqatildi.
(2026 yil «10» noyabrdagi № 24- raqamli reestr bayonnomasi).

O.K. Ergashev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, k.f.d., professor

M.F. Meliboyev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash kotibi, t.f.d., dotsent

D.Sh. Sherquziyev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, t.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) Dissertatsiyasi annotasiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda sanoatning o‘sishi, sintetik materiallarning keng qo‘llanilishi va chiqindilar bilan noto‘g‘ri muomala qilinishi natijasida tabiiy hamda oqova suvlarning ifloslanishi tobora kuchayib bormoqda. Polimer flokulyantlar ko‘plab jarayonlarda suv tarkibidagi organik va noorganik kelib chiqishga ega erigan hamda kolloid zarrachalarni samarali ravishda ajratib olishda qo‘llaniladi. Shu munosabat bilan yuqori haroratlarda va elektrolit tuzlari mavjud bo‘lgan sharoitlarda samarali ishlaydigan akrilamid va metakril kislota asosidagi polimer flokulyantlarni sintez qilish yo‘nalishidagi tadqiqotlar dolzarb ahamiyat kasb etmoqda.

Jahonda issiqlik elektr stansiyalarining oqova suvlarini tozalash uchun flokulyantlar yaratish va ularni qo‘llashga qaratilgan ilmiy hamda amaliy tadqiqotlar olib borilmoqda. Shu bois, samarali flokulyantlar olish uchun sintezning optimal sharoitlarini aniqlash, monomerlar va ularning nisbatini tanlash, ularning haqiqiy oqova suvlarni tozalashdagi samaradorligini baholash hamda ularni ishlab chiqarish va qo‘llashning sanoat texnologiyasini yaratishga qaratilgan tadqiqotlar alohida ahamiyatga ega.

Respublikamizda bugungi kunda flokulyantlarni o‘z ichiga olgan import o‘rnini bosuvchi yangi turdagi sopolimerlar ishlab chiqarish hamda ularning kimyoviy, fizik-mexanik xususiyatlarini sinovdan o‘tkazish bo‘yicha ilmiy va amaliy natijalarga erishilmoqda. O‘zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirishga qaratilgan “Yangi O‘zbekiston” taraqqiyot strategiyasining uchinchi yo‘nalishidagi “Kimyo sanoatini rivojlantirish, suv resurslaridan samarali foydalanish, ekologik muammolarni bartaraf etish”[1] vazifalari belgilangan. Shu bois, zamonaviy yuqori samarali flokulyantlarni ishlab chiqish, shuningdek, ularning funksional xususiyatlari, ularni olish shartlari va tarkibi o‘rtasida o‘zaro bog‘liqlikni o‘rnatishga qaratilgan tadqiqotlar muhim ahamiyatga ega.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 3-apreldagi PQ-4265-son «Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi, 2020-yil 12-avgustdagi PQ-4805-son «Kimyo va biologiya yo‘nalishlarida uzluksiz ta’lim sifatini va ilm-fan natijadorligini oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi qarorlari, 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son «2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi, 2023-yil 12-oktabrdagi PF-169-son «Sanoat va uning bazaviy tarmoqlarini jadal rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida»gi, farmonlari hamda mazkur sohaga oid boshqa normativ-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning 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.

[1] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi «2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi PF-60-son farmoni.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Dunyoda tabiiy va oqova suvlarni tozalash uchun flokulyantlarning sintezi, tuzilishi va qo‘llanilishi sohasidagi maqsadli tadqiqotlar bir qator taniqli ilmiy maktablar va tadqiqotchilar, jumladan, Gregory J., Bolto B., Bhattacharya A., Kolya H., Tripathy T., Bajpai J., Vajihinejad V., Lee C.S., Renault F., Derjaguin B.V., Israelachvili J.N., Goncharov F.I., Kulakov V.A., Emelyanova T.P., Selemenev V.F., Gusev A.A., Sapozhnikov Yu.A. va boshqalar tomonidan olib borilmoqda.

O‘zbekistonda K.S. Axmedov rahbarligida flokulyant tadqiqotlariga ixtisoslashgan ilmiy maktab yaratildi. Uning vakillari, jumladan, E.A. Aripov, S.S. Xamrayev, S.N. Aminov, A.A. Agzamxo‘jaev, U.K. Axmedov, S.Z. Muminov, B.N. Xamidov, V.P. Guro, G.R. Narmetova, S.A. Abdurahimov, I.K. Satayev, O.K. Beisenbaev va boshqalar uning rivojlanishiga katta hissa qo‘shdilar. Shu bilan birga, hozirgi kungacha AAM va MAK sopolimerlanish reaksiyasi sharoitlarining mahsulot chiqishi, molekulyar massa hamda sopolimerlar tizimidagi molekulyar-massa taqsimotiga ta’sirini aniqlash bo‘yicha tadqiqot natijalari to‘liq yoritilmagan. Shuningdek, ushbu muhim kolloid-kimyoviy xususiyatlarning sopolimerlarning oqova suvlarni organik va noorganik ifloslantiruvchilardan tozalashdagi flokulyatsion faolligiga qanday ta’sir ko‘rsatishi haqida ma’lumotlar yetarli emas.

Dissertatsiya mavzusining, dissertatsiya bajarilayotgan oliy ta’lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog‘liqligi.

Dissertatsiya tadqiqotlari Namangan davlat texnika universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarsining “Suvli muhitni tozalash uchun akrilamid va metakril kislota sopolimeri asosida flokulyantlarni sintez qilish va o‘rganish” mavzusi hamda “To‘raqo‘rg‘on issiqlik elektr stansiyasi AJ” bilan tuzilgan 06/2024 raqamli xo‘jalik shartnoma doirasida amalga oshirildi

Tadqiqotning maqsadi suvli muhitni tozalash uchun akrilamid va metakril kislotaning sopolimeri asosida flokulyantlarni sintez qilish va olingan flokulyantlarni fizik-kimyoviy va texnologik xossalarini aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

akrilamid va metakril kislota (AAM-MAK) sopolimerlarini turli monomerlar molyar nisbatida sintez qilish va olish, shuningdek polimerlanishning optimal sharoitlarini aniqlash;

sopolimerlarning kislota soni, azot miqdori va o‘rtacha molekulyar massasini, ularning struktur formulasini belgilash hamda zanjirdagi bo‘g‘inlar molyar nisbatini aniqlash;

AAM/MAK nisbatining makromolekulalarning strukturaviy va konformatsion parametrlariga ta’sirini aniqlash;

AAM-MAK sopolimerlarining flokulyatsion faolligini model tizimlarda — kaolin suspenziyasi, neft mahsulotlari emulsiyasi, sirt-faol moddalar (PAV) eritmalarida eksperimental o‘rganish va flokulyantning optimal miqdorini aniqlash;

ion kuchi, elektrolitlarning tabiati va konsentratsiyasining flokulyatsion faollikka ta’sirini aniqlash;

sintez qilingan flokulyantlarning “To‘raqo‘rg‘on IES AJ” haqiqiy oqova suvlarini tozalashdagi samaradorligini aniqlash;

AAM-MAK sopolimerlarining tuzilishi, molekulyar xususiyatlari va flokulyatsion faolligi o‘rtasidagi qonuniyatlarni tadqiq etish.

Tadqiqotning obyekti turli molyar nisbatlarda sintez qilingan akrilamid va metakril kislota (AAM-MAK) sopolimerlari, model mineral tizimlar (kaolin suspenziyasi) va organo-mineral tizimlar (neft mahsulotlari emulsiyalari hamda sirt-faol moddalar eritmalari), shuningdek To‘raqo‘rg‘on issiqlik elektr stansiyasining haqiqiy oqova suvlari va Katta Namangan kanalining qo‘shimcha (podpitka) suvi olingan.

Tadqiqotning predmeti AAM-MAK sopolimerlarining tuzilishi va tarkibi shakllanishining qonuniyatlari, ularning molekulyar xususiyatlari va anionlik darajasining flokulyatsion faollikka ta’siri, mineral va organik dispers tizimlarda flokulyatsiya mexanizmlari, shuningdek turli minerallashuv darajasiga ega tabiiy va oqova suvlardan organik hamda mineral ifloslantiruvchilarni ajratib olish va yoritish jarayonlaridan iborat.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya ishini bajarishda kolloid tizimlarning fizik-kimyoviy (IK-spektrofotometriya, gel-xromatografiya) hamda kolloid-kimyoviy (viskozimetrik, konduktometrik, titrimetrik) xususiyatlarini aniqlashning zamonaviy va an’anaviy usullari keng qo‘llanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

AAM-MAK 1/0,5 sopolimeri 0,25 mg/l dozada qo‘llanganda uning yuqori molekulyar massasi ($M_w \approx 1{,}09 \cdot 10^6$ g/mol) va tor polidispersligi ($M_w/M_n \approx 1{,}9$) tufayli loyqalikni 3,5 dan 1,2 NTU gacha, XPK ni 45 dan 30 mg O_2/l gacha, umumiy organik uglerodni (UOU) 10,8 dan 8,0 mg C/l gacha kamaytirishi aniqlangan;

flokulyatsiya uchun ion kuchining optimal oralig‘i 0,001-0,01 M ekani aniqlangan, maksimal samaraga (tindirish tezligi 2,65 sm/min gacha, suspenziya zarrachalarini olib tashlash darajasi 93%), esa $CaCl_2$ ning 0,005 M konsentratsiyasida erishilgan;

AAM-MAK 1/0,5 sopolimeri 0,25 mg/l optimal dozada qo‘llanganda tindirish kinetikasi 15-20 minut ichida statsionar holatga yetishi isbotlangan, monomerlar nisbati 1/0,3 va 1/0,7 bo‘lgan sopolimerlarda qoldiq loyqalik mos ravishda 1,55 va 1,75 NTU ni tashkil etib, bu farq polimer zanjiridagi zaryad zichligi va zanjir moslashuvchanligi o‘rtasidagi muvozanat bilan bog‘liqligi isbotlangan;

sirt-faol moddalar (PAV) mavjudligi flokulyant sarfini 0,25-0,30 mg/l gacha oshirishi, “neft + PAV” tizimida esa Amin uchun bu ko‘rsatkich PAV siz 0,21-0,25 mg/l dan 0,28-0,31 mg/l gacha ortishi aniqlangan;

kanalning qo‘shimcha (podpitka) suvini AAM-MAK 1/0,5 bilan flokulyatsion tozalash loyqalikni 13,4 dan 1,9 NTU gacha (-85,8%), muallaq moddalarni 23 dan 2,1 mg/l gacha (-90,9%) kamaytirishi, shuningdek elektr o‘tkazuvchanlikni 550 dan 480 mksm/sm gacha (-12,7%) va Ca^{2+} ionlarini 48 dan 41 mg/l gacha (-14,6%) pasaytirishi isbotlangan.

Tadqiqotning amaliy natijasi quyidagilardan iborat:

AAM-MAK sopolimerlarini maqsadga yo‘naltirilgan sintez qilishning metodik asoslari ishlab chiqilgan va ular asosida flokulyantlar sintez qilishning optimal me’yorlari va sharoitlari aniqlangan;

sintez qilingan flokulyantlardan oqova va tabiiy suvlarni tozalashda foydalanish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan hamda iqtisodiy samaradorligi aniqlangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Ilmiy tadqiqotlar zamonaviy fizik-kimyoviy va kolloid-kimyoviy usullar asosida olib borildi, akrilamid va metakril kislota sopolimerlarining flokulyatsion faolligini aniqlash bo‘yicha tajribalar esa laboratoriya hamda “To‘raqo‘rg‘on IES AJ”da ishlab chiqarish sharoitlarida o‘tkazilib, sinov dalolatnomalari bilan tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati akrilamid va metakril kislota sopolimerlari asosida flokulyantlarni laboratoriya sharoitida sintez qilish jarayonlari metodologiyasining ishlab chiqilgani, shuningdek tabiiy va oqova suvlarni flokulyatsion tozalash jarayonlarini o‘tkazishning optimal sharoitlari aniqlangani bilan asoslanadi. Bu natijalar turli maqsadlar uchun sopolimerlar yaratish jarayonini maqsadli tashkil etishda ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati esa turli muhitlarni, jumladan issiqlik elektr stansiyalarining oqova suvlarini tozalash uchun akrilamid va metakril kislota sopolimerlari asosidagi flokulyantlarni olish va qo‘llash texnologiyasining ishlab chiqilgani, shuningdek kimyo, kimyoviy va ekologik texnologiya yo‘nalishlarida oliy ta’lim muassasalarida magistr va bakalavrlar tayyorlash jarayonida foydalanish imkoniyati bilan belgilanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Akrilamid va metakril kislotasi sopolimerlari asosida flokulyantlar olish bo‘yicha ilmiy natijalar asosida:

akrilamid va metakril kislota asosidagi flokulyantlardan oqova va tabiiy suvlarni tozalashda foydalanish texnologiyasi “To‘raqo‘rg‘on IES AJ” ning 2026-2027-yillarda amaliyotga joriy etish bo‘yicha “istiqbolli ishlanmalar ro‘yxati”ga kiritilgan (“Issiqlik elektr stansiyalari” AJning 2025-yil 3-iyundagi №38 ma’lumotnomasi). Natijada AAM-MAK=1/0,5 flokulyanti 0,20-0,25 mg/l sarfda qo‘llanganda suv loyqaligini 65,7% gacha, XPK ni 33% gacha va umumiy organik uglerod miqdorini 26% gacha kamaytirish imkonini beradi;

oqova suvlarini flokulyatsion tozalash texnologiyasi ham “To‘raqo‘rg‘on IES AJ”ning 2026-2027-yillarda amaliyotga joriy etish uchun “istiqbolli ishlanmalar ro‘yxati”ga kiritilgan (“Issiqlik elektr stansiyalari” AJning 2025-yil 3-iyundagi №38 ma’lumotnomasi). Natijada ikki bosqichli aralashtirish sharoitida (300 ayl/min - 2 daqiqa, 30 ayl/min - 10 daqiqa), 15-20 daqiqa davomida, pH 7,5-8,0 va ion kuchi 0,01-0,03 M bo‘lganda suvning barqaror loyqaligi ta’minlanib, ifloslantiruvchi moddalar samarali tozalashga erishiladi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 6 ta, jumladan 3 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma’ruza qilingan va muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 14 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 4 ta maqola respublika, 2 ta maqola xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, 4 ta asosiy bo‘lim, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 113 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida ilmiy-tadqiqot ishining dolzarbligi va ahamiyati asoslangan, maqsad va vazifalar, tadqiqot ob’ekti va predmeti aniqlangan, O‘zbekiston Respublikasining fan va texnika rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan, natijalarning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilishi haqidagi ma’lumotlar keltirilgan hamda ilmiy ishlar va dissertatsiya tuzilishi haqida ma’lumot berilgan.

Dissertatsiyaning birinchi bobida “Flokulyatsion jarayonlar va polimer flokulyantlar” mavzusi doirasida flokulyatsion jarayonlar, ularning asosiy mexanizmlari va turli sohalardagi qo‘llanilishi tahlil qilingan, shuningdek zamonaviy polimer flokulyantlar, jumladan akrilamidning to‘yinmagan kislotalar bilan sopolimerlari - ularning tarkib-tuzilma-xossa bog‘liqligi o‘rganilgan.

Ikkinchi bob “Akrilamid va metakril kislota asosidagi flokulyantlarning sintezi va strukturaviy-funksional xususiyatlari” deb nomlanib, flokulyatsion jarayonlar uchun sopolimerlar sintezi bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqot natijalari keltirilgan.

Suvda eruvchan akrilamid (AA) va metakril kislota (MAK) sopolimerlarini sintez qilishda kimyoviy toza reagentlar ishlatilgan. Asosiy monomer sifatida AA (>99,5 %) qo‘llanilib, u gidrofil matritsa hosil bo‘lishini ta’minlaydi. Sopolimerlashuvchi komponent sifatida MAK (>99 %) ishlatilib, u karboksil guruhlarini kiritadi va zaryad zichligini tartibga soladi. Initsiator sifatida ammoniy persulfat (>98 %) ning 10% eritmasi qo‘llanilib, u monomerlar massasiga nisbatan 0,1-0,6 % miqdorda ishlatilgan. Erituvchi sifatida deionizatsiyalangan suv (≤1 mkS/sm) qo‘llangan. Degazatsiya va polimerizatsiya jarayoni azot atmosferasida (99,99 %) olib borilgan.

Sopolimerlarni ajratib olish va yuvish uchun izopropil spirti yoki atseton (>99 %) 0-5 °C haroratda ishlatilgan; izopropanol esa (1-3 hajm%) suvga qo‘shilib, molekulyar massani tartibga soluvchi vosita sifatida qo‘llangan.

Tahlil uchun xususiyatlarni aniqlashda NaOH (>98 %) neytrallash uchun, 0,1 M KOH (etanolda) kislota sonini aniqlash uchun, $NaNO_3$ yoki NaCl (1 M) eritmalari esa viskozimetrik o‘lchovlar uchun ishlatilgan. Barcha reagentlar qo‘shimcha tozalashsiz qo‘llanilgan.

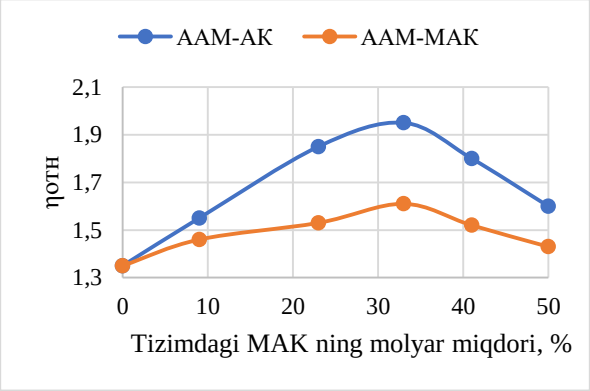
Sopolimerlar suvli muhitda, gidrolizsiz radikal polimerlanish usuli bilan sintez qilingan. Jarayon aralashtirgich, azot uzatish uchun gaz taqsimlagich va eritmalarni kiritish portlariga ega termostatlangan shisha reaktorda olib borilgan. Sintezdan oldin tizim deionizatsiyalangan suv bilan yuvilib, kislorodni yo‘qotish uchun azot bilan purkalgan.

Akrilamid va MAK polimerlanishi 500 sm^3 hajmli uch bo‘g‘inli kolbada, 100 sm^3 suv va 5 g monomer aralashmasi ishtirokida amalga oshirilgan. AAM:MAK molyar nisbatlari 1:0,1; 1:0,3; 1:0,5; 1:0,7 va 1:1 bo‘lgan. Monomerlar eritilgach, eritma 20 daqiqa davomida azot bilan degazatsiya qilingan, so‘ngra azot muhitida

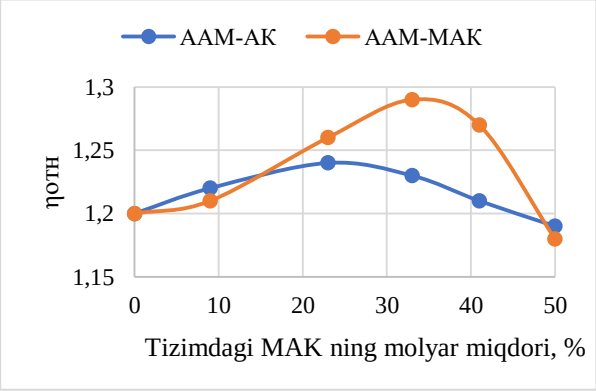
initsiatsiya qiluvchi redoks tizimi (ammoniy persulfat va natriy metabisulfit, 1:1-1,5 nisbatda) kiritilgan.

Polimerlanish 25-30 °C haroratda, taxminan 300 ayl/min tezlikda 60-120 daqiqa davomida olib borilgan. Reaksiya tugashi viskozlikning barqarorlashuvi va issiqlik ajralishining to‘xtashi bilan aniqlangan. Sovutilgandan so‘ng sopolimer eritmasi sovutilgan izopropil spirti yoki atsetonning o‘n barobar hajmiga quyilgan, cho‘kma 20-30 daqiqa ushlab turilib, filtrlangan va ikki marta sovuq cho‘ktiruvchi bilan yuvilgan. Quritish vakuum ostida 35-40 °C da doimiy massa hosil bo‘lguncha amalga oshirilgan; zarurat bo‘lsa mahsulot suvda qayta eritilib, liofil quritish orqali tozalangan.

Sintezdan so‘ng akrilamid va MAK sopolimerlarining suvli eritmalarining viskozik xususiyatlari o‘rganilgan. 1-rasm ma’lumotlari akrilamidning akril kislota (AAM-AK) va metakril kislota (AAM-MAK) bilan sopolimerlari suvli eritmalarining nisbiy viskozligi kislotali monomerning molyar ulushiga bog‘liq ravishda o‘zgarishini ko‘rsatadi.



1-rasm. Sintezlangan sopolimerlarning 0,1% eritmalarining qovushqoqlik xususiyatlarining monomerlar nisbatiga qarab o'zgarishi (50°C va 2 soatlik sintezda).



2-rasm. Sintez qilingan sopolimerlarning C = 0,1 g/l bo‘lgan eritmalari (0,50 M $NaNO_3$ muhitida) qovushqoqlik xususiyatlarining monomerlar nisbatiga bog‘liq holda o‘zgarishi (50 °C va 2 soat sintez sharoitida).

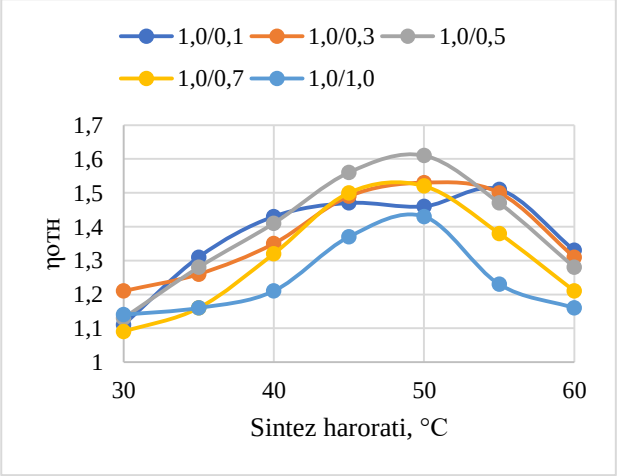
Ikkala sopolimer qatori ham ionlanadigan guruhlarga ega polimerlarga xos bo‘lgan, maksimumga ega qovushqoqlik bog‘liqligini namoyon qiladi. AAM-AK tizimida nisbiy qovushqoqlik 1,35 (0 % kislota) dan 33 mol.% AK da 1,95 gacha oshadi, so‘ngra 50 % da 1,6 gacha kamayadi. Qovushqoqlikning ortishi zaryad zichligining oshishi va elektrostatik itarilish hisobiga zanjirlarning cho‘zilishi hamda ularning gidrodinamik hajmining kattalashishi bilan bog‘liq. Kislota ulushi yanada ortganda ion kuchi oshadi, zaryadlar qisman ekranlanadi va zanjirlar bukilib, qovushqoqlik kamayadi.

AAM-MAK tizimida ham shunga o‘xshash tendensiya kuzatiladi, biroq qovushqoqlik qiymatlari pastroq. Maksimum 33 mol.% MAK da 1,61 ni tashkil etadi va u yanada sustroq ifodalangan hamda pastroq qiymatlarga siljigan. Bu MAK tarkibidagi α-holatdagi metil guruhi hisobiga zanjirlarning qattiqligi ortishi va karboksil guruhlarining nisbatan kam ionlanishi bilan izohlanadi. Metakrilat

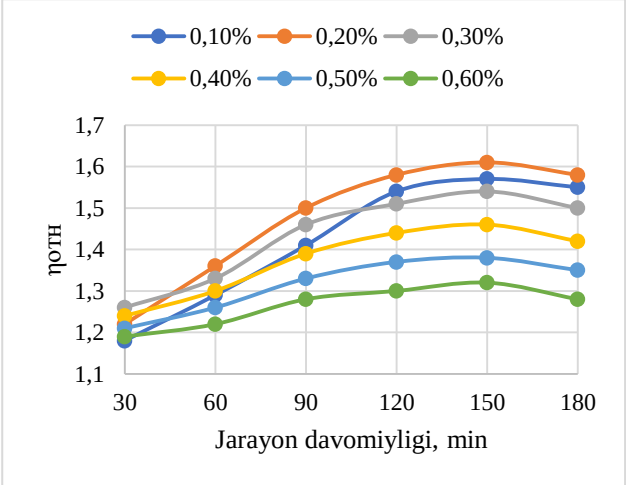
bo‘g‘inlari gidrofoblikni oshirib, zanjirlarning qisman bukilishiga va gidrodinamik hajmning kamayishiga olib keladi.

Ion kuchi (0,50 M $NaNO_3$ fonida) ta’siri o‘rganilganda eritmalarning qovushqoqligi sezilarli kamayishi zaryadlarning ekranlanishi bilan bog‘liq ekanligi aniqlandi. AAM-AK tizimida 0-50 mol.% kislota oralig‘ida η_nisbiy 23 % da 1,20 dan 1,24 gacha o‘zgarib, so‘ng 1,19 gacha kamayadi. AAM-MAK uchun esa yanada barqaror “platoga o‘xshash maksimum” kuzatiladi: 0 % da 1,20 dan 23 % da 1,26 va 33 % da 1,29 gacha oshib, 50 % da 1,18 gacha pasayadi. 23-41 mol.% oralig‘ida AAM-MAK qovushqoqligi AAM-AK ga nisbatan 0,02-0,08 ga yuqori bo‘lib, uning tuzli muhitda barqarorligi yaxshiroq ekanini ko‘rsatadi.

Tanlangan tarkiblar (0-50 mol.% kislota) poliakrilamiddan yuqori anionli sopolimerlargacha bo‘lgan diapazonni qamrab oladi. Tuzli muhitda AAM-AK tizimidagi maksimum tekislanadi, AAM-MAK tizimida esa saqlanib qolib 30-35 % ga siljiydi. Metil guruhi zanjirga qo‘shimcha qattiqlik va qisman gidrofoblik berib, elektrostatik va gidrofob o‘zaro ta’sirlar hisobiga bukilishni kamaytiradi. Natijada AAM-MAK sopolimerlari yuqori minerallashuv sharoitida qovushqoqligini barqarorroq saqlaydi va yuqori tuz yuklamali tizimlarda qo‘llash uchun afzal hisoblanadi.



3-rasm. 0,1 g/l sopolimer eritmalarining qovushqoqligining sopolimerlanish haroratiga qarab o'zgarishi (sintez davomiyligi 2 soat).



4-rasm. AAM-MAK sopolimerlari eritmalarining nisbiy qovushqoqligining (1,0/0,5; 50 °C) sintez davomiyligi va inisiator konsentratsiyasiga bog'liqligi.

AAM-MAK sopolimerlarining qovushqoqligiga sintez haroratining ta’siri o‘rganilgan (3-rasm). Reaksiya davomiyligi (2 soat) va konsentratsiya (0,1 g/l) doimiy bo‘lgan barcha seriyalarda ekstremal bog‘liqlik kuzatiladi.

30-45 °C oralig‘ida qovushqoqlik polimerlanish darajasining ortishi va zanjirlarning uzayishi hisobiga oshadi. Past haroratlarda (≤35 °C) reaksiya tezligi kichik bo‘lib, qisqa zanjirlar hosil bo‘ladi (η_nisbiy = 1,2-1,3). Maksimum qiymat (η_nisbiy = 1,47-1,61) 45-50 °C da kuzatiladi, undan so‘ng T > 50 °C bo‘lganda initsiator parchalanishi va zanjir uzilishlari boshlanib, qovushqoqlik kamayadi.

Eng yuqori η_nisbiy qiymatlar AAM/MAK = 1,0/0,5 (taxminan 33 mol.%) nisbatda kuzatiladi, bu gidrofil va gidrofob bo‘g‘inlar o‘rtasidagi optimal muvozanat tufayli makromolekulalarning cho‘zilgan konformatsiyasini ta’minlaydi. Kislota

miqdori 0,7-1,0 gacha oshirilganda esa qovushqoqlik kamayadi, chunki zanjirlararo assotsiatsiya kuchayib, zanjirlar bukiladi. Sintezning optimal harorati 45-50 °C bo‘lib, bu eng yuqori molekulyar massaga va qulay strukturaga ega sopolimerlar hosil bo‘lishini ta’minlaydi.

Keyingi tajribalar (4-rasm) qovushqoqlik reaksiya davomiyligi va initsiator konsentratsiyasiga ham bog‘liqligini ko‘rsatdi. 90 daqiqagacha qovushqoqlik ortib boradi, 120-150 daqiqada maksimumga erishadi, undan so‘ng zanjir uzilishi va termodestruksiya hisobiga kamayadi. Initsiator past konsentratsiyada (0,1-0,2 %) uzun zanjirlar va yuqori qovushqoqlik hosil qiladi, 0,3-0,6 % gacha oshirilganda esa zanjir uzilish chastotasi ortib, molekulyar massa kamayadi.

Sintezning optimal sharoitlari: AAM/MAK = 1,0/0,5, T = 50 °C, initsiator 0,2 % va reaksiya vaqti 150 daqiqa. Ushbu parametrlar ostida maksimal η_nisbiy = 1,61 ga erishiladi, bu esa yuqori molekulyar massaga ega, qulay konformatsiyali va yuqori flokulyatsion faollikka ega sopolimerlar hosil bo‘lishini bildiradi.

1-jadval.

Initsiator konsentratsiyasi va reaksiya davomiyligiga bog‘liq ravishda polimer chiqishi (%)

T*, min	Initsiator sarfi, %					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
30	35	42	55	60	62	70
60	48	58	70	76	78	82
90	60	69	80	85	86	88
120	71	79	88	92	92	90
150	78	88	91	94	93	91
180	82	90	93	95	94	92

**-sintez davomiyligi, min*

1-jadvalda radikal sopolimerlanish uchun kutiladigan qonuniyatni ko‘rsatadi: polimer chiqimi ham reaksiya davomiyligi oshishi bilan, ham initsiator sarfining ortishi bilan ortib boradi. 30-90 daqiqa oralig‘ida initsiatorning yuqori dozalari sezilarli darajada katta chiqim beradi, chunki tizimda ko‘proq faol markazlar hosil bo‘ladi va monomer tezroq polimerga aylanadi. 150-180 daqiqaga kelib barcha seriyalar yuqori konversiya darajasiga yaqinlashadi, eng yuqori chiqim qiymatlari esa 0,3-0,6 % initsiator miqdorida (93-95 % gacha) kuzatiladi. Molekulyar-massa taqsimoti gel-penetratsion xromatografiya (GPC) usuli yordamida Agilent 1260 Infinity qurilmasida differensial refraksion detektor bilan aniqlangan.

2-jadval.

Turli tarkibli AAM-MAC sopolimerlarining molekulyar og‘irligi

AAM/MAK nisbati	MAC, mol. %	[η], dL/g	K (×10⁻⁴)	a	Mw, 10⁶ g/mol
1,0/0	0	5,5	6,31	0,661	0,93
1,0/0,1	9	5,8	6,03	0,665	0,98
1,0/0,3	23	6,2	5,63	0,674	0,99
1,0/0,5	33	6,8	5,35	0,680	1,09

1,0/0,7	41	6,0	5,17	0,685	0,85
1,0/1,0	50	5,6	4,92	0,691	0,76

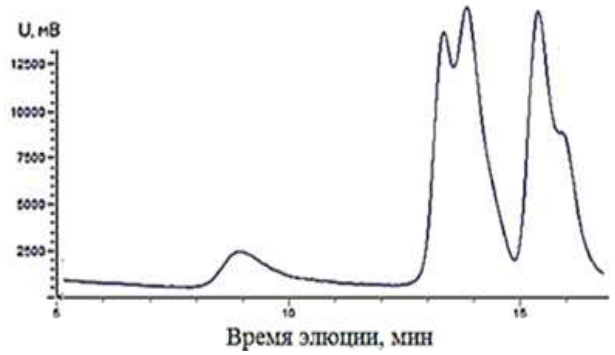
AAM-MAK sopolimerlarining molekulyar massasi MAK miqdori 33 mol.% gacha oshganda ortib boradi va AAM/MAK = 1,0/0,5 nisbatida maksimal qiymatga erishadi. Bu holat zanjirlarning ionlanishi va cho‘zilishi bilan bog‘liq. MAK ulushi 41-50 mol.% gacha oshganda esa molekulyar massa kamayadi, chunki zanjirlar qattiqlashadi, gidrofob o‘zaro ta’sirlar kuchayadi va makromolekulalar uzilishi ortadi. 30-50 °C oralig‘ida AAM-MAK sopolimerining molekulyar massasi $0{,}70 \cdot 10^6$ dan $1{,}10 \cdot 10^6$ g/mol gacha oshadi, bu esa konversiya darajasining ortishi va zanjirlarning uzayishi bilan izohlanadi. 50 °C dan yuqori haroratda Mw 60 °C da $0{,}80 \cdot 10^6$ g/mol gacha kamayadi, chunki initsiatorning tez parchalanishi va zanjir uzilish jarayonlari kuchayadi. Maksimal qiymat 45-50 °C da kuzatilib, bu viskozlik maksimumi bilan mos keladi hamda makromolekulalarning o‘sishi va uzilishi o‘rtasidagi optimal muvozanatni ifodalaydi. Flokulyantlar sintezi uchun eng maqbul harorat 45-50 °C hisoblanadi.

3-jadval.

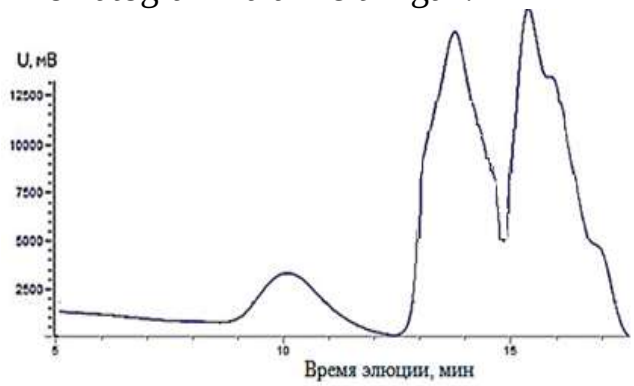
AAM-MAK sopolimerining (AAM/MAK = 1,0/0,5) o‘rtacha molekulyar massasining 2,5 soat davomiylik va 0,2 % initsiator sarfi sharoitida o‘zgarishi

Harorat, °C	30	35	40	45	50	55	60
Mw, $\times 10^6$	0,7	0,84	0,93	0,99	1,10	0,92	0,8

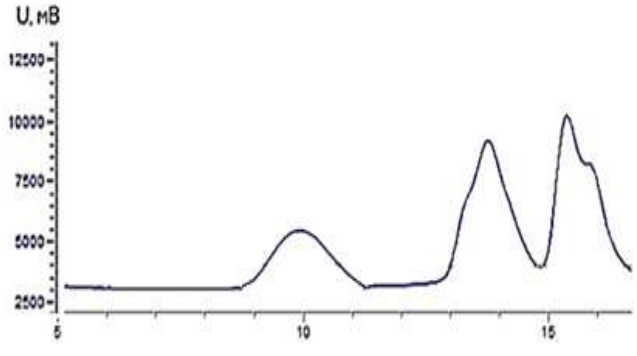
Quyida gel xromatografida olingan xromatogrammalar keltirilgan.



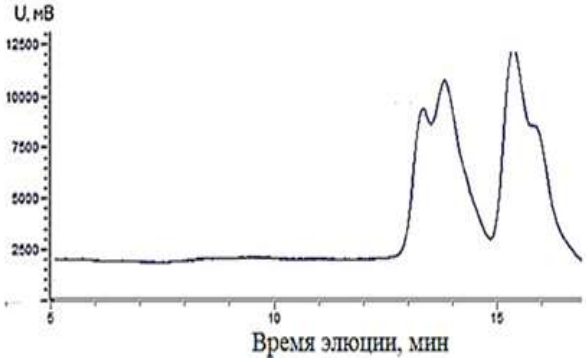
1)



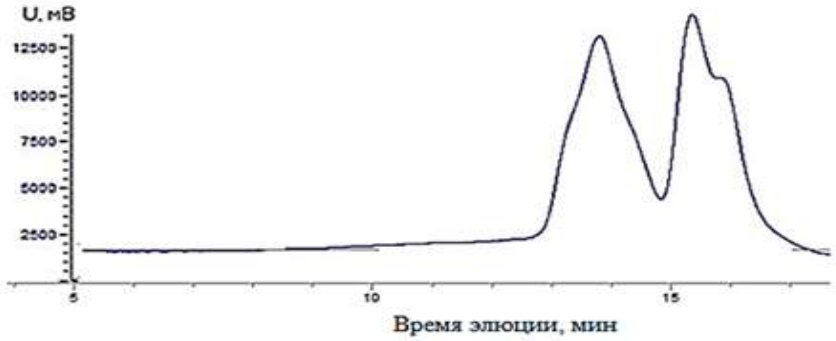
2)



3)



4)



5)

5-rasm. Turli molyar nisbatlarda (50°C, T=2,5 soat, initsiator sarfi 0,2%) sintez qilingan AAM-MAK namunalarining xromatogrammalari: 1) 1,0/0,1; 2) 1,0/0,3; 3) 1,0/0,5; 4) 1,0/0,7; 5) 1,0/1,0.

4-jadval.

AAM-MAK sopolimerlari uchun polidisperslik ko‘rsatkichi (Mw/Mn) (50 °C, 2,5 soat, initsiator 0,2 %)

1,0/0,1	9	2,1
1,0/0,3	23	2
1,0/0,5	33	1,9
1,0/0,7	41	2,3
1,0/1,0	50	2,6

MAK miqdori 9 dan 33 mol.% gacha oshganda yuqori molekulyar fraksiyalar ulushi 55 % dan 60 % gacha ortadi, bu esa uzunroq va bir xilroq zanjirlar shakllanishini ko‘rsatadi. 33 mol.% da polidisperslikning eng kichik qiymati (PDI = 1,9) kuzatiladi, bu molekulyar massalarning nisbatan bir tekis taqsimlanganligini ifodalaydi. MAK miqdori 41-50 mol.% gacha oshirilganda esa uzun zanjirlar ulushi 35-45 % gacha kamayadi, qisqa fraksiyalar soni ortadi va PDI 2,3-2,6 gacha ko‘tariladi. Bu holat zanjirlarning qattiqlashishi, ichki molekulyar ko‘chish jarayonlari va zanjir uzilishlari bilan bog‘liq bo‘lib, tizimning kamroq bir jinsli tuzilishga ega bo‘lishiga olib keladi. Eng optimal strukturaviy bir xillik 33 mol.% MAK sharoitida erishiladi.

5-jadval.

Sintezlangan sopolimerlarning struktura formulasi (50°C, T = 2,5 soat) va ularning polimerlanish darajasi

AAM/MAC nisbati	Polimerning struktura formulasi	Polimerlanish darajasi, n
1,0/0,0	$-(CH_2-CH(CONH_2))-$	13098,6
1,0/0,1	$-(CH_2-C(CH_3)(COOH))-(CH_2-CH(CONH_2))_{10,274}-$	13750,5
1,0/0,3	$-(CH_2-C(CH_3)(COOH))-(CH_2-CH(CONH_2))_{3,514}-$	13815,2
1,0/0,5	$-(CH_2-C(CH_3)(COOH))-(CH_2-CH(CONH_2))_{2,197}-$	15151,5
1,0/0,7	$-(CH_2-C(CH_3)(COOH))-(CH_2-CH(CONH_2))_{1,605}-$	11781,0
1,0/1,0	$-(CH_2-C(CH_3)(COOH))-(CH_2-CH(CONH_2))_{1,168}-$	10500,1

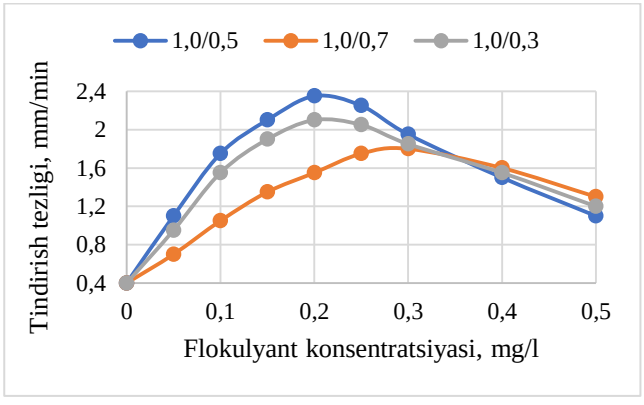
5-jadvaldagi ma’lumotlar AAM va MAK sopolimerlarining tarkibi, ularning strukturaviy xususiyatlari va polimerlanish darajasi o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni ko‘rsatadi, bu esa monomerlar nisbatining makromolekulyar struktura shakllanishiga ta’sirini yanada chuqurroq baholash imkonini beradi.

Uchinchi bob **“Model tizimlarda sintez qilingan sopolimerlarning flokulyatsion faolligi”** tabiiy va oqova suvlarning turli ifloslanish turlarini imitatsiya qiluvchi model tizimlarda AAM va MAK asosidagi sopolimerlarning flokulyatsion faolligini kompleks o‘rganishga bag‘ishlangan.

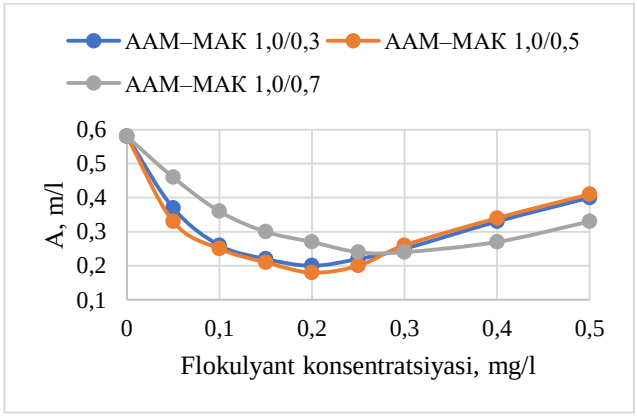
Qattiq faza sifatida manfiy ζ-potensialga ega kaolin (p.a., ≤2 % aralashma) ishlatilgan. Kaolin kukuni 63 mkm elakdan o‘tkazilgan, suspenziyalar (5 g/l) deionizatsiyalangan suvda (18,2 MOm·sm) 40 kHz chastotada 10 daqiqa ultratovush ishlovi bilan tayyorlangan. Fon elektrolitlari sifatida: NaCl (1-100 mM) — bir valentli kationlarni imitatsiya qilish uchun; $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (0,5-10 mM) va $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (0,1-2,0 mM) — ikki valentli kationlar manbai sifatida qo‘llangan. Eritmalar deionizatsiyalangan suvda tayyorlanib, 2 soat ichida ishlatilgan. Organik ifloslantiruvchilar n-geksadekan va toluol emulsiyalari (80:20, 0,5-1 % hajm) hamda anion sirt-faol modda — natriy dodesilsulfat (SDS, ≥99 %) eritmalari bilan modellashtirilgan. SDS konsentratsiyalari 0,5×KKM, 1×KKM va 3×KKM (KKM = 8,2 mM, 25 °C) bo‘lgan. Eritmalar 25 ± 0,5 °C da 12 soat davomida ushlab turilgan, pH = 6,5-7,0, elektr o‘tkazuvchanlik ≤ 2 mkS/sm sharoitida tayyorlangan.

Eksperimental natijalar (6-rasm) flokulyant dozasi ortishi bilan yoritilish tezligining ekstremal bog‘liqligini ko‘rsatadi: konsentratsiya oshishi bilan tezlik ortadi, 0,15-0,2 mg/l da maksimumga erishadi, undan so‘ng sirtning ortiqcha to‘yinish va sterik ekranlanish sababli kamayadi. Eng yuqori samaradorlik AAM/MAK = 1/0,5 sopolimerida kuzatiladi, bunda gidrofil va anion guruhlar optimal muvozanatda bo‘lib, zarrachalararo ko‘prik hosil bo‘lishini ta’minlaydi. 1/0,7 tarkibida ortiqcha zaryadlar itarilish kuchini oshirib faollikni kamaytiradi, 1/0,3 tarkibida esa karboksil guruhlar yetishmasligi sababli samaradorlik pasayadi.

0,15-0,2 mg/l dozada kuzatilgan maksimal yoritilish tezliklari (1,8-2,3 shartli birlik) sanoat anion flokulyantlari darajasiga yaqin bo‘lib, AAM/MAK sopolimerlarining yuqori samaradorligi va iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligini tasdiqlaydi.



6-rasm. Kaolin suspenziyasining tiniqlash tezligining AAM-MAK flokulyantining konsentratsiyasiga bog'liqligi.



7-rasm. Flokulyant konsentratsiyasiga qarab qoldiq loyqalik (A, mg/l).

7-rasm ma’lumotlariga ko‘ra, A_{540} qoldiq loyqaligining bog‘liqligi ham ekstremal xarakterga ega: eng past qiymatlar (0,18-0,2 mg/l) AAM/MAK = 1/0,5 nisbatida kuzatiladi. 1/0,3 tarkibda samaradorlik biroz pastroq, 1/0,7 tarkibda esa ortiqcha gidrofillik sababli loyqalik yuqoriroq bo‘ladi. 0,25 mg/l dan yuqori dozalarda zarrachalar polimerning ortiqcha qoplashi natijasida qayta barqarorlashuvi (restabilizatsiya) kuzatiladi.

Elektrolitlar AAM-MAK 1/0,5 sopolimerining flokulyatsion faolligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Past konsentratsiyalarda (0,001-0,01 M) samaradorlik zaryadlarning ekranlanishi va ζ-potensialning kamayishi hisobiga ortadi, bu esa zarrachalar agregatsiyasini yengillashtiradi. Maksimal ko‘rsatkich (2,6 sm/min; 93 %) 0,005 M $CaCl_2$ da erishiladi. Eng kuchli ta’sir Ca^{2+} ionlariga tegishli bo‘lib, ular karboksil guruhlari bilan koordinatsion bog‘lar hosil qiladi; Mg^{2+} yuqori gidratatsiya tufayli nisbatan sust ta’sir ko‘rsatadi, Na^{+} esa faqat qisman zaryadlarni ekranlaydi.

Elektrolitlar konsentratsiyasi 0,05-0,1 M gacha oshirilganda makromolekulalarning siqilishi va zarrachalarning qayta barqarorlashuvi sababli faollik kamayadi. Optimal diapazon 0,001-0,01 M bo‘lib, tuzlarning samaradorligi $NaCl < MgCl_2 < CaCl_2$ tartibida ortadi. Ca^{2+} va Mg^{2+} ning me’yoriy miqdorlari ekranlash va polimer bilan koordinatsion bog‘lanish orqali agregatsiyani kuchaytiradi.

6-jadval.

Elektrolitlar konsentratsiyasining flokulyatsiya faolligiga ta’siri (flokulyant dozasi 0,25 mg/l, AAM-MAK 1/0,5 tizimi)

Elektrolitlar konsentrat-siyasi, M	NaCl			$CaCl_2$			$MgCl_2$		
	TD, sm/min	A, mg/l	MM AOD, %	TD, sm/min	A, mg/l	MM AOD, %	TD, sm/min	A, mg/l	MM AOD, %
0	2,05	0,20	86	2,05	0,20	86	2,05	0,20	86
0,001	2,25	0,18	89	2,4	0,16	91	2,35	0,17	90
0,005	2,35	0,16	91	2,65	0,14	93	2,55	0,15	92
0,01	2,2	0,17	90	2,55	0,15	92	2,45	0,16	91
0,05	1,85	0,22	85	2,12	0,18	88	2,01	0,19	87
0,1	1,60	0,26	81	1,85	0,22	84	1,8	0,23	83

TD - tozalash darajasi; MMAOD - muallaq moddalarning ajratib olish darajasi.

Sirt faol moddalari mavjud bo'lganda, loyqalik minimal miqdori yuqori flokulyant dozalariga (0,25-0,30 mg/L) o'tadi va A ning qiymatlari oshadi. Bu elektrosterik to'siqning shakllanishi, sirt faol moddasi va polimer o'rtasidagi adsorbsiya uchun raqobat va eruvchan komplekslarning shakllanishi bilan bog'liq. Anion sirt faol moddalar elektrostatik itarish kuchini oshiradi, noion sirt faol moddalar esa sterik stabilizatsiyani kuchaytiradi, bu esa flokulyatsiya samaradorligini pasaytiradi.

AAM-MAK 1/0,5 sopolimeri anionlik va gidrofobiklikning optimal muvozanati tufayli eng yaxshi ta'sirni (minimal ≈ 0,28 mg/L) saqlab qoladi, bu esa sirt faol moddasini chegaradan qisman siljitish imkonini beradi. 1/0,3 da zaryad nisbati

beqarorlik uchun yetarli emas, 1/0,7 da esa ortiqcha zaryadlar itarish kuchini keltirib chiqaradi va loyqalikni oshiradi. Shuning uchun, sirt faol moddalar mavjud bo'lganda, AAM-MAK 1/0.5 o'rta-anionik flokulyant optimal hisoblanadi.

7-jadval.

Flokulyant konsentratsiyasiga (moy emulsiyasi + sirt faol moddasi) qarab, 10 daqiqalik aloqa vaqtidan keyin qoldiq loyqalik A (mg/L)

C, mg/l	AAM-MAK 1/0,3	AAM-MAK 1/0,5	AAM-MAK 1/0,7
0	0,72	0,72	0,72
0,05	0,62	0,58	0,66
0,1	0,52	0,44	0,57
0,15	0,45	0,36	0,51
0,2	0,41	0,32	0,49
0,25	0,4	0,28	0,47
0,3	0,42	0,29	0,46
0,4	0,47	0,31	0,46
0,5	0,51	0,34	0,48

To‘rtinchi bob “To‘raqo‘rg‘on issiqlik elektr stansiyasi oqova suvlarini flokulyatsion tozalashda sintez qilingan sopolimerlardan foydalanish”da haqiqiy oqova suvlarni flokulyatsion tozalashni aniqlash bo‘yicha o‘tkazilgan tajriba tadqiqotlari natijalari keltirilgan. Tadqiqot ob’ekti sifatida To‘raqo‘rg‘on issiqlik elektr stansiyasida suvdan foydalanish jarayonida hosil bo‘ladigan va Katta Namangan kanali bilan gidravlik jihatdan bog‘langan to‘rt turdagi suvlar olingan.

8-jadval.

Integrall organik ko‘rsatkichlar (yozgi davr, 2025-yil avgust)

Oqim	Umumiy organik uglerod (UOU), mg C/l	Kimyoviy kislorodga bo’lgan talab (KKT), mg O_2/l
Kanal (tarkibiy qism)	7,8	28
Ishlov beriladigan suv (koagulyatsiya/flokulyatsiya, filtratsiyadan keyin)	5	18
Qayta aylanish suvi (sovutish minorasidan keyin)	12	55
Tozalangan chiqarish (oqindi)	8,5	36

9-jadval.

Integrall organik ko‘rsatkichlar (qish davri, 2025-yil fevral)

Oqim	Umumiy organik uglerod (UOU), mg C/l	Kimyoviy kislorodga bo’lgan talab (KKT), mg O_2/l
Kanal (tarkibiy qism)	9,2	34
Ishlov beriladigan suv (koagulyatsiya/flokulyatsiya, filtratsiyadan keyin)	6,2	24
Qayta aylanish suvi (sovutish minorasidan keyin)	15,5	72
Tozalangan chiqarish (oqindi)	10,8	45

Organik yuklama darajasi suvdan foydalanish bosqichiga bog‘liq. Kanal suvida organik moddalarning miqdori o‘rtacha darajada bo‘lib (UOU 9,2 mg C/l, KKT 34 mg O_2/l), koagulyatsiya va filtrlashdan so‘ng bu ko‘rsatkichlar 6,2 va 24 mg/l gacha kamayadi, bu esa reagentli tozalash samaradorligini tasdiqlaydi.

Aylanma (sirkulyatsion) suvda organik moddalar miqdori eng yuqori bo‘lib (UOU 15,5 mg C/l, KKT 72 mg O_2/l), bu bug‘lanish orqali kontsentratsiyaning oshishi va neft mahsulotlarining tushishi bilan izohlanadi. Lokal tozalashdan so‘ng ko‘rsatkichlar 10,8 va 45 mg/l gacha kamayib, organik moddalarning 30-40 % gacha olib tashlanishini ta’minlaydi hamda IES oqova suvlari uchun belgilangan me’yoriy talablarga mos keladi.

10-jadval.

Tindirish samaradorligining flokulyant dozasiga bog‘liqligi (boshlang‘ich namuna: loyqalik 3,5 NTU; KKT 45 mg O_2/l; OOU 10,8 mg C/l)

Me’yor, mg/l	NTUdan keyin loyqalik	Tindirish darajasi, %	Qoldiq KKT, mg O_2/L	Qoldiq OOU, mg C/l	Izoh (flokulyant turi)
0	3,5	0	45	10,8	-
0,1	2,5	28,6	39	9,8	AAM-MAK 1/0,3
0,15	2	42,9	36	9,2	AAM-MAK 1/0,3
0,2	1,7	51,4	34	8,9	AAM-MAK 1/0,3
0,25	1,6	54,3	33	8,7	AAM-MAK 1/0,3
0,3	1,7	51,4	34	8,9	AAM-MAK 1/0,3
0,1	2,2	37,1	38	9,6	AAM-MAK 1/0,5
0,15	1,6	54,3	34	8,8	AAM-MAK 1/0,5
0,2	1,3	62,9	31	8,2	AAM-MAK 1/0,5
0,25	1,2	65,7	30	8	AAM-MAK 1/0,5
0,3	1,3	62,9	31	8,2	AAM-MAK 1/0,5
0,1	2,8	20	41	10	AAM-MAK 1/0,7
0,15	2,3	34,3	38	9,5	AAM-MAK 1/0,7
0,2	2	42,9	36	9,2	AAM-MAK 1/0,7
0,25	1,8	48,6	35	9	AAM-MAK 1/0,7
0,3	1,9	45,7	36	9,2	AAM-MAK 1/0,7
0,1	2,3	34,3	37	9,4	PAAM
0,15	1,7	51,4	34	8,9	PAAM
0,2	1,4	60	32	8,5	PAAM
0,25	1,3	62,9	32	8,4	PAAM
0,3	1,4	60	33	8,6	PAAM

To‘raqo‘rg‘on IES oqova suvlarini flokulyatsion tozalash samaradorligi flokulyant dozasi va anionligiga bog‘liq. Barcha namunalar uchun ekstremal bog‘liqlik kuzatiladi: doza oshishi bilan loyqalik minimal qiymatgacha kamayadi, so‘ng restabilizatsiya sababli barqarorlashadi.

Eng yaxshi natijalar AAM-MAK 1/0,5 sopolimerida 0,20-0,25 mg/l dozada kuzatildi: loyqalik 1,2 NTU, tindirish darajasi 65,7 %, XPK 30 mg O_2/l, OOU 8,0 mg C/l. 1/0,3 tarkibda samaradorlik pastroq (loyqalik 1,6 NTU, XPK 33 mg O_2/l) — bu anionlikning yetarli emasligi bilan izohlanadi; 1/0,7 tarkibda esa (loyqalik 1,8 NTU, XPK 35 mg O_2/l) ortiqcha zaryadlar va gidratatsiya tufayli samaradorlik kamayadi. Sanoat flokulyanti PAA-GS yaqin darajada tindirishni ta’minlaydi (1,3 NTU), ammo organik moddalarni kamaytirishda pastroq natija beradi (XPK 32 mg O_2/l), bu esa AAM-MAK 1/0,5 ning adsorbsion-gidrofob xususiyatlari ustunligini tasdiqlaydi.

11-jadval.

Flokulyant samaradorligini taqqoslash (boshlang‘ich: loyqalik 3,5 NTU; KKT 45 mg O_2/L; OOU 10,8 mg C/l)

Flokulyant	Optimal doza, mg/l	NTU dan keyingi xiralik	Yorug'lik darajasi, %	XPK kamayishi, %	OOU ning kamayishi, %
AAM-MAK 1/0,5	0,25	1,2	65,7	33,3	25,9
PAAM	0,25	1,3	62,9	28,9	22,2
AAM-MAK 1/0,3	0,25	1,6	54,3	26,7	19,4
AAM-MAK 1/0,7	0,25	1,8	48,6	22,2	16,7

Qiyosiy sinovlar (11-jadval) shuni ko‘rsatdiki, AAM-MAK 1/0,5 flokulyanti eng yuqori samaradorlikka ega: tindirish 65,7 %, KKT 33 % ga va OOU 26 % ga kamayadi. Sanoat PAAM organik tozalash bo‘yicha pastroq natija ko‘rsatadi, 1/0,3 va 1/0,7 sopolimerlar esa mos ravishda anionlik yetishmasligi yoki ortiqchaligi sababli kam samarali hisoblanadi. ptimal o‘rtacha anionlik elektrostatik va adsorbsion-ko‘prik hosil qilish o‘zaro ta’sirlari o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlaydi va eng yaxshi flokulyatsion xususiyatlarni belgilaydi.

XULOSA

1. Akrilamid va metakril kislota sopolimerlari optimal sharoitlarda: AAM/MAK = 1/0,5; 50 °C; 0,2 % initsiator; 150 daqiqa davomida sintez qilinganda eng yuqori molekulyar massaga (Mw ≈ 1,1 × 10^6 g/mol) va zanjirlarning cho‘zilgan konformatsiyasini ifodalovchi yuqori xarakteristik qovushqoqlikka ega ekani aniqlangan. 30-35 mol.% MAK oralig‘ida gidrofil va gidrofob fragmentlar o‘rtasida optimal muvozanat yuzaga keladi, bu esa makromolekulalarning tuzli muhitlarda siqilishga chidamliligini va eruvchanligini saqlab qolishini ta’minlaydi. Ushbu xususiyatlar sopolimerlarga strukturaviy barqarorlik va minerallashgan hamda organik moddalarga boy suv tizimlarida yuqori flokulyatsion faollik salohiyatini beradi.

2. Sopolimer tarkibida metakril kislota miqdori 0 dan 50 mol.% gacha oshganda kislota soni 356,9 mg KOH/g gacha ortishi, azotning massa ulushi esa 19,71 % dan 10,42 % gacha kamayishi aniqlangan. Bu holat karboksil guruhli bo‘g‘inlarning makromolekulaga ketma-ket kiritilishini tasdiqlaydi. O‘rtacha molekulyar massa AAM/MAK = 1/0 da 0,93×10^6 g/mol dan AAM/MAK = 1/0,5 da 1,09×10^6 g/mol

gacha oshadi, so‘ng kislota ulushi yanada ortishi bilan AAM/MAK = 1/1,0 da $0{,}76\times10^6$ g/mol gacha kamayadi. Polimerlanish darajasi esa 13 098 dan 15 151 gacha ortib, keyinchalik 10 500 gacha kamayadi, bu esa eng uzun va bir tekis zanjirlar taxminan 33 mol.% MAK tarkibida hosil bo‘lishini ko‘rsatadi.

3. Eng yaxshi natijalar AAM-MAK 1/0,5 flokulyanti 0,15-0,20 mg/l dozada qo‘llanganda kuzatildi, bunda mineral suspenziyaning loyqaligi 20 daqiqa ichida 0,18 mg/l gacha kamaygan. Yuqori samaradorlik $1{,}09\times10^6$ g/mol molekulyar massa va Mw/Mn = 1,9 bo‘lgan past polidisperslik bilan bog‘liq bo‘lib, bu zarrachalar o‘rtasida faol ko‘prik hosil bo‘lishini ta’minlaydi. 1/0,3 tarkibda samaradorlik zaryad zichligining yetarli emasligi sababli pastroq, 1/0,7 tarkibda esa makromolekulalarning ortiqcha anionligi tufayli kamayadi. Mineral dispersiyalarni eng barqaror va tez tindirish AAM/MAK = 1/0,5 nisbatida kuzatiladi, bu esa struktura va flokulyatsion faollik o‘rtasidagi optimal muvozanatni tasdiqlaydi.

4. AAM-MAK 1/0,5 flokulyanti elektrolitlar ishtirokida eng yuqori faollikni $CaCl_2$ ning 0,005 M optimal konsentratsiyasida namoyon etdi, bunda tindirish tezligi 2,65 sm/min ga, muallaq moddalarning ajratib olish darajasi esa 93 % ga yetdi. Xuddi shu sharoitda NaCl 91 %, $MgCl_2$ esa 92 % samaradorlik ko‘rsatdi. Elektrolitlar konsentratsiyasi 0,01 M dan yuqori bo‘lganda samaradorlik 81-84 % gacha kamaydi, bu makromolekulyar klasterlarning siqilishi va tizimning qayta barqarorlashuvi (restabilizatsiya) bilan izohlanadi. Optimal ion kuchi diapazoni 0,001-0,01 M bo‘lib, u agregatsiyani kuchaytiradi, lekin flokulyatsion faollikni yo‘qotmaydi. Elektrolitlarning samaradorligi $Na^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+}$ qatorida ortadi, bu ikki valentli kationlarning sopolimer karboksil guruhlari bilan koordinatsion bog‘ hosil qilishi va zarrachalararo qo‘shimcha “ko‘priklanish”ni ta’minlashi bilan bog‘liq. Natijada floklar mustahkamligi va tindirish darajasi sezilarli oshadi.

5. IES oqimlari bo‘yicha suv sifatining mavsumiy va texnologik qatlamlanishi aniqlangan: kanaldan olinadigan qo‘shimcha suv o‘rtacha minerallashgan bo‘lib (pH 7,9-8,3; κ 0,48-0,73 mS/sm; Ca 48-64 mg/l), sovitish minorasidan keyingi aylanma suvda esa ko‘rsatkichlar taxminan 2,5-2,8 marta ortadi (κ 1,21-1,56 mS/sm; Ca 124-162 mg/l; umumiy qattiqlik 9,4-12,0 mg·ekv/l; pH 8,5-8,8). Bu kontsentratsiya siklining 2,5-2,8 ga teng ekanini va cho‘kma (nakip) hosil bo‘lish xavfi yuqoriligini tasdiqlaydi.

6. Reagentli oldindan tozalash jarayoni kolloid fazani barqaror ravishda kamaytirishi aniqlangan (kanal suvi loyqaligi 11-13 NTU dan 2,7-4,7 NTU gacha; yoz mavsumida muallaq moddalar 23 mg/l dan 1 mg/l gacha). Shu bilan birga aylanma konturda organik yuklama va elektrolitlar to‘planib boradi (yozda OOU 12-15,5 mg C/l, XPK 55-72 mg O_2/l; qishda esa yanada yuqori), bu esa keyingi bosqichda flokulyantlarni qo‘llab, maqsadli ravishda muallaq zarrachalar, neft mahsulotlari/PAV hamda qisman erigan organik moddalarni ajratib olish bo‘yicha sinovlarni o‘tkazishni asoslaydi.

7. Mahalliy AAM- MAK 1/0,5 sopolimerini sintez qilish orqali birgina To‘raqo‘rg‘on IESda yiliga, 453 560 576 so‘mlik iqtisodiy foydaga erishish mumkun. Bu natija import o‘rnini bosuvchi mahsulot ishlab chiqarishning nafaqat sanoat, balki milliy iqtisodiyot uchun ham yuqori darajada ahamiyatli ekanini ko‘rsatadi.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ DSc.03/2025.27.12.K/T.15.08 ПРИ НАМАНГАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

НАМАНГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

АБДУКОДИРОВ ЭЛЁРЖОН АБДУЛБОРИ УГЛИ

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОКУЛЯНТОВ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА АКРИЛАМИДА И МЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД

02.00.11 - Коллоидная и мембранная химия

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРАФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ХИМИЧЕСКИМ НАУКАМ

Наманган - 2026

Тема диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Академии наук Республики Узбекистан под номером B2025.4.PhD/K1093.

Диссертация выполнена в Наманганском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета (www.namdtu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:	**Маллабоев Одилжон Тохиржанович** Доктор философии (PhD) по химии, доцент
Официальные оппоненты:	**Эшметов Иззат Дусимбатович** доктор технических наук, профессор
	Бахронова Хаёта Нуровича доктор химических наук, профессор
Ведущая организация:	**Кокандский государственный университ**

Защита диссертации состоится «28» ноябр 2026 г. в «11^{00}» часов на заседании Научного совета DSc.03/2025.27.12.K/T.15.08 при Наманганский государственный технический университет по адресу: 160115, г. Наманган, ул. Косонсой, 7, Тел: (+99869) 234-14-85, Факс: (+99869) 234-14-85; e-mail: info@namdtu.uz). Наманганский государственный технический университет, 3-здание, 1-этаж, ауд. 303).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Наманганского государственного технического университета (зарегистрирована под №256). (Адрес: город Наманган, Янги Наманганский район, улица И. Каримова, дом 12, тел.: (+998 69) 234-14-30.)

Автореферат диссертации разослан «10» ноябр 2026 года.
(Реестр за № 24 от «10» ноябр 2026 года).

О.К. Эргашев
Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, д.х.н., профессор

М.Ф. Мелибоев
Учёный секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н, доцент

Д.Ш. Шеркузиев
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

22

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора (PhD) философии)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире из-за роста промышленности, активного применения синтетических материалов и плохого обращения с отходами всё сильнее загрязняются природные и сточные воды. Полимерные флокулянты во многих процессах эффективны при удалении растворённых и коллоидных частиц из воды органического и неорганического происхождения. В связи с этим становятся актуальными исследования в направлении синтеза полимерных флокулянтов на основе акриламида и метакриловой кислоты, эффективных при высоких температурах и наличии солей электролитов.

В мире проводятся научные и практические исследования, направленные на создание и применение флокулянтов для очистки сточных вод тепловых электростанций. Поэтому особое значение имеют исследования, направленные на определение оптимальных условий синтеза эффективных флокулянтов, выбор мономеров и их соотношения, оценку их эффективности в очистке реальных сточных вод, а также создание промышленной технологии их производства и применения.

В настоящее время в нашей республике достигаются научные и практические результаты в области производства новых видов импортозамещающих сополимеров, в том числе флокулянтов, а также испытания их химических и физико-механических свойств. В третьем направлении Стратегии развития «Нового Узбекистана», направленной на дальнейшее развитие Республики Узбекистан, определены задачи «Развитие химической промышленности, эффективное использование водных ресурсов, устранение экологических проблем»[1]. В связи с этим важное значение имеют исследования, направленные на разработку современных высокоэффективных флокулянтов, а также установление взаимосвязи между их функциональными свойствами, условиями получения и составом.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит реализации задач, предусмотренных постановлениями Президента Республики Узбекистан от 3 апреля 2019 года № ПП-4265 «О мерах по дальнейшему реформированию химической промышленности и повышению её инвестиционной привлекательности», от 12 августа 2020 года № ПП-4805 «О мерах по повышению качества непрерывного образования и результативности науки по направлениям химии и биологии», указами Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», от 12 октября 2023 года № УП-169 «О дополнительных мерах по ускоренному развитию промышленности и её базовых отраслей», а также другими нормативно-правовыми документами, относящимися 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».

[1] Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы».

Степень изученности проблемы. Степень изученности проблемы. В мире целенаправленные исследования в области синтеза, структуры и применения флокулянтов для очистки природных и сточных вод проводятся рядом известных научных школ и исследователей, среди которых Gregory J., Bolto B., Bhattacharya A., Kolya H., Tripathy T., Bajpai J., Vajihinejad V., Lee C.S., Renault F., Derjaguin B.V., Israelachvili J.N., Гончаров Ф.И., Кулаков В.А., Емельянова Т.П., Селеменев В.Ф., Гусев А.А., Сапожников Ю.А. и др.

В Узбекистане под руководством К.С.Ахмедова была создана школа, направленная на исследование флокулянтов, представители которой: Э.А.Арипов, С.С.Хамраев, С.Н.Аминов, А.А.Агзамходжаев, У.К.Ахмедов, С.З.Муминов, Б.Н.Хамидов, В.П.Гуро, Г.Р.Нарметова, С.А.Абдурахимов, И.К.Сатаев, О.К.Бейсенбаев и др. внесли весомый вклад в ее развитие. Вместе с тем до настоящего времени не полностью освещены результаты исследований по установлению условий реакции сополимеризации ААМ и МАК на выход и молекулярную массу, молекулярно-массовое распределение в системе сополимеров. Отсутствуют данные как эти важные коллоидно-химические характеристики сополимеров влияют на их флокуляционную активность при очистке сточных вод от органических и неорганических загрязнителей.

Связь исследования с научно-исследовательскими планами научно-исследовательского учреждения, в котором была выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Наманганского государственного технического университета по теме “Синтез и изучение флокулянтов на основе сополимера акриламида и метакриловой кислоты для очистки водной среды” и хозяйственного договора No 06/2024 с АО “Туракурганская тепловая электростанция.”

Целью исследования является синтез флокулянтов на основе сополимера акриламида и метакриловой кислоты для очистки водной среды и определение физико-химических и технологических свойств полученных флокулянтов.

Задачи исследования:

синтез и получение сополимеров акриламида и метакриловой кислоты (ААМ-МАК) в различных молярных соотношениях мономеров, а также определение оптимальных условий полимеризации;

определение кислотного числа, содержания азота и средней молекулярной массы сополимеров, их структурной формулы, а также определение молярного соотношения звеньев в цепи;

Определение влияния соотношения ААМ/МАК на структурные и конформационные параметры макромолекул;

Экспериментальное изучение флокуляционной активности сополимеров ААМ-МАК в модельных системах - суспензии каолина, эмульсии нефтепродуктов, растворах поверхностно-активных веществ (ПАВ) и определение оптимального количества флокулянта;

определение влияния ионной силы, природы и концентрации электролитов на флокуляционную активность;

определение эффективности синтезированных флокулянтов при очистке фактических сточных вод АО "Туракурганская ТЭС";

Исследование закономерностей между структурой, молекулярными свойствами и флокуляционной активностью сополимеров ААМ-МАК.

Объектами исследования являются синтезированные сополимеры акриламида и метакриловой кислоты (ААМ-МАК) различного мольного соотношения, модельные минеральные (суспензия каолина) и органоминеральные (эмульсии нефтепродуктов и растворы ПАВ) системы, а также реальные сточные воды Туракурганской теплоэлектростанции и подпиточная вода Большого Наманганского канала.

Предметом исследования являются закономерности формирования структуры и состава сополимеров ААМ-МАК, влияние их молекулярных характеристик и степени анионности на флокуляционную активность, механизмы флокуляции минеральных и органических дисперсий, а также процессы осветления и удаления органических и минеральных загрязнителей из природных и сточных вод различной минерализации.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы широко использовались современные и традиционные методы определения физико-химических (ИК-спектрофотометрические, гель-хроматографический) и коллоидно-химических (вискозиметрические, кондуктометрические, титриметрические) характеристик коллоидных систем.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

Установлено, что применение сополимера ААМ-МАК 1/0,5 в дозе 0,25 мг/л снижает мутность с 3,5 до 1,2 НТУ, ХПК с 45 до 30 мг О2/л, общий органический углерод (ОУУ) с 10,8 до 8,0 мг С/л за счет его высокой молекулярной массы (Mu ≈ 1,09·106 г/моль) и узкой полидисперсности (Mu/Mn ≈ 1,9).

установлено, что оптимальный диапазон ионной силы для флокуляции составляет 0,001-0,01 М, максимальный эффект (скорость отстаивания до 2,65 см/мин, степень удаления частиц суспензии 93%) достигается при концентрации CaCl2 0,005 М;

Доказано, что при применении сополимера ААМ-МАК 1/0,5 в оптимальной дозе 0,25 мг/л кинетика отстаивания достигает стационарного состояния в течение 15-20 минут, остаточная мутность сополимеров с соотношением мономеров 1/0,3 и 1/0,7 составляет 1,55 и 1,75 НТУ соответственно, и доказано, что эта разница связана с равновесием между плотностью заряда в полимерной цепи и гибкостью цепи;

установлено, что наличие поверхностно-активных веществ (ПАВ) увеличивает расход флокулянта до 0,25-0,30 мг/л, а в системе "нефть + ПАВ" для Амина этот показатель увеличивается с 0,21-0,25 мг/л до 0,28-0,31 мг/л без ПАВ;

доказано, что флокуляционная очистка дополнительной (подпиточной) воды канала ААМ-МАК 1/0,5 снижает мутность с 13,4 до 1,9 НТУ (-85,8%), взвешенные вещества с 23 до 2,1 мг/л (-90,9%), а также снижает

электропроводность с 550 до 480 мксм/см (-12,7%) и ионы Ca2+ с 48 до 41 мг/л (-14,6%).

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

Разработаны методические основы целенаправленного синтеза сополимеров ААМ-МАК и на их основе определены оптимальные нормы и условия синтеза флокулянтов;

разработаны практические рекомендации по использованию синтезированных флокулянтов в очистке сточных и природных вод и определена их экономическая эффективность.

Достоверность результатов исследования. Научные исследования проводились с использованием современных физико-химических и коллоидно-химических методов, а экспериментальные испытания по установлению флокуляционной активности сополимеров акриламида и метакриловой кислоты были проведены в лабораторных и производственных условиях «Туракурганская ТЭС» и подтверждены актами испытаний.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования обосновывается разработкой методологии процессов лабораторного синтеза флокулянтов на основе сополимеров акриламида и метакриловой кислоты, установлением оптимальных условий проведения процессов флокуляционной очистки природных и сточных вод, которые послужат базой для целенаправленного проведения процесса создания сополимеров для различных целей.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке технологии получения и применения флокулянтов на основе сополимеров акриламида и метакриловой кислоты для очистки различных сред, в том числе сточных воды теплоэлектростанций, а также в подготовке магистров и бакалавров в учебных заведениях в области химии, химической и экологической технологии.

Внедрение результатов исследования. На основании научных результатов по получению флокулянтов на основе сополимеров акриламида и метакриловой кислоты:

технология использования флокулянтов на основе акриламида и метакриловой кислоты для очистки сточных и природных вод включена в "Перечень перспективных разработок" АО "Туракурганская ТЭС" для внедрения в практику в 2026-2027 годах (справка АО "Тепловые электрические станции" от 3 июня 2025 года No 38). В результате флокулянт ААМ-МАК=1/0,5 при расходе 0,20-0,25 мг/л позволяет снизить мутность воды до 65,7%, ХПК до 33% и общее количество органического углерода до 26%;

технология флокуляционной очистки сточных вод также включена в "Перечень перспективных разработок" АО "Туракурганская ТЭС" для внедрения в практику в 2026-2027 годах (справка АО "Тепловые электрические станции" от 3 июня 2025 года No 38). В результате в условиях двухступенчатого перемешивания (300 об/мин - 2 минуты, 30 об/мин - 10 минут), в течение 15-20 минут, при pH 7,5-8,0 и ионной силе 0,01-0,03 М

обеспечивается стабильная мутность воды и достигается эффективная очистка загрязняющих веществ.

Апробация результатов исследования. Основные результаты данного исследования обсуждались на 3 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликование результатов исследования. По теме и материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, 6 научных статей, 4 в республиканских и 2 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объём диссертации составляет 113 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и важность научно исследовательской работы, определены цели и задачи, объект и предмет, соответствие с приоритетными направлениями развития науки и техники Республики Узбекистан, изложены новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость результатов, даны сведения о внедрении практических результатов исследования, опубликованы научные работы и структура диссертации.

В первой главе диссертации **«Флокуляционные процессы и полимерные флокулянты»** проанализированы флокуляционные процессы, основные механизмы флокуляции, их применение в разлчиных отраслях, изучены современные полимерные флокулянты, в том числе сополимеры акриламида с непредельными кислотами: их состав-структурв-свойства.

Во второй главе **«Синтез и структурно-функциональные характеристики флокулянтов на основе акриламида и меиакриловой кислоты»** приведены результаты по исследованиюпроцессов синтеза сополимеров для флокуляционных процессов.

Для синтеза водорастворимых сополимеров акриламида (АА) и метакриловой кислоты (МАК) использовали реагенты х. ч. Основным мономером служил АА (>99,5 %), обеспечивающий формирование гидрофильной матрицы. Сополимеризующий компонент МАК (>99 %), вводящий карбоксильные группы и регулирующий зарядовую плотность. Инициатор персульфат аммония (>98 %) в виде 10 %-ного раствора при содержании 0,1-0,6 % от массы мономеров. Растворитель деионизованная вода (≤1 мкСм/см). Дегазацию и полимеризацию проводили в атмосфере азота (99,99 %).

Для выделения и промывки сополимеров использовали изопропиловый спирт или ацетон (>99 %) при 0-5 °С; изопропанол (1-3 об.% к воде) применяли как регулятор молекулярной массы.

Для анализа характеристик использовали NaOH (>98 %) для нейтрализации, 0,1 М KOH в этаноле для определения кислотного числа, растворы $NaNO_3$ или NaCl (1 М) для вискозиметрии. Все реагенты применялись без дополнительной очистки.

Сополимеры синтезировали методом радикальной полимеризации в водной среде без гидролиза. Процесс проводили в термостатируемом стеклянном реакторе с мешалкой, газораспределителем для подачи азота и портами для ввода растворов. Перед синтезом систему промывали деионизованной водой и продували азотом для удаления кислорода.

Полимеризацию акриламида и МАК проводили в трёхгорловой колбе (500 $см^3$), содержащей 100 $см^3$ воды и 5 г мономерной смеси. Молярные соотношения АА:МАК составляли 1:0,1; 1:0,3; 1:0,5; 1:0,7 и 1:1. После растворения мономеров раствор дегазировали азотом 20 мин, затем под азотным покровом вводили инициирующую редокс-систему (ПСА и метабисульфит натрия, 1:1-1,5).

Полимеризацию вели при 25-30 °С, скорости перемешивания около 300 об/мин в течение 60-120 мин. Завершение реакции определяли по стабилизации вязкости и прекращению тепловыделения. После охлаждения раствор сополимера выливали в десятикратный объём охлаждённого изопропилового спирта или ацетона, осадок выдерживали 20-30 мин, фильтровали и дважды промывали холодным осадителем. Сушку проводили в вакууме при 35-40 °С до постоянной массы; при необходимости продукт дополнительно очищали растворением в воде и лиофильной сушкой.

После проведения синтеза сополимеров акриламида и МАК были изучены вязкостные характеристики их водных растворов. Данные рис. 1 демонстрируют изменение относительной вязкости водных растворов сополимеров акриламида с акриловой (ААМ-АК) и метакриловой кислотами (ААМ-МАК) в зависимости от мольной доли кислотного мономера.

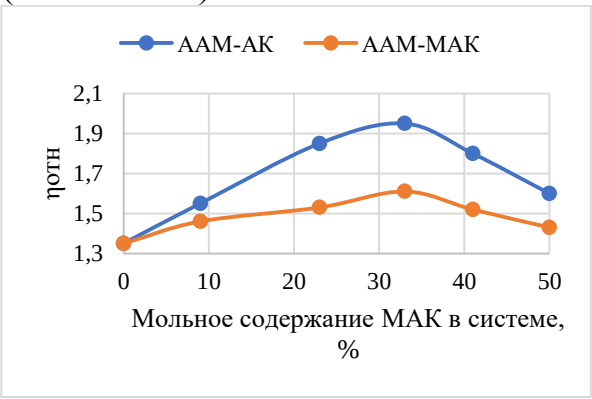


Рис. 1. Изменение вязкостных характеристик 0,1% растворов синтезированных сополимеров в зависимости от соотношения мономеров (при 50°С и 2 ч синтеза).

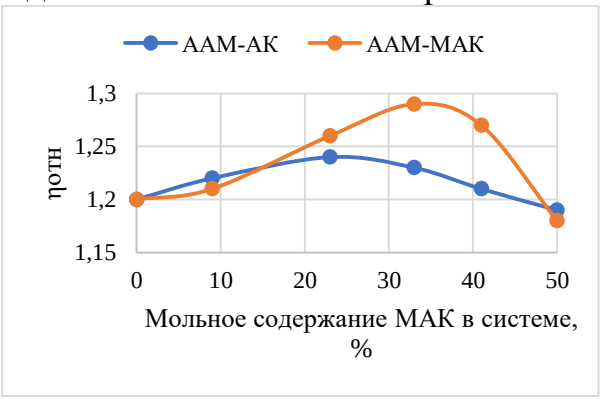


Рис. 2. Изменение вязкостных характеристик растворов С=0,1 г/л синтезированных сополимеров (0,50 М $NaNO_3$) в зависимости от соотношения мономеров (при 50°С и 2 ч синтеза).

Оба ряда сополимеров показывают характерную зависимость вязкости с наличием максимума, типичную для полимеров с ионизируемыми группами. Для системы ААМ-АК наблюдается рост относительной вязкости от 1,35 (0 %

кислоты) до максимума 1,95 при 33 мол. % АК, после чего она снижается до 1,6 при 50 %. Увеличение вязкости связано с ростом зарядовой плотности и электростатическим растяжением цепей, что повышает их гидродинамический объём. При дальнейшем увеличении доли кислоты ионная сила возрастает, заряды частично экранируются, и цепи начинают сворачиваться, снижая вязкость.

Для системы ААМ-МАК наблюдается сходная тенденция, но значения вязкости ниже. Максимум (1,61 при 33 мол. % МАК) выражен слабее и смещён к меньшим значениям. Это объясняется большей жёсткостью цепей из-за метильной группы в α-положении у МАК и меньшей степенью ионизации её карбоксильных групп. Метакрилатные звенья повышают гидрофобность, что способствует частичному сворачиванию цепей и уменьшению гидродинамического объёма.

При исследовании влияния ионной силы (фон 0,50 М $NaNO_3$) вязкость растворов заметно снижается из-за экранирования зарядов. Для ААМ-АК в диапазоне 0-50 мол. % кислотных звеньев $\eta_{отн}$ изменяется от 1,20 до 1,24 при 23 % и далее снижается до 1,19. Для ААМ-МАК при тех же условиях наблюдается более устойчивый «плато-максимум»: от 1,20 (0 %) до 1,26 (23 %) и 1,29 (33 %), затем уменьшение до 1,18 при 50 %. В области 23-41 мол. % вязкость ААМ-МАК на 0,02-0,08 выше, чем у ААМ-АК, что указывает на лучшую устойчивость к солевому коллапсу.

Выбранные составы (0-50 мол. % кислоты) охватывают диапазон от чистого полиакриламида до высокоанионных сополимеров. В солёной среде максимум у ААМ-АК сглаживается, а у ААМ-МАК сохраняется и смещается к 30-35 %. Метильная группа придаёт цепям дополнительную жёсткость и умеренную гидрофобность, снижая степень сворачивания за счёт электростатических и гидрофобных взаимодействий. В результате сополимеры ААМ-МАК сохраняют более стабильную вязкость при высокой минерализации и предпочтительны для использования в системах с повышенной солевой нагрузкой.

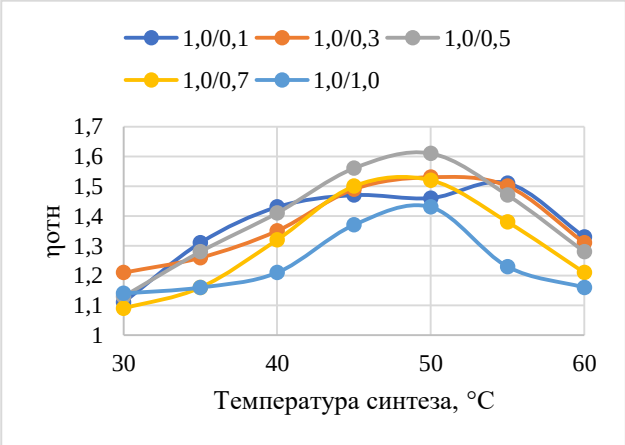


Рис. 3. Изменение вязкости 0,1 г/л растворов сополимеров в зависимости от температуры сополимеризации (продолжительность синтеза 2 ч).

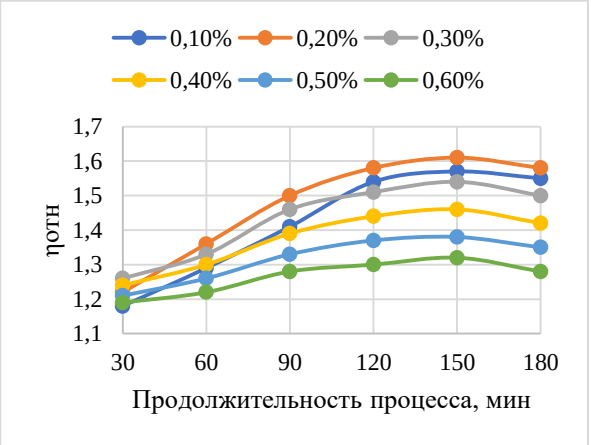


Рис. 4. Зависимость относительной вязкости растворов сополимеров ААМ-МАК (1,0/0,5; 50 °С) от продолжительности синтеза и концентрации инициатора.

Исследовано влияние температуры синтеза на вязкость сополимеров ААМ-МАК (рис. 3). При фиксированной продолжительности реакции (2 ч) и концентрации 0,1 г/л во всех сериях наблюдается экстремальная зависимость. В интервале 30-45 °С вязкость возрастает за счёт увеличения степени полимеризации и удлинения цепей. При низких температурах (≤35 °С) скорость реакции мала, образуются короткие цепи (ηотн = 1,2-1,3). Максимум (ηотн = 1,47-1,61) достигается при 45-50 °С, затем при Т > 50 °С начинается разложение инициатора и обрыв цепей, что снижает вязкость. Наибольшие значения ηотн отмечаются при ААМ/МАК = 1,0/0,5 (≈ 33 мол. %), где достигается оптимальный баланс гидрофильных и гидрофобных звеньев, обеспечивающий растянутую конформацию макромолекул. При увеличении содержания кислоты до 0,7-1,0 вязкость падает из-за усиления межцепных ассоциаций и сворачивания цепей. Оптимальная температура синтеза — 45-50 °С, при которой формируются сополимеры с наибольшей молекулярной массой и благоприятной структурой.

Дальнейшие эксперименты (рис. 4) показали, что вязкость также зависит от продолжительности реакции и концентрации инициатора. При времени до 90 мин вязкость растёт, достигая максимума при 120-150 мин, затем снижается из-за обрыва цепей и термодеструкции. При низкой концентрации инициатора (0,1-0,2 %) образуются длинные цепи и высокая вязкость; при увеличении дозы до 0,3-0,6 % возрастает частота обрыва и снижается молекулярная масса.

Оптимальные условия синтеза ААМ/МАК = 1,0/0,5, Т = 50 °С, инициатор 0,2 % и время 150 мин. При этих параметрах достигается максимальная ηотн = 1,61, что соответствует формированию высокомолекулярных сополимеров с благоприятной конформацией цепей и высокой флокуляционной активностью.

Таблица 1.

Выход полимера (%) в зависимости от продолжительности и концентрации инициатора

Т*, мин	Расход инициатора, %					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
30	35	42	55	60	62	70
60	48	58	70	76	78	82
90	60	69	80	85	86	88
120	71	79	88	92	92	90
150	78	88	91	94	93	91
180	82	90	93	95	94	92

**-продолжительность синтеза, мин*

Табл. 1 показывает ожидаемую для радикальной сополимеризации картину: выход растёт и с увеличением времени, и с ростом расхода инициатора. Уже на 30-90 мин более высокие дозы инициатора дают заметно больший выход, потому что в системе образуется больше активных центров и мономер быстрее превращается в полимер. К 150-180 мин все серии

приближаются к высоким конверсиям, а максимальные значения выхода достигаются при 0,3-0,6 % инициатора (до 93-95 %). Молекулярно-массовое распределение определяли методом гель-проникающей хроматографии (ГПХ) на приборе Agilent 1260 Infinity с детектором дифференциального преломления.

Таблица 2.

Молекулярная масса сополимеров ААМ-МАК при разных составах

Соотношение ААМ/МАК	МАК, мол. %	[η], дЛ/г	K (×10⁻⁴)	a	Mw, 10⁶ г/моль
1,0/0	0	5,5	6,31	0,661	0,93
1,0/0,1	9	5,8	6,03	0,665	0,98
1,0/0,3	23	6,2	5,63	0,674	0,99
1,0/0,5	33	6,8	5,35	0,680	1,09
1,0/0,7	41	6,0	5,17	0,685	0,85
1,0/1,0	50	5,6	4,92	0,691	0,76

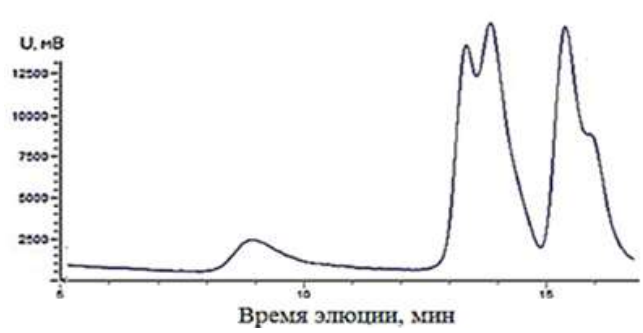
Молекулярная масса сополимеров ААМ-МАК возрастает при увеличении содержания МАК до 33 мол. %, достигая максимума при ААМ/МАК = 1,0/0,5, что связано с ионизацией и развертыванием цепей. При дальнейшем росте доли МАК (41-50 мол. %) масса снижается из-за жесткости цепей, гидрофобных взаимодействий и обрыва макромолекул. При 30-50 °С молекулярная масса сополимера ААМ-МАК увеличивается с $0{,}70 \cdot 10^6$ до $1{,}10 \cdot 10^6$ г/моль за счёт роста степени превращения и удлинения цепей. Выше 50 °С Mw снижается до $0{,}80 \cdot 10^6$ г/моль при 60 °С из-за ускоренного разложения инициатора и обрыва цепей. Максимум (45-50 °С) совпадает с максимумом вязкости и отражает оптимальный баланс между ростом и обрывом макромолекул. Для синтеза флокулянтов оптимальна температура 45-50 °С.

Таблица 3.

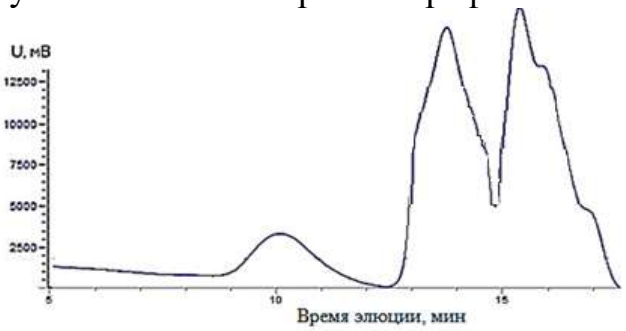
Изменения средней молекулярной массы сополимера ААМ-МАК (ААМ/МАК=1,0/0,5), синтезированного при продолжительности 2,5 ч и расходе инициатора 0,2%

Температура, °С	30	35	40	45	50	55	60
Mw, $\times 10^6$	0,7	0,84	0,93	0,99	1,10	0,92	0,8

Далее приведены хроматограммы, полученных на гель хроматографе.



1)



2)

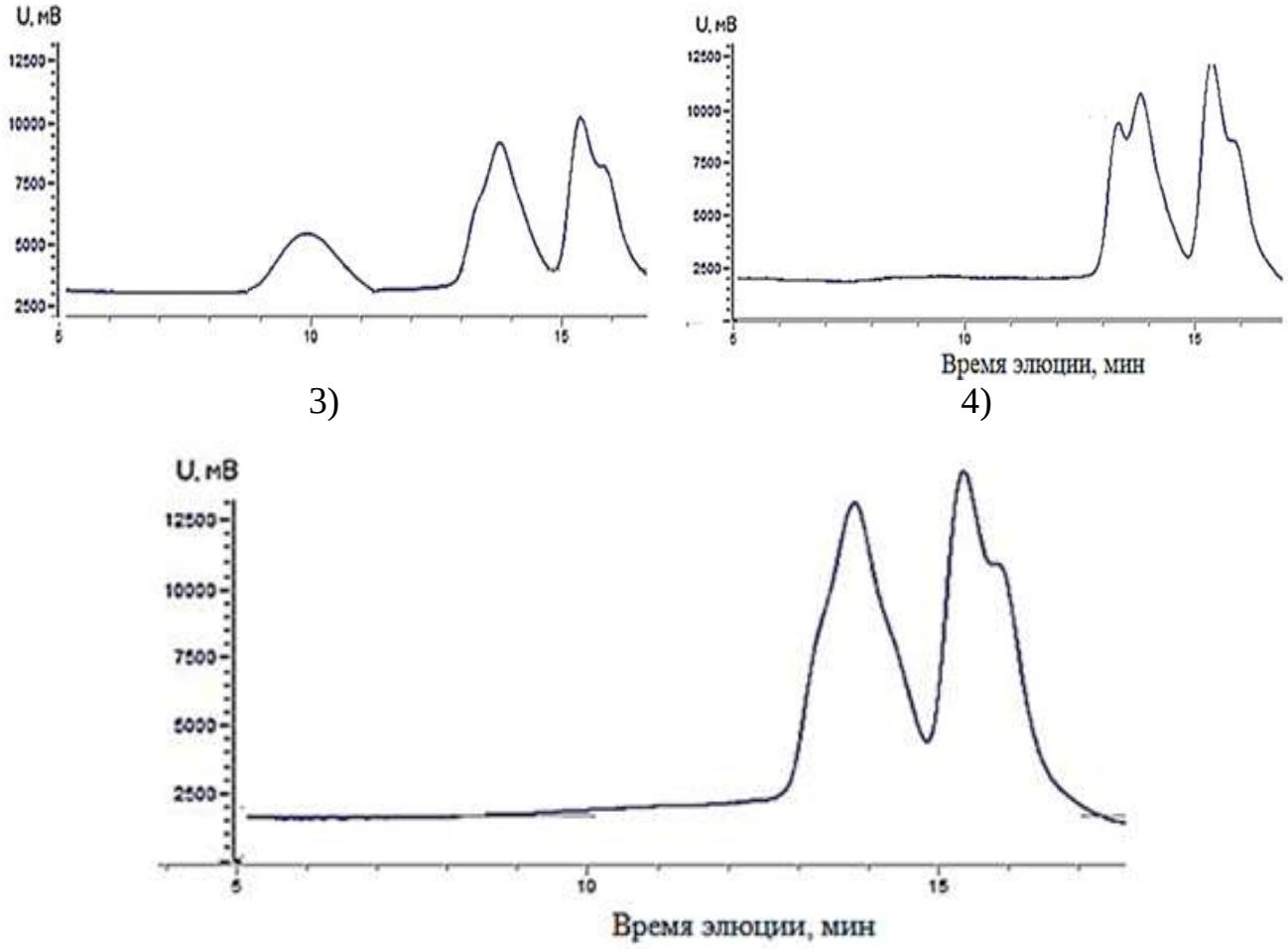


Рис. 5. Хроматограммы, образцов ААМ-МАК, синтезированных при разных мольных соотношениях (50°С, Т=2,5 ч, расход инициатора 0,2%): 1) 1,0/0,1; 2) 1,0/0,3; 3) 1,0/0,5; 4) 1,0/0,7; 5) 1,0/1,0.

Таблица 4.

Показатель полидисперсности (Mw/Mn) для сополимеров ААМ-МАК (50 °С, 2,5 ч, инициатор 0,2 %)

Соотношение ААМ/МАК	МАК, мол.%	Mw/Mn
1,0/0,1	9	2,1
1,0/0,3	23	2
1,0/0,5	33	1,9
1,0/0,7	41	2,3
1,0/1,0	50	2,6

При увеличении содержания МАК от 9 до 33 мол.% доля высокомолекулярных фракций возрастает с 55 до 60 %, что указывает на формирование более длинных и однородных цепей. При 33 мол.% наблюдается минимальный показатель полидисперсности (PDI = 1,9), отражающий равномерное распределение масс. При дальнейшем росте МАК до 41-50 мол.% доля длинных цепей снижается до 35-45 %, увеличивается количество коротких фракций, а PDI возрастает до 2,3-2,6. Это связано с повышением жёсткости цепей, внутримолекулярными переносами и обрывом, приводящими к менее однородной структуре. Оптимальная структурная однородность достигается при 33 мол.% МАК.

Таблица 5.

Структурная формула синтезированных сополимеров (50°С, Т=2,5 ч) и степень их полимеризации

Соотношение ААМ/МАК	Структурная формула полимера	Степень полимеризации, n
1,0/0,0	-(CH_2-$CH(CONH_2)$)-	13098,6
1,0/0,1	-(CH_2-$C(CH_3)(COOH)$)-(CH_2-$CH(CONH_2)$)$_{10,274}$-	13750,5
1,0/0,3	-(CH_2-$C(CH_3)(COOH)$)-(CH_2-$CH(CONH_2)$)$_{3,514}$-	13815,2
1,0/0,5	-(CH_2-$C(CH_3)(COOH)$)-(CH_2-$CH(CONH_2)$)$_{2,197}$-	15151,5
1,0/0,7	-(CH_2-$C(CH_3)(COOH)$)-(CH_2-$CH(CONH_2)$)$_{1,605}$-	11781,0
1,0/1,0	-(CH_2-$C(CH_3)(COOH)$)-(CH_2-$CH(CONH_2)$)$_{1,168}$-	10500,1

Данные табл. 5 показывают взаимосвязь между составом сополимеров ААМ и МАК, их структурными характеристиками и степенью полимеризации, что позволяет глубже оценить влияние соотношения мономеров на формирование макромолекулярной структуры.

Третьяя глава «**Флокуляционная активность синтезированных сополимеров в модельных системах**» посвящена комплексному исследованию флокуляционной активности синтезированных сополимеров ААМ и МАК в модельных системах, имитирующих различные типы загрязнений природных и сточных вод.

В качестве твёрдой фазы использовали каолин (р.а., ≤2 % примесей) с отрицательным ζ-потенциалом. Порошок просеивали через сито 63 мкм, суспензии (5 г/л) готовили в деионизованной воде (18,2 МОм·см) с ультразвуковой обработкой 10 мин (40 кГц). Фоновые электролиты: NaCl (1-100 мМ) имитация одновалентных катионов; $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (0,5-10 мМ) и $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (0,1-2,0 мМ) источники двухвалентных катионов. Растворы готовили на деионизованной воде и использовали в течение 2 ч. Органические загрязнители моделировали эмульсиями н-гексадекана и толуола (80:20, 0,5-1 % объёмн.) и растворами анионного ПАВ — додецилсульфата натрия (SDS, ≥99 %). Концентрации SDS составляли 0,5×ККМ, 1×ККМ и 3×ККМ (ККМ = 8,2 мМ при 25 °С). Растворы выдерживали 12 ч при 25 ± 0,5 °С, pH = 6,5-7,0, электропроводность ≤ 2 мкСм/см.

Экспериментальные данные (рис. 6) показывают типичную экстремальную зависимость скорости осветления от дозы флокулянта: при увеличении концентрации скорость растёт, достигает максимума (0,15-0,2 мг/л), затем снижается из-за перенасыщения поверхности и стерического экранирования. Наибольшая эффективность наблюдается для сополимера АА/МК = 1/0,5, где оптимально сочетаются гидрофильные и анионные звенья, обеспечивающие формирование межчастичных мостиков. При 1/0,7 активность падает из-за избытка зарядов и отталкивания, при 1/0,3 — из-за недостатка карбоксильных групп. Максимальные скорости осветления (1,8-2,3 усл. ед.) при дозе 0,15-0,2

мг/л сопоставимы с промышленными анионными флокулянтами, что подтверждает высокую эффективность и экономичность сополимеров АА/МК.

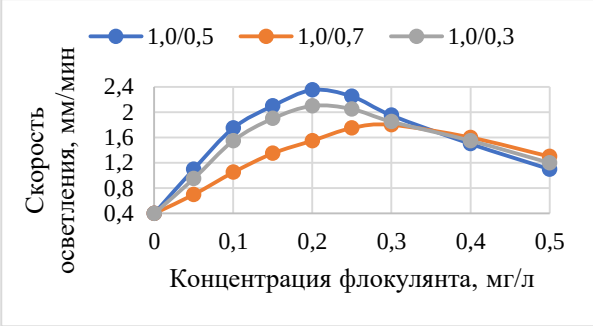


Рис. 6. Зависимость скорости осветления суспензии каолина от концентрации флокулянта ААМ-МАК.

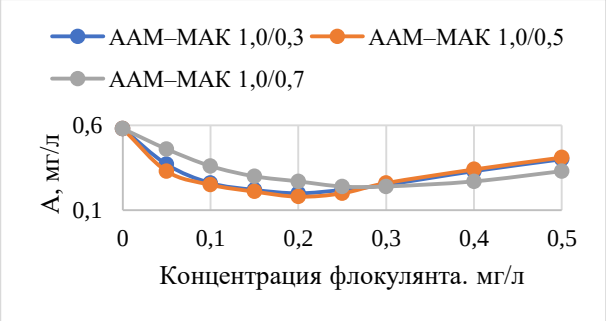


Рис. 7. Остаточная мутность (А, мг/л) в зависимости от концентрации флокулянта.

По данным рис. 7, зависимость остаточной мутности A_{540} также экстремальна: минимальные значения (0,18-0,2 мг/л) достигаются при АА/МК = 1/0,5. При 1/0,3 эффективность несколько ниже, при 1/0,7 выше мутность из-за избыточной гидрофильности. При дозах >0,25 мг/л наблюдается рестабилизация вследствие покрытия частиц избытком полимера.

Электролиты существенно влияют на флокуляционную активность сополимера ААМ-МАК 1/0,5. При низких концентрациях (0,001-0,01 М) эффективность возрастает за счёт экранирования зарядов и снижения ζ-потенциала, что облегчает агрегацию частиц. Максимум (2,6 см/мин; 93 %) достигается при 0,005 М $CaCl_2$. Наиболее сильное действие оказывает Ca^{2+} благодаря способности образовывать координационные связи с карбоксильными группами; Mg^{2+} действует слабее из-за большей гидратации, а Na^+ лишь частично экранирует заряды.

При повышении концентрации электролитов до 0,05-0,1 М активность снижается из-за сжатия макромолекул и рестабилизации частиц. Оптимальный диапазон 0,001-0,01 М; эффективность солей возрастает в ряду NaCl < $MgCl_2$ < $CaCl_2$. Умеренные количества Ca^{2+} и Mg^{2+} усиливают агрегацию за счёт экранирования и координационного связывания с полимером.

Таблица 6.

Влияние концентрации электролитов на флокуляционную активность (доза флокулянта 0,25 мг/л, система ААМ-МАК 1/0,5)

Концентрация электролита, М	NaCl			$CaCl_2$			$MgCl_2$		
	СО, см/мин	А, мг/л	СУ, %	СО, см/мин	А, мг/л	СУ, %	СО, см/мин	А, мг/л	СУ, %
0	2,05	0,20	86	2,05	0,20	86	2,05	0,20	86
0,001	2,25	0,18	89	2,4	0,16	91	2,35	0,17	90
0,005	2,35	0,16	91	2,65	0,14	93	2,55	0,15	92
0,01	2,2	0,17	90	2,55	0,15	92	2,45	0,16	91
0,05	1,85	0,22	85	2,12	0,18	88	2,01	0,19	87
0,1	1,60	0,26	81	1,85	0,22	84	1,8	0,23	83

СО - скорость осветления; СУ - степень удаления взвешенных веществ.

Таблица 7.

Остаточная мутность А (мг/л) при 10-мин контакте в зависимости от концентрации флокулянта (эмульсия нефть + ПАВ)

С, мг/л	ААМ-МАК 1/0,3	ААМ-МАК 1/0,5	ААМ-МАК 1/0,7
0	0,72	0,72	0,72
0,05	0,62	0,58	0,66
0,1	0,52	0,44	0,57
0,15	0,45	0,36	0,51
0,2	0,41	0,32	0,49
0,25	0,4	0,28	0,47
0,3	0,42	0,29	0,46
0,4	0,47	0,31	0,46
0,5	0,51	0,34	0,48

При наличии ПАВ минимумы мутности смещаются к большим дозам флокулянта (0,25-0,30 мг/л), а значения А повышаются. Это связано с формированием электро-стерического барьера, конкуренцией ПАВ с полимером за адсорбцию и образованием растворимых комплексов. Анионные ПАВ усиливают электростатическое отталкивание, неионные стерическую стабилизацию, что снижает эффективность флокуляции.

Сополимер ААМ-МАК 1/0,5 сохраняет наилучший эффект (минимум ≈ 0,28 мг/л) благодаря оптимальному балансу анионности и гидрофобности, позволяющему частично вытеснять ПАВ с интерфейса. При 1/0,3 зарядности недостаточно для дестабилизации, при 1/0,7 избыток зарядов вызывает отталкивание и повышает мутность. Таким образом, в присутствии ПАВ оптимален среднеанионный флокулянт ААМ-МАК 1/0,5.

В четвертой главе «**Применение синтезированных сополимеров для флокуляционной очистки сточных вод туракорганской ТЭС»** приведены результаты экспериментальных исследований по установлению флокуляционной очистки реальных сточных вод.

Объектом исследования являлись четыре типа вод, формируемые в процессе водопользования Туракурганской ТЭС и гидравлически связанные с Большим Наманганским каналом.

Таблица 8.

Интегральные органические показатели (летний период, август 2025)

Поток	ООУ, мг С/л	ХПК, мг O_2/л
Канал (подпитка)	7,8	28
Техническая вода (после коагуляции/флокуляции, фильтрации)	5	18
Циркуляционная вода (после градирни)	12	55
Очищенный выпуск (сброс)	8,5	36

Таблица 9.

Интегральные органические показатели (зимний период, февраль 2025)

Поток	ООУ, мг С/л	ХПК, мг O_2/л
Канал (подпитка)	9,2	34
Техническая вода (после коагуляции/флокуляции, фильтрации)	6,2	24
Циркуляционная вода (после градирни)	15,5	72
Очищенный выпуск (сброс)	10,8	45

Уровень органической нагрузки зависит от стадии водопользования. Вода канала содержит умеренное количество органики (ООУ 9,2 мг С/л, ХПК 34 мг O_2/л). После коагуляции и фильтрации показатели снижаются до 6,2 и 24 мг/л, что подтверждает эффективность реагентной очистки.

В циркуляционной воде содержание органики максимальное (ООУ 15,5 мг С/л, ХПК 72 мг O_2/л) из-за испарительного сгущения и поступления нефтепродуктов. После локальной очистки значения снижаются до 10,8 и 45 мг/л, обеспечивая 30-40 % удаление органических веществ и соответствие нормативам для сточных вод ТЭС.

Таблица 10.

Зависимость эффективности осветления от дозы флокулянта (исходный образец: мутность 3,5 NTU; ХПК 45 мг O_2/л; ООУ 10,8 мг С/л)

Доза, мг/л	Мутн. после, NTU	Степень осветления, %	Остаточный ХПК, мг O_2/л	Остаточный ООУ, мг С/л	Примечание (тип флокулянта)
0	3,5	0	45	10,8	-
0,1	2,5	28,6	39	9,8	ААМ-МАК 1/0,3
0,15	2	42,9	36	9,2	ААМ-МАК 1/0,3
0,2	1,7	51,4	34	8,9	ААМ-МАК 1/0,3
0,25	1,6	54,3	33	8,7	ААМ-МАК 1/0,3
0,3	1,7	51,4	34	8,9	ААМ-МАК 1/0,3
0,1	2,2	37,1	38	9,6	ААМ-МАК 1/0,5
0,15	1,6	54,3	34	8,8	ААМ-МАК 1/0,5
0,2	1,3	62,9	31	8,2	ААМ-МАК 1/0,5
0,25	1,2	65,7	30	8	ААМ-МАК 1/0,5
0,3	1,3	62,9	31	8,2	ААМ-МАК 1/0,5
0,1	2,8	20	41	10	ААМ-МАК 1/0,7
0,15	2,3	34,3	38	9,5	ААМ-МАК 1/0,7
0,2	2	42,9	36	9,2	ААМ-МАК 1/0,7
0,25	1,8	48,6	35	9	ААМ-МАК 1/0,7
0,3	1,9	45,7	36	9,2	ААМ-МАК 1/0,7
0,1	2,3	34,3	37	9,4	PAAM
0,15	1,7	51,4	34	8,9	PAAM
0,2	1,4	60	32	8,5	PAAM
0,25	1,3	62,9	32	8,4	PAAM
0,3	1,4	60	33	8,6	PAAM

Эффективность флокуляции сточных вод Туракурганской ТЭС зависит от дозы и анионности флокулянта. Для всех образцов наблюдается экстремальная зависимость: при увеличении дозы мутность снижается до минимума, затем стабилизируется из-за рестабилизации.

Наилучшие результаты показал сополимер ААМ-МАК 1/0,5 при дозе 0,20-0,25 мг/л: мутность 1,2 NTU, степень осветления 65,7 %, ХПК 30 мг O_2/л, ООС 8,0 мг С/л. Для 1/0,3 эффективность ниже (мутность 1,6 NTU, ХПК 33 мг O_2/л) из-за слабой анионности; для 1/0,7 (мутность 1,8 NTU, ХПК 35 мг O_2/л) из-за избытка зарядов и гидратации.

Промышленный флокулянт ПАА-ГС обеспечивает близкое осветление (1,3 NTU), но хуже снижает органику (ХПК 32 мг O_2/л), что подтверждает преимущество ААМ-МАК 1/0,5 по адсорбционно-гидрофобным свойствам.

Таблица 11.

Сравнение эффективности флокулянтов (исходно: мутность 3,5 NTU; ХПК 45 мг O_2/л; ООУ 10,8 мг С/л)

Флокулянт	Оптимальная доза, мг/л	Мутность после, NTU	Степень осветления, %	Снижение ХПК, %	Снижение ООУ, %
ААМ-МАК 1/0,5	0,25	1,2	65,7	33,3	25,9
РААМ	0,25	1,3	62,9	28,9	22,2
ААМ-МАК 1/0,3	0,25	1,6	54,3	26,7	19,4
ААМ-МАК 1/0,7	0,25	1,8	48,6	22,2	16,7

Сравнительные испытания (табл. 11) показали, что флокулянт ААМ-МАК 1/0,5 обладает наибольшей эффективностью: осветление 65,7 %, снижение ХПК на 33 % и ООУ на 26 %. Промышленный РААМ уступает по органической очистке, а сополимеры 1/0,3 и 1/0,7 менее эффективны из-за недостаточной либо избыточной анионности. Оптимальная средняя анионность обеспечивает баланс между электростатическими и адсорбционно-мостиковыми взаимодействиями и определяет наилучшие флокуляционные свойства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определено, что сополимеры акриламида и метакриловой кислоты, синтезированные при оптимальных условиях: ААМ/МАК = 1/0,5; 50 °С; 0,2 % инициатора; 150 мин, обладают наибольшей молекулярной массой ($M_w \approx 1{,}1 \times 10^6$ г/моль) и высокой характеристической вязкостью, отражающей удлинённую конформацию цепей. В области 30-35 мол. % МАК достигается оптимальный баланс гидрофильных и гидрофобных фрагментов, обеспечивающий устойчивость макромолекул к сжатию в солевых средах и сохранение растворимости. Эти особенности придают сополимерам структурную стабильность и повышенный потенциал флокуляционной активности в минерализованных и органосодержащих водных системах.

2. Установлено, что с ростом содержания метакриловой кислоты в составе сополимеров от 0 до 50 мол.% кислотное число увеличивается до 356,9 мг

KOH/г, а массовая доля азота снижается с 19,71 до 10,42 %, что подтверждает последовательное включение карбоксильных звеньев в макромолекулу. Средняя молекулярная масса изменяется от $0{,}93\times10^6$ г/моль (ААМ/МАК = 1/0) до $1{,}09\times10^6$ г/моль (ААМ/МАК = 1/0,5), после чего при дальнейшем увеличении доли кислоты снижается до $0{,}76\times10^6$ г/моль (ААМ/МАК = 1/1,0). Степень полимеризации при этом возрастает от 13 098 до 15 151 и далее уменьшается до 10 500, что указывает на формирование наиболее длинных и равномерных цепей при содержании ≈33 мол.% МАК.

3. Оптимальные результаты показал флокулянт ААМ-МАК 1/0,5 при дозе 0,15-0,20 мг/л, при которой мутность минеральной суспензии снижалась до 0,18 мг/л за 20 минут. Высокая эффективность связана с молекулярной массой $1{,}09\times10^6$ г/моль и низкой полидисперсностью Mw/Mn = 1,9, обеспечивающими активное мостикообразование между частицами. При составе 1/0,3 эффективность ниже из-за недостаточной зарядовой плотности, а при 1/0,7 снижается вследствие избыточной анионности макромолекул. Наиболее устойчивое и быстрое осветление минеральных дисперсий наблюдается при соотношении ААМ/МАК = 1/0,5, что подтверждает оптимальный баланс структуры и флокуляционной активности.

4. Флокулянт ААМ-МАК 1/0,5 проявил наибольшую активность в присутствии электролитов при оптимальной концентрации $CaCl_2$ 0,005 М, где скорость осветления достигала 2,65 см/мин, а степень удаления взвешенных веществ составляла 93 %. При тех же условиях NaCl обеспечивал лишь 91 %, а $MgCl_2$ 92 %. Увеличение концентрации электролитов выше 0,01 М снижало эффективность до 81-84 % из-за сжатия макромолекулярных клубков и рестабилизации системы. Оптимальный диапазон ионной силы 0,001-0,01 М обеспечивает усиление агрегации без потери активности. Эффективность электролитов возрастает в ряду $Na^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+}$, что связано с координационным связыванием двухвалентных катионов с карбоксильными группами сополимера и дополнительным «сшиванием» частиц, повышающим прочность флокул и степень осветления.

5. Установлено сезонное и технологическое расслоение качества воды по потокам ТЭС: подпитка из канала умеренно минерализована (pH 7,9-8,3; к 0,48-0,73 мСм/см; Ca 48-64 мг/л), тогда как в оборотной воде после градирни показатели сгущаются в ~2,5-2,8 раза (к 1,21-1,56 мСм/см; Ca 124-162 мг/л; Жобщ 9,4-12,0 мг·экв/л; pH 8,5-8,8), что подтверждает цикл концентрации 2,5-2,8 и повышенные риски накипеобразования.

6. Показано, что реагентная предварительная очистка стабильно снижает коллоидную фазу (мутность канала от 11-13 до 2,7-4,7 NTU; взвешенные вещества от 23 до 1 мг/л летом), тогда как органическая нагрузка и электролиты накапливаются в оборотном контуре (лето: ООУ 12-15,5 мг С/л, ХПК 55-72 мг O_2/л зимой выше), что обосновывает последующие испытания флокулянтов для целевого удаления взвесей, нефтепродуктов/ПАВ и части растворённой органики.

SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREE DSc.03/2025.27.12.K/T.15.08 NAMANGAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY

NAMANGAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ABDUQODIROV ELYORJON

SYNTHESIS AND STUDY OF FLOCCULANTS BASED ON ACRYLAMIDE-METHACRYLIC ACID COPOLYMER FOR AQUEOUS MEDIA PURIFICATION

02.00.11 - Colloidal and membrane chemistry

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

Namangan - 2026

The dissertation topic for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Chemical Sciences was registered with the Supreme Attestation Commission under the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan under the number B2025.4.PhD/K1093.

The dissertation was completed at the Namangan state technical university.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English) is posted on the website of the Scientific Council (www.namdtu.uz) and the Information and Educational Portal "ZiyoNet" (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Mallaboyev Odiljon**
Doctor of Philosophy (PhD) in Chemistry, dotsent

Official opponents: **Eshmetov Izzat**
Doctor of Technical Sciences, professor

Bakhronov Khayot
Doctor of Chemical Sciences, professor

Leading organization: **Kokand State University**

The defense of the dissertation will be held at the meeting of the Scientific Council DSc.03/2025.27.12.K/T.15.08 at the Namangan State Technical University on "28" November 2026 at 1 hours. (Address: 160115, Namangan city, Kasansay street, 7. Phone: (69) 234-14-85; fax: (69) 228-14-85 mail: info@namdtu.uz), Namangan State Technical University, 3rd building, 1st floor, room 303, scientific council room).

The dissertation is available for review at the Information Resource Center of Namangan State Technical University (registered under No. 256).(Address: 12 I. Karimov Street, Yangi Namangan District, Namangan city, Uzbekistan. Tel.: (+998 69) 234-14-30.)

The abstract of the dissertation was sent out «10» november 2026.
(register of the mailing protocol No.24 of «10» november 2026).

O.K. Ergashev
Chairman of Scientific council on awarding of scientific degree doctor of chemical sciences, prof.

M.F. Meliboyev
Scientific secretary of Scientific council on award of scientific degree, doctor of technical sciences, associate prof.

D.Sh. Sherkuziyev
Chairman of scientific seminar at scientific council on awarding of scientific degree, doctor of technical sciences, prof.

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is to synthesize flocculants based on the acrylamide and methacrylic acid copolymer for cleaning aqueous media and to determine the physicochemical and technological properties of the obtained flocculants.

The subject of the research is the patterns of formation of the structure and composition of AAM-MAC copolymers, the influence of their molecular characteristics and anionicity degree on flocculation activity, the mechanisms of flocculation of mineral and organic dispersions, as well as the processes of clarification and removal of organic and mineral pollutants from natural and wastewater of various mineralization.

The scientific novelty of the research is as follows:

It has been established that the application of the AAM-MAK 1/0.5 sopolimer at a dose of 0.25 mg/l reduces turbidity from 3.5 to 1.2 NTU, CPK from 45 to 30 mg O2/l, and total organic carbon (TOC) from 10.8 to 8.0 mg C/l due to its high molecular weight (Mu ≈ 1.09·106 g/mol) and narrow polydispersity (Mu/Mn ≈ 1.9).

it has been established that the optimal range of ionic force for flocculation is 0.001-0.01 M, and the maximum effect (settling rate up to 2.65 cm/min, degree of suspension particle removal 93%) is achieved at a CaCl2 concentration of 0.005 M;

It has been proven that when applying the AAM-MAK 1/0.5 sopolimer at an optimal dose of 0.25 mg/l, the settling kinetics reach a stationary state within 15-20 minutes, and the residual turbidity of the 1/0.3 and 1/0.7 monomer ratio sopolimers is 1.55 and 1.75 NTU, respectively, and this difference is related to the equilibrium between the charge density in the polymer chain and the elasticity of the chain;

it was established that the presence of surfactants increases flocculant consumption to 0.25-0.30 mg/l, while in the “oil + surfactant” system for Amin, this indicator increases from 0.21-0.25 mg/l to 0.28-0.31 mg/l without surfactants;

it has been proven that the flocculation treatment of additional (supplementary) water in the AAM-MAK 1/0.5 channel reduces turbidity from 13.4 to 1.9 NTU (-85.8%), suspended matter from 23 to 2.1 mg/l (-90.9%), and also reduces electrical conductivity from 550 to 480 μm/cm (-12.7%) and Ca2+ ions from 48 to 41 mg/l (-14.6%).

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained on the production of flocculants based on acrylamide-methacrylic acid copolymers:

the technology of using flocculants based on acrylamide and methacrylic acid for wastewater and natural water treatment has been included in the “List of promising developments” of JSC “Turakurgan TPP” for practical implementation in 2026-2027 (Certificate of JSC "Thermal Power Plants" dated June 3, 2025, No. 38). As a result, the flocculant AAM-MAK=1/0.5 at a flow rate of 0.20-0.25 mg/l reduces water turbidity to 65.7%, XPK to 33%, and total organic carbon content to 26%;

the technology of flocculation treatment of wastewater is also included in the “List of promising developments” of JSC “Turakurgan TPP” for implementation in practice in 2026-2027 (Certificate of JSC “Thermal Power Plants” No. 38 dated June 3, 2025). As a result, under conditions of two-stage mixing (300 rpm - 2 minutes, 30 rpm - 10 minutes), for 15-20 minutes, at pH 7.5-8.0 and ion strength 0.01-0.03 M, stable water turbidity is ensured, and effective purification of pollutants is achieved.

The structure and scope of the thesis. The structure of the thesis consists of introduction, 4 chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the thesis is 113 pages.

E’LON QILINGAN ISHLAR Ro‘YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Абдукодиров Э.А., Маллабоев О., Хайитов Б.Тўрақўрғон иссиқлик электр станциясида фойдаланиладиган сувнинг кимёвий таркибини ўзгаришига турли омилларнинг таъсири//ФарПИ ИТЖ, 2023, Т.27, №4
https://fstu.uz/admin/uploads/global/ilmiy_jurnal_2022/2023-%E2%84%962.pdf

2. Абдукодиров Э.А., Хайитов Б.А. Сравнительный анализ летних и зимних показателей воды в системе охлаждения туракурганской тэс //Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2025. 9(138). https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20849

3. Маллабаев О.Т., Абукодиров Э.А., Хайитов Б.А. Флокуляция полиакриламидом в процессах очистки природных и сточных вод: физико-химические аспекты // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2025. 10(139).
https://7universum.com/ru/tech/archive/item/21092

4. Abduqodirov E., Mallaboev O., Kalbaev A., Abdikamalova A., Mamataliyev N. Synthesis and rheological properties of water-soluble acrylamide-methacrylic acid copolymers for high-salinity water systems//Development Of Science 2025 / 11 Issue 11. Volume 7.
https://devos.uz/article.php?id=2700

5. Nazhimova Nursuluu, Seitnazarova Oksana, Mallabayev Odiljon, Abdukodirov Elyor. Study of the chemical and mineralogical composition of thermal power plant wastes // Scientific and Technical Journal of NamIET. 2025. Volume 10, Issue 3.
https://niet.uz/index.php/nj/article/view/882/597

6. Abduqodirov E., Mallaboev O., Abdikamalova A., Kalbaev A., Seytnazarova O. Treatment of oil-surfactant mixed systems using water-soluble acrylamide-methacrylic acid copolymers// Science and Education in Karakalpakstan. 2026 №1/1 ISSN 2181-9203
https://drive.google.com/file/d/1FxLD67fLWOptumvlFgJhh2uGN-eRvIGX/view

II бўлим (II часть; part II)

7. Маллабаев О., Хайитов Б., Абдукодиров Э.А., Туражанова Р. Тўрақўрғон иссиқлик электр станциясининг ёпиқ айланма совутиш тизимларида иссқлик алмашиниш қурилмалари коррозиясини олдини олиш. //“Фан ва ишлаб чиқариш интеграцияллашуви шароитида кимё-технология, кимё ва озиқ-овқат соҳасидаги муаммоларнинг инновацион ечимлари” мавзусидаги халқаро конференсия материаллари тўплами (7 ноябрь 2023 йил). - Наманган, 2023. - Б.394-396

https://new.namdtu.uz/storage/projects/4bbd172e-a839-43fc-a94a-f05dba59e2c5/assets/fan-va-ishlab-chiqarish-integratsiyallashuvi-sharoitida-kimyo-texnologiya-kimyo-va_6RyEzO26.pdf

8. Abdukodirov E.A., Mallabayev O., Xayitov B. Turajanova R. Issiqlik elektr stansiyalarida foydalaniladigan suvlarning kimyoviy tarkibi//“Oziq-ovqat va kimyo sanoatida innovasion texnologiyalarni joriy qilish” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami (2-qism, 2023 yil). - Namangan, 2023.- B.271-274.
https://new.namdtu.uz/storage/projects/4bbd172e-a839-43fc-a94a-f05dba59e2c5/assets/kof-2023-nammti-materiallar-tuplami-2-3-05-2023-2-jild_dkF3BrLy.pdf

9. Abduqodirov E.A. To‘raqo‘rg‘on issiqlik elektr stansiyasida foydalaniladigan suvning kimyoviy tarkibini o‘zgarishiga turli omillarning ta’siri//“Oziq-ovqat va kimyo sanoatida innovasion texnologiyalarni joriy qilish” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to‘plami (2-qism, 2023 yil).). - Namangan, 2023.- B.481-484.
https://new.namdtu.uz/storage/projects/4bbd172e-a839-43fc-a94a-f05dba59e2c5/assets/kof-2023-nammti-materiallar-tuplami-2-3-05-2023-2-jild_dkF3BrLy.pdf

10. Mallabayev O., Xayitov B., Abduqodirov E.A., Issiqlik elektr stansiyalarida foydalaniladigan suvlarning kimyoviy tarkibi //“Tabiiy fanlarning dolzarb masalalari” mavzusidagi IV-xalqaro ilmiy-nazariy anjuman materiallari to‘plami (13 may, 2023 yil). - Nukus, 2023.- B.256-257.
https://ndpi.uz/wp-content/uploads/2023/06/2-%D1%81%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84.13%D0%BC%D0%B0%D0%B9_2023-2.pdf

11. Abduqodirov E.A., Xayitov B., Turajanova R. To‘raqo‘rg‘on issiqlik elektr stansiyasining yopiq aylanma sovutish tizimlarida issqlik almashinish qurilmalari korroziyasini oldini olish//“Globallashuv sharoitida noorganik moddalar va materiallar ishlab chiqarishda innovatsion texnologiyalarni rivojlantirish istiqbollari” respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi maqolalar to‘plami (*9-10 noyabr 2023 yil)* - Toshkent, 2023.- B.239-240.
https://tkti.uz/research/conference/222

12. Абукодиров Э.А., Хайитов Б., Туражанова Р.Тўрақўрғон иссиқлик электр станциясида фойдаланиладиган сувнинг кимёвий таркибини ўзгаришига турли омилларнинг таъсири//"Экономика и социум" №4(107)-1 2023/ URL: https://cyberleninka.ru/article/n/t-ra-r-on-issi-lik-elektr-stantsiyasida-foydalaniladigan-suvning-kimyoviy-tarkibini-zgarishiga-turli-omillarning-tasiri/viewer

13. Э.А.Абукодиров, О.Т.Маллабаев, Б.А.Хайитов. Показатели качества воды, используемой на туракургонской тепловой электростанции в летний сезон//Сборник статей международной научной конференции «Устойчивое производство с использованием современных технологий: инновационные решения в области химии, полиграфии, нефтегазовой отрасли и материаловедения» (29 ноября 2025 г.) - Наманган, 2025. - С. 49-51.

https://new.namdtu.uz/storage/projects/4bbd172e-a839-43fc-a94a-f05dba59e2c5/assets/xalqaro-konferensiya-namdtu-28-29-noyabr-2025-yill_ESSOPwol.pdf

14. Абукодиров Э.А., Валиева Н. Р., Абдуллаева Ф.И. Физико-химические аспекты процессов флотационной очистки природных и сточных вод//"Экономика и социум" №11(138) 2025. https://a78cf8ac-3ef5-4670-8fcd-a900ec94fdfb.filesusr.com/ugd/b06fdc_7c4f60549f2b4d93a1edfef3e0d46be3.pdf?index=true

Avtoreferat Namangan davlat texnika universiteti ilmiy-texnika jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz tillaridagi matnlari mosligi tekshirildi (12.11.2026 y.).

Bosishga ruxsat etildi: 12.11.2026-yil.
Bichimi 60x84 1/16, «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3,0. Adadi: 100. Buyurtma: № 11/36
NamDTU bosmaxonasida chop etildi.
Namangan shahri, Kosonsoy ko‘chasi, 7-uy.