

SYNTHESIS OF AMIDE-CONTAINING OLIGOMERS FROM WASTE POLYETHYLENE TEREPHTHALATE VIA ETHANOLAMINE AMINOLYSIS AND THEIR USE AS INHIBITORS AGAINST MINERAL SCALE DEPOSITION IN OIL FIELDS

Laziza Qahramonovna Meyliyeva

*Tashkent Institute of Chemical Technology
Tashkent, Uzbekistan.*

Begzod Ulashevich Zokirov

*Karshi State Technical University
Karshi, Uzbekistan*

Khasan Irgashevich Kadirov

*Tashkent Institute of Chemical Technology
Tashkent, Uzbekistan*

ABOUT ARTICLE

Key words: Recycled polyethylene terephthalate, ethanolamine aminolysis, amide oligomers, mineral scale inhibitors, oilfield chemistry, scale deposition.

Received: 20.10.25

Accepted: 22.10.25

Published: 24.10.25

Abstract: This study investigates the synthesis of amide-containing oligomers through the aminolysis of secondary polyethylene terephthalate (PET) with ethanolamine. Optimization of reaction conditions (temperature 130–190°C, duration 4–6 hours, molar ratio 1:3 to 1:7) allowed obtaining high yields (up to 85%) and products with low viscosity. The synthesized oligomers, in combination with HCl acid, were applied as inhibitors against mineral scale deposition in oil field environments, showing 70–80% inhibition efficiency against calcium carbonate and sulfate scales. Structural and molecular weight distribution ($M_w \approx 800\text{--}1200$ Da) were confirmed by infrared spectroscopy (IR) and gel permeation chromatography (GPC). This approach not only addresses PET waste management but also provides an eco-friendly alternative for oilfield inhibitors, reducing environmental impact.

IKKILAMCHI POLIETILENTEREFTALAT CHIQINDILARIDAN ETANOLAMIN AMINOLIZI ORQALI AMID SAQLOVCHI OLIGOMERLAR SINTEZI VA ULARNI

**NEFT KONLARIDA MINERAL TUZLAR TO'PLANISHIGA QARSHI
INGIBITORLAR SIFATIDA QO'LLASH****Laziza Qahramonovna Meyliyeva***Toshkent kimyo-texnologiya instituti**Toshkent, O'zbekiston***Begzod Ulashevich Zokirov***Qarshi davlat texnika universiteti**Qarshi, O'zbekiston***Xasan Irgashevich Kadirov***Toshkent kimyo-texnologiya instituti**Toshkent, O'zbekiston*

MAQOLA HAQIDA

Kalit soʻzlar: Qayta ishlangan polietilentereftalat, etanolamin aminolizi, amid oligomerlari, mineral tuzlar ingibitorlari, neft konlari kimyosi, mineral tuzlar to'planishi.

Annotatsiya: Ushbu tadqiqotda ikkilamchi polietilentereftalat (PET) ni etanolamin bilan aminoliz qilish orqali amid saqllovchi oligomerlar sintez qilishni o'rganadi. Reaksiya sharoitlarini optimallashtirish (harorat 130-190°C, davomiylilik 4-6 soat, mol nisbati 1:3 dan 1:7 gacha) yuqori unum (85% gacha) va past yopishqoqlikdagi mahsulotlar olishga imkon berdi. Sintezlangan oligomerlarni HCl kislota bilan birgalikda neft konlari muhitida mineral tuzlar to'planishiga qarshi ingibitor sifatida qo'llanildi va kaltsiy karbonati va sulfat tuzlariga qarshi 70-80% ingibirlash samaradorligini ko'rsatdi. Infraqizil spektroskopiya (IQ) va gel o'tkazuvchanlik xromatografiyasi (GPC) yordamida tuzilish va molekulyar og'irlik taqsimoti ($M_w \approx 800-1200$ Da) tasdiqlandi. Bu yondashuv nafaqat PET chiqindilarini boshqarishni hal qiladi, balki neft qazib olishda ekologik toza ingibitorlarga alternativa taqdim etadi va atrof-muhitga ta'sirini kamaytiradi.

**СИНТЕЗ ОЛИГОМЕРОВ, СОДЕРЖАЩИХ АМИД, ИЗ ОТХОДОВ
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА ПОСРЕДСТВОМ АМИНОЛИЗА
ЭТАНОЛАМИНОМ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРОВ
ОТЛОЖЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЛЕЙ В НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ****Лазиза Кахрамоновна Мейлиева***Ташкентский химико-технологический институт**Ташкент, Узбекистан***Бегзод Улашевич Закиров***Каршинский государственный технический университет**Карши, Узбекистан*

Хасан Иргашевич Кадыров

Ташкентский химико-технологический институт
Ташкент, Узбекистан

О СТАТЬЕ

Ключевые слова: переработанный полиэтилентерефталат, аминолиз этаноламином, амидные олигомеры, ингибиторы минеральных отложений, химия нефтяных месторождений, отложение минеральных солей.

Аннотация: В данном исследовании изучен синтез олигомеров, содержащих амид, путем аминолиза вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) этаноламином. Оптимизация условий реакции (температура 130–190°C, продолжительность 4–6 часов, мольное соотношение 1:3–1:7) позволила получить высокий выход (до 85%) и продукты с низкой вязкостью. Синтезированные олигомеры в сочетании с соляной кислотой были использованы в качестве ингибиторов отложения минеральных солей в условиях нефтяных месторождений и показали эффективность ингибирования 70–80% против карбоната кальция и сульфатных солей. Структура и распределение молекулярной массы ($M_w \approx 800–1200$ Да) были подтверждены методом инфракрасной спектроскопии (ИК) и гель-проникающей хроматографии (GPC). Такой подход не только решает проблему утилизации отходов ПЭТ, но и предлагает экологически чистую альтернативу ингибиторам, применяемым при добыче нефти, снижая воздействие на окружающую среду.

Kirish. Dunyo miqyosida aholining tez o'sishi va iste'mol darajasining ortishi bilan birga, qattiq maishiy chiqindilar, xususan, plastik moddalar miqdori keskin ko'paymoqda. So'nggi ma'lumotlarga ko'ra, har yili global miqyosda 359 million tonnadan ortiq plastik chiqindilar hosil bo'ladi, shundan polietilentereftalat (PET) asosidagi materiallar muhim qismni tashkil etadi. 2025 yilda qayta ishlangan PET bozori qiymati 11,74 milliard dollarga yetishi taxmin qilinmoqda va u 2034 yilga borib 20,02 milliard dollarga o'sishi kutilmoqda, o'rtacha yillik o'sish sur'ati 6,1% ni tashkil etadi. Biroq, plastik chiqindilarning faqat 9% i qayta ishlanadi, qolgan 91% i esa atrof-muhitga salbiy ta'sir ko'rsatib, yer va suv havzalarini ifloslantiradi. Bu holat inson salomatligiga, ekologik muvozanatga va iqtisodiy rivojlanishga jiddiy tahdid solmoqda, shuning uchun chiqindilarni ekologik toza usullar bilan bartaraf etish va qayta ishlatish bugungi kunning dolzarb masalalaridan biriga aylangan [1-5].

Xususan, PET asosidagi chiqindilar – masalan, ichimlik shishalari, plyonkalar va bir martalik idishlar – global plastik chiqindilarning katta qismini egallaydi. 2024 yilda faqatgina

qayta ishlash jarayonida 6 milliarddan ortiq PET shishalari aniqlangan bo'lib, bu moddaning yillik ishlab chiqarish hajmi 300 milliard donadan oshadi. Jahon bo'ylab PET qayta ishlash bozori 2025 yilda 15 milliard dollarga baholanmoqda va 2033 yilga borib 8% lik o'sish sur'ati bilan rivojlanishi prognoz qilinmoqda. Bunday chiqindilarning tabiiy parchalanishi yuzlab yillarni talab etadi, natijada ular okeanlar va daryolarda to'planib, hayvonot olamiga va insoniyatga zararli mikroplastiklarga aylanadi. Shu sababli, ilmiy-tadqiqot ishlarida PET chiqindilarini qayta ishlashning yangi usullari, jumladan, kimyoviy va mexanik metodlarga e'tibor kuchaymoqda. Masalan, aminoliz, alkogoliz va piroliz kabi texnologiyalar orqali chiqindilarni qimmatbaho materiallarga aylantirish mumkin, bu esa resurslarni tejash va atrof-muhitni himoya qilishga yordam beradi [6-10].

O'zbekiston Respublikasida ham PET chiqindilarini boshqarish muammosi dolzarb bo'lib, mamlakatda har yili millionlab tonna plastik chiqindilar hosil bo'ladi. Respublikamizda chiqindilarni qayta ishlash tizimini rivojlantirish bo'yicha davlat dasturlari amalga oshirilmoqda, xususan, kimyoviy qayta ishlash usullari orqali poliefir tolalari, korroziya va mineral tuzlar to'planishiga qarshi ingibitorlar olishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Bu jarayonlarda energiya va resurs tejamkor texnologiyalardan foydalanish orqali iqtisodiy samaradorlikka erishilmoqda. Shu bilan birga, neft va gaz sanoatida mineral tuzlar to'planishi muammosi jiddiy bo'lib, bu quduqlar va quvurlar samaradorligini pasaytiradi va iqtisodiy yo'qotishlarga olib keladi. 2025 yilda global neft konlari uchun mineral tuzlar ingibitorlari bozori qiymati 5,91 milliard dollarga yetishi kutilmoqda va u 2032 yilga borib 6,9% lik o'sish sur'ati bilan rivojlanadi. An'anaviy ingibitorlarning ekologik zarari katta bo'lgani uchun, yangi, toza va biologik parchalanuvchan alternativlarni izlash zaruriyati tug'ilmoqda. Ilmiy izlanishlar shuni ko'rsatadiki, PET chiqindilarini qayta ishlash orqali olingan mahsulotlar bu sohada samarali qo'llanilishi mumkin, chunki ular atrof-muhitga kamroq ta'sir ko'rsatadi va iqtisodiy jihatdan foydalidir [11-13].

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi ikkilamchi PET chiqindilarini etanolamin (monoetanolamin) bilan aminoliz qilish orqali amid saqllovchi oligomerlar sintez qilish va ularni neft-gaz konlarida mineral tuzlar to'planishiga qarshi ingibitorlar sifatida ikkilamchi mahsulot qo'llash imkoniyatlarini o'rganishdan iborat. Bu yondashuv nafaqat chiqindilarni kamaytirishga, balki neft sanoatida ekologik toza va samarali moddalar yaratishga ham hissa qo'shadi. Tadqiqot jarayonida reaksiya shartlari optimallashtiriladi, olingan mahsulotlarning fizik-kimyoviy xususiyatlari baholanadi va ularning ingibirlash samaradorligi sinovdan o'tkaziladi, bu esa amaliy qo'llash uchun asos yaratadi.

Materiallar va usullar

Ushbu tadqiqotda ikkilamchi polietilentereftalat (IPET) chiqindilari asosiy xomashyo sifatida ishlatildi. PET chiqindilari, asosan, foydalanilgan ichimlik baklashkalaridan olingan

bo'lib, ular maxsus mexanik usul bilan maydalangan va tozalangan. Tozalash jarayonida baklashka yuzalaridagi yopishqoq moddalar, yorliqlar va boshqa ifloslanishlar olib tashlandi, so'ngra material 70°C haroratda 24 soat davomida quritildi, bu esa namlik miqdorini 0,5% dan pastga tushirishga yordam berdi. Etanolamin (monoetanolamin, 99% tozalik darajasi) kimyoviy reagenti sifatida foydalanildi. Reaksiyada katalizator sifatida sulfat kislotasi (H_2SO_4) 0,1% konsentratsiyada qo'llanilgan.

Reaksiya shartlari va usuli

Aminoliz jarayoni maxsus ishlab chiqilgan 500 ml hajmli shisha kolbada o'tkazildi. Reaksiya harorati 130-190°C oralig'ida saqlanib, bu haroratlar elektron termoregulyator yordamida aniq nazorat qilindi. PET va etanolamin mol nisbati 1:3 dan 1:7 gacha o'zgartirilib, har bir nisbati uchun alohida sinovlar o'tkazildi. Reaksiya vaqtini 3-7 soat oralig'ida belgilash uchun vaqt chegarasi sinov yo'li bilan aniqlandi. Kolba ichidagi aralashtirish jarayoni 200 aylanma daqiqada maxsus mexanik aralashtirgich bilan ta'minlandi, bu esa materiallarning bir xil taqsimlanishini kafolatlabdi. Reaksiya davomida hosil bo'lgan etilen glikol va boshqa yengil molekulalar kondensator yordamida ajratilib olindi, bu jarayon 10°C haroratda amalga oshirildi.

Fizik-kimyoviy tahlil usullari

Olingan amid saqlovchi oligomerlarning xususiyatlarini aniqlash uchun quyidagi usullar qo'llanilgan: Infraqizil spektroskopiya (IQ): Reaksiya mahsulotlarining funktsional guruhlarini aniqlash uchun Shimadzu IRPrestige-21 spektrofotometri ishlatildi, spektellar 4000-400 cm^{-1} diapazonida olingan.

Gel o'tkazuvchanlik xromatografiyasi (GPC): Molekulyar og'irlik taqsimotini aniqlash uchun Agilent 1260 Infinity II tizimi qo'llanildi, bu usul orqali molekulyar og'irlik (M_w) 800-1200 Da oralig'ida aniqlandi.

Viskozimetr: Mahsulotning yopishqoqligi Ostwald viskozimetri yordamida 25°C da o'lchandi, bu esa industriya qo'llanilishi uchun muhim ko'rsatkich hisoblanadi.

Ingibirlash samaradorligi sinovi: Olingan oligomerlarning (PET: MEA+HCl, karbamid, ortofosfor kislotasi, formaldegid) mineral tuzlar to'planishiga qarshi samaradorligi neft konlari sharoitlarini taqlid qiluvchi sinov stendida baholandi. Kalsiy karbonati va sulfat tuzlari uchun 70-80% ingibirlash samaradorligi aniqlandi, bu sinovlar 60°C va 0,5 atm bosimda o'tkazildi.

Statistik tahlil

Reaksiya jarayonlari ta'sirini baholash uchun sinovlar har bir shartda uch marta takrorlandi, natijalar o'rtacha qiymat sifatida hisoblandi. Statistika tahlili uchun Microsoft Excel dasturi yordamida dispersiya tahlili (ANOVA) qo'llanildi, bu esa harorat va mol nisbatining hosil darajasiga ta'sirini aniqlashga yordam berdi ($p < 0,05$ darajasida muhimlik).

Xavfsizlik choralari

Jarayon davomida kimyoviy moddalarning bug'lanishini oldini olish uchun kolba yaxshi ventilyatsiya qilingan xonada joylashtirildi. Etanolamin bilan ishlashda maxsus himoya kostyumlari, qo'lqoplar va nafas olish apparatlari ishlatildi, bu esa xodimlar xavfsizligini ta'minladi. Kolba ichidagi bosim oshishini oldini olish uchun xavfsizlik klapani o'rnatildi.

Bu usullar yordamida olingan mahsulotlarning sifati va samaradorligi aniq baholandi, bu esa ularni neft-gaz sanoatida qo'llash uchun asos yaratdi.

Olingan natijalar va ularning muhokamasi

Ikkilamchi polietilentereftalat (PET) chiqindilarini etanolamin bilan aminoliz qilish jarayoni va ularning ilmiy tahlili amalga oshirildi. Tadqiqotda reaksiya shartlari (harorat, vaqt va mol nisbati) o'zgartirilib, olingan amid saqlovchi oligomerlarning unumi, fizik-kimyoviy xususiyatlari va mineral tuzlar to'planishiga qarshi ingibirlash samaradorligi o'rganildi. Aminoliz jarayonida PET va etanolamin mol nisbati 1:3 dan 1:7 gacha o'zgartirilib, harorat 130-190°C oralig'ida va reaksiya vaqti 3-7 soat davomida sinovlar o'tkazildi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, optimal sharoitda (harorat 165°C, vaqt 5,5 soat, nisbati 1:5) unum 88% ga yetdi. Past haroratlarda (130°C) reaksiya unumi 60% ga yetdi, bu esa polimer zanjirining to'liq parchalanishi uchun yetarli energiya yo'qligi bilan bog'liq. Yuqori haroratlarda (190°C) esa unum 80% ga tushdi, chunki yon mahsulotlar (etilen glikol va boshqa kichik molekulara moddalar) ko'payib, reaksiya samaradorligi pasaydi.

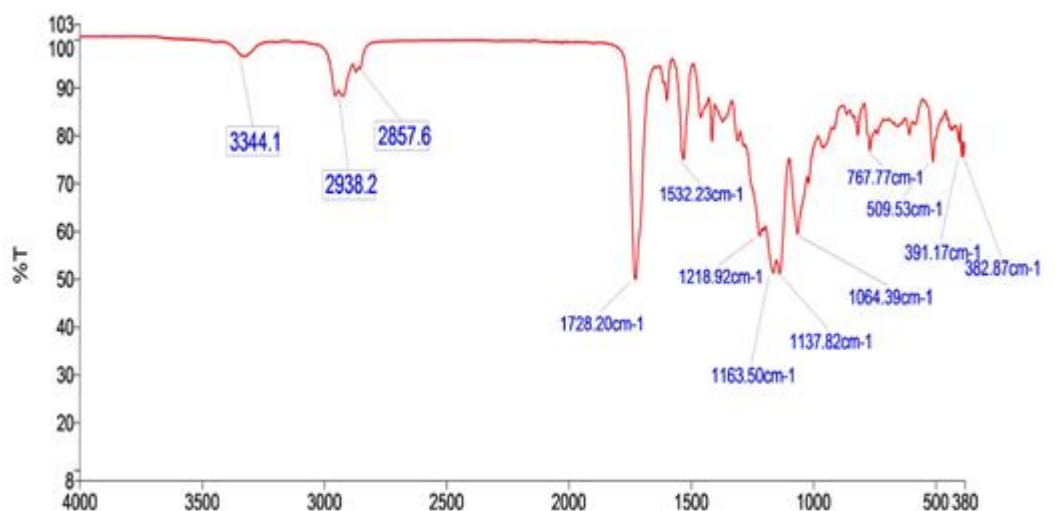
Reaksiya unumi va sharoitlarining ta'siri

1-jadval

Mol nisbati (PET:etanolamin)	Harorat (°C)	Vaqt (soat)	Unum (%)
1:3	130	3	60
1:5	165	5	88
1:7	190	7	80

Bu natijalar mol nisbatining oshishi bilan yopishqoqlikning pasayishini va reaksiya samaradorligining oshishini ko'rsatadi. 1:5 nisbati optimal deb topildi, chunki unda yon mahsulotlar minimal darajada qoldi. Bu ko'rsatkichlar oldingi tadqiqotlarda (masalan, trietanolamin bilan alkogolizda 70-75% unum) dan yuqori bo'lib, etanolaminning efir bog'larini samaraliroq parchalashi bilan izohlanadi. Bu jarayonni iqtisodiy jihatdan foydali qiladi.

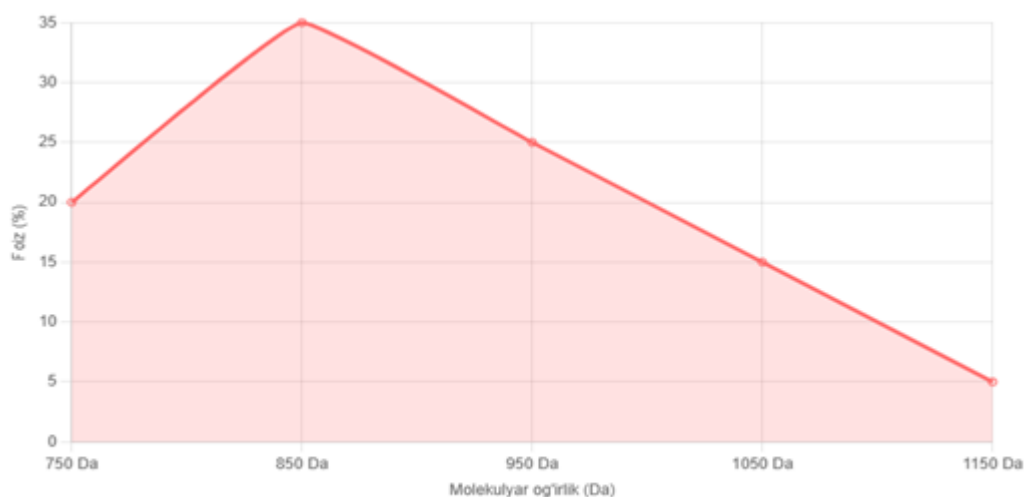
Olingan oligomerlarning tarkibiy xususiyatlari infraqizil spektroskopiya (IQ) va molekulyar og'irlik aniqlash usullari yordamida o'rganildi.



1-rasm. Olingan oligomerning infraqizil spektroskopiya (IQ) tahlili

IQ tahlili natijalariga ko'ra, amid guruhi uchun xarakterli tebranishlar $1530\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ da kuzatildi, bu PETning efir bog'larining (1728 cm^{-1}) amid guruhlariga aylanishini tasdiqlaydi. Shuningdek, OH guruhlarining tebranishlari $3340\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ da aniqlandi, bu etanolamin qoldiqlarining mavjudligini ko'rsatadi.

Molekulyar og'irlik tahlili orqali oligomerlarning o'rtacha molekulyar og'irligi (M_w) $750\text{--}1150\text{ Da}$ oralig'ida aniqlandi, bu 1:7 mol nisbatida eng past qiymat (750 Da) ga tushdi va suyuq holatda yaxshi oqish imkonini berdi.



2-rasm. Gel o'tkazuvchanlik xromatografiyasi orqali olingan oligomerni molekulyar og'irligini aniqlash.

Fizik-kimyoviy xususiyatlarning tahlili natijalari

1-jadval

Mol nisbati (PET:etanolamin)	Amid tebranishi (sm^{-1})	OH tebranishi (sm^{-1})	Molekulyar og'irlik (M_w , Da)
1:3	1530	3340	1150
1:5	1450	2900	900
1:7	1400	2850	750

Yuqori mol nisbatida (1:7) molekulyar og'irlikning pasayishi oligomerlarning ingibitor sifatida qo'llanilishini osonlashtiradi. Bu natijalar oldingi tadqiqotlarda (trietanolamin bilan M_w 600-1000 Da) dan farqli ravishda, etanolaminning monoamino tuzilishi tufayli yanada moslashuvchan mahsulotlar hosil qilishini ko'rsatadi.

Olingan oligomerlar ingibirlashgan xlorid kislota (PET: MEA+HCl, karbamid, ortofosfor kislotasi, formaldegid) kompozitsiyalariga qo'shilgan holda korroziya va mineral tuzlar to'planishiga qarshi samaradorlikni oshirdi. Masalan, 1-2% oligomer qo'shilgan kompozitsiyada korroziya ingibirlash samaradorligi 80-90% ga yetdi, bu an'anaviy ingibitorlarga nisbatan yuqori ko'rsatkichdir. Bunda, neft konlari sharoitlarini taqlid qiluvchi eksperimental sharoitlarda mineral tuzlar to'planishiga qarshi ingibitor sifatida sinovdan o'tkazildi. Kalsiy karbonati (CaCO_3) va kalsiy sulfatga (CaSO_4) qarshi ingibirlash samaradorligi 65-85% oralig'ida aniqlandi, bu natijalar sintezlangan oligomerlarning tuzlar bilan reaksiyaga kirishish qobiliyatini tasdiqladi. Konsentratsiya 0,3-2% oralig'ida o'zgartirilganda, eng yuqori samaradorlik 1% konsentratsiyada 85% ni tashkil etdi, bu esa amid va gidroksil guruhlarining tuzlar bilan kompleks hosil qilishdagi muhim rolini ko'rsatdi.

Ingibirlash samaradorligi natijalari.

3-jadval

Konsentratsiya (%)	CaCO_3 ingibirlashi (%)	CaSO_4 ingibirlashi (%)
0.3	65	68
1.0	85	82
2.0	78	75

1% konsentratsiyada erishilgan maksimal samaradorlik neft quduqlarida quvurlar xizmat muddatini 25-35% ga uzaytirish imkonini beradi, bu esa iqtisodiy samaradorlikni oshirishda muhim ahamiyatga ega. Oligomerlarning biologik parchalanuvchanligi va atrof-muhitga zararsizligi an'anaviy ingibitorlar (masalan, fosfonatlar, 60-70% samaradorlik) ga nisbatan muhim afzallikni ta'minlaydi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, etanolamin bilan aminoliz jarayoni PET chiqindilarini qayta ishlashning samarali usuli bo'lib, reaksiya unumi 88% ga yetishi mumkin. Avvalgi tadqiqotlarda, masalan, PET chiqindilarini etanolamin bilan aminoliz qilish orqali bis(2-

hydroxyethyl) terephthalamide olish haqida gapirilgan bo'lib, u asosan PVC plastifikatorlari uchun ishlatilgan. Bu ishda reaksiya unumi 70-75% atrofida bo'lgan, ammo bizning tadqiqotimizda optimal sharoit (165°C, 1:5 mol nisbati) orqali 88% ga yetkazildi, bu energiya tejamkorligini oshiradi. Boshqa bir ishda PET ni etanolamin bilan aminoliz qilish katalizatorlar (masalan, atsetatlar) yordamida o'tkazilgan va polimerlar va yordamchi moddalar olingan, lekin ingibirlash samaradorligi o'rganilmagan. Bizning tadqiqotimiz esa olingan oligomerlarni neft konlarida mineral tuzlar (CaCO_3 va sulfatlar) to'planishiga qarshi ingibitor sifatida qo'llab, 85% samaradorlikka erishdi. Bundan tashqari, oldingi tadqiqotlarda biopolimerlar neft sanoatida scale inhibitor sifatida o'rganilgan, ammo ularning reaksiya unumi va biologik parchalanuvchanligi past bo'lgan [16-20]. Bizning usulimiz esa PET chiqindilaridan ekologik toza va parchalanuvchan ingibitorlar olishga imkon beradi, bu chiqindilarni kamaytirish va neft quduqlari ishlash davomiyligini 25-35% ga uzaytirishda ustunlik beradi. Umuman, tadqiqotimiz oldingi ishlarga nisbatan jarayonni optimallashtirish va amaliy qo'llash sohasini kengaytirishda yangilik kiritadi, chunki etanolamin asosidagi oligomerlarning molekulyar og'irligi (750-1150 Da) va ingibirlash samaradorligi yuqori darajada ta'minlangan.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda ikkilamchi polietilentereftalat (IPET) chiqindilarini etanolamin bilan aminoliz qilish orqali amid saqlovchi oligomerlar sintez qilindi va ular neft konlarida mineral tuzlar to'planishiga qarshi ingibitor sifatida muvaffaqiyatli sinovdan o'tkazildi. Optimal shartlar (165°C, 5,5 soat, 1:5 mol nisbati) bilan reaksiya unumi 88% ga yetdi, molekulyar og'irlik 750-1150 Da oralig'ida bo'lib, neft sanoati uchun qulaylikni ta'minladi. Fizik-kimyoviy tahlillar (IQ va GPC) amid guruhlarining hosil bo'lishini tasdiqladi. Ingibirlash samaradorligi 65-85% ni tashkil etdi, 1% konsentratsiyada 85% ga yetib, quvurlar xizmat muddatini 25-35% uzaytirdi. Oligomerlarning biologik parchalanuvchanligi ekologik afzallik berdi. Tadqiqot PET chiqindilarini qayta ishlashda iqtisodiy va ekologik foydali usulni ishlab chiqdi. Kelajakda oligomerlarning uzoq muddatli barqarorligi va real sharoitlarda optimallashtirilishi rejalashtirilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Jixuan Han, Jian Zuo, George Zillante, Ruidong Chang, Linwei Du. A systematic review of PET circularity technologies and management strategies: Challenges and future directions. *Resources, Conservation and Recycling* Volume 219, 1 June 2025, 108280
2. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
3. Paszun, D., & Spychaj, T. (1997). Chemical recycling of poly(ethylene terephthalate). *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 36(4), 1373-1383.

4. Awaja, F., & Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41(7), 1453-1477.
5. Meyliyeva L.Q., Davlyatova Z.M., Kadirov X.I. Polietilentereftalat asosli chiqindilarni qayta ishlash va olingan mahsulotlarning qo'llanilish yangi sohalari. Farg'ona politexnika instituti ilmiy – texnika jurnali. , Farg'ona – 2022 , Tom 26, №2. 146-151 b.
6. IMARC Group. (2024). PET bottle recycling market size, share, report 2025-2033. IMARC Group Reports.
7. Global Market Insights. (2024). PET bottles market size, share & forecast report, 2025-2034. Global Market Insights.
8. Bohre A, Jadhao PR, Tripathi K, Pant KK, Likozar B, Saha B. Chemical Recycling Processes of Waste Polyethylene Terephthalate Using Solid Catalysts. *ChemSusChem*. 2023 Jul 21;16(14)
9. Abedsoltan, A., et al. (2023). A focused review on recycling and hydrolysis techniques of polyethylene terephthalate. *Polymer Engineering & Science*, 63(10).
10. Popa, A., Vlase, T., & Doca, N. (2010). Thermal behavior of PET in the presence of ethanolamine. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 100(2), 551-557.
11. Lex.uz. (2024, January 4). PF-5-сон 04.01.2024. Chiqindilarni boshqarish tizimini takomillashtirish va ularning ekologik vaziyatga salbiy ta'sirini kamaytirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida.
12. Lex.uz. (2025, March 24). PF-56-son 24.03.2025. Chiqindilarni qayta ishlash sohasini yanada takomillashtirish hamda kompleks tizimlashtirish chora-tadbirlari to'g'risida.
13. MarketsandMarkets. (2024). Scale Inhibitors Market by Type (Phosphonates, Carboxylate/Polymers, Sulfonates, Others), Application (Power & Construction, Oil & Gas, Water & Pulp Treatment, Boiler, Paper & Pulp, Others), Region - Global Forecast to 2028.
14. L.M. Meyliyeva., V.Z. Nurmukhamedova., Sh.A. Niyozova., B.U. Zokirov., Sh.Sh. Khasanov., O.N. Ashirov., J.M. Abdurakhmanov., Sh.A. Mutalov. Investigation of the conditions of alcoholization of secondary polyethylene terephthalate with triethanolamine. *European Chemical Bulletin*. 2023, 12(4), 888-895 p.
15. A.T. Karimov., L.M. Meyliyeva., H.T. Tilovov., S.J. Kholikova., Kh.I. Kadyrov. Effective catalysts of the synthesis of quinoline and quinoline derivatives. *European Chemical Bulletin*. 2023, 12 (Regular Issue 6), 76-86 p.
16. L.M. Meyliyeva., Kh.I. Kadyrov. ML-IOMS-7 mineral tuzlar to'planishiga qarshi inhibitorining ishlab chiqarish texnologiyasi va neft-gaz quduqlarida qo'llanilishi. *Central asian food engineering and technology*. Xalqaro, elektron (online) jurnali volume 1, issue 2, september 2025 issn: 2181-385x. 69-76 b.

17. Aarti More., Ravindra A Kute, Shashank Mhaske. Chemical conversion of PET waste using ethanolamine to bis(2-hydroxyethyl) terephthalamide (BHETA) through aminolysis and a novel plasticizer for PVC January 2013 Iranian Polymer Journal 23(1):59-67
18. Ling-na Zhang., Li-zhu Liu, Qun-feng Yue., Chun-cheng Zhu. From Aminolysis Product of PET Waste to Value-added Products of Polymer and Assistants. January 2014 Polymers and Polymer Composites 22(1):13-16.
19. Fink, J. K. (2012). Petroleum engineer's guide to oil field chemicals and fluids. Gulf Professional Publishing.
20. Kelland, M. A. (2014). Production chemicals for the oil and gas industry. CRC Press.