

**BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/28.02.2022.T.101.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ORIPOVA LOBAR NORBOYEVNA

**MDEANI KO‘PIK HOSIL QILUVCHI KOMPONENTLARDAN
TOZALASH UCHUN MODIFIKATSIYALANGAN FAOLLASHTIRILGAN
KO‘MIR OLIH JARAYONINING TEXNOLOGIYASINI ISHLAB
CHIQISH**

02.00.08 – Neft va gaz kimyosi va texnologiyasi

**TEXNIKA FANLARI bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Buxoro-2025

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Oripova Lobar Norboyevna

MDEA ni ko‘pik hosil qiluvchi komponentlardan tozalash uchun
modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko‘mir olish jarayonining
texnologiyasini ishlab chiqish.....3

Орипова Лобар Норбоевна

Разработка технологии получения модифицированного
активированного угля для очистки МДЭА от пенообразующих
компонентов.....21

Oripova Lobar

Development of a technology for the production of modified
activated carbon for the purification of MDEA from
foam-forming components.....41

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
List of published works.....45

**BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc. 03/28.02.2022.T.101.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ORIPOVA LOBAR NORBOYEVNA

**MDEANI KO‘PIK HOSIL QILUVCHI KOMPONENTLARDAN
TOZALASH UCHUN MODIFIKATSIYALANGAN FAOLLASHTIRILGAN
KO‘MIR OLISH JARAYONINING TEXNOLOGIYASINI ISHLAB
CHIQUISH**

02.00.08 – Neft va gaz kimyosi va texnologiyasi

**TEXNIKA FANLARI bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Buxoro-2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2021.1.PhD/T2043 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiyasi Qarshi davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.bstu.uz) hamda "Ziyonet" Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Hayitov Ruslan Rustamjonovich
texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim

Rasmiy opponentlar:

Maxmudov Muxtor Jamolovich
kimyo fanlari doktori, professor

Azimova Shodiya Abrarovna
texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent

Yetakchi tashkilot:

Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Buxoro davlat texnika universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.03/28.02.2022.T.101.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil 28-noyabr soat 9⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi (Manzil: 200117, Buxoro shahar, Q.Murtazoyev ko'chasi, 15-uy. Tel.: (+99865)223-78-84, faks: (+99865)223-78-84, e-mail: bmti_info@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Buxoro davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (395-raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 200117, Buxoro shahar, Q.Murtazoyev ko'chasi, 15. Tel.: (+99865) 223-78-84).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil 13-noyabr kuni tarqatildi.
(2025-yil 20-avgustdagi №12-raqamli restr bayonnomasi).



S.F. Fozilov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
rasi texnika fanlari doktori, professor

A.T.Oltiyev

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
Ilmiy kotibi texnika fanlari doktori, dotsent

HLB. Do'stov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi
kimyo fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda neft va gaz sanoatining jadal rivojlanishi sifatli neft-gaz mahsulotlarini ishlab chiqarishga, moddalarni saralash va tozalashda samarador adsorbentlarga bo'lgan ehtiyojning ortib borishiga olib kelmoqda. Shuning uchun organik va noorganik xomashyolar asosida turli adsorbentlar: seolitlar, silikagellar, faollashtirilgan ko'mirlar olish va ularni neft va neft mahsulotlarining sifatini yaxshilashda, tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalash jarayonida qo'llash neft va gazni qayta ishlash, neft va gaz kimyosi, polimerlar kimyosi sohalarida muhim ahamiyatga ega.

Bugungi kunda jahonda tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalash jarayonida ishlatilgan qimmatbaho alkanolaminlarni filtrlash uchun faollashtirilgan ko'mirlar olish bo'yicha quyidagi ilmiy yechimlarni asoslash, jumladan: mikrog'ovakli faollashtirilgan ko'mirlar olish uchun mos keluvchi xomashyolarni tanlash; optimal harorat rejimini aniqlash; olingan faollashtirilgan ko'mirlarning kolloid kimyoviy xossalarni tadqiq qilish, tuzilishini va kimyoviy tarkibini aniqlash; shuningdek, alkanolaminlar suvli eritmalarining ko'piklanish xususiyatlariga turli organik va noorganik moddalarning ta'siri qonuniyatlarini asoslash hamda ko'piklanishning oldini olishda faollashtirilgan ko'mirlarning ta'sirini ilmiy asoslashga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda tabiiy gazni qazib olish ko'lamini kengaytirish, uni sifatli tozalab, iste'molchilarga yetkazish, tozalash jarayonida ishlatiladigan, import hisobiga keltiriladigan alkanolaminlarning ishlash muddatini uzaytirish va ko'p miqdorda yo'qotilishi oldini olish, shuningdek, turli rusumli faollashtirilgan ko'mirlarni mahalliy xomashyolar asosida ishlab chiqarish, ularning adsorbsion va kolloid kimyoviy xususiyatlarini yaxshilash bo'yicha ilmiy va amaliy natijalarga erishilmoqda. Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida "Iqtisodiyotga innovatsiyalarni keng joriy qilish, sanoat korxonalarini va ilm-fan muassasalarining kooperatsiya aloqalarini rivojlantirish"¹ kabi muhim vazifalar belgilab berilgan. Bu borada mahalliy tabiiy resurslar asosida import o'rnini bosuvchi va talab darajasidagi turli rusumli faollashtirilgan ko'mirlar ishlab chiqarish, ularning selektivligini oshirish uchun turli usullar bilan modifikatsiyalash, tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalashda ishlatilgan alkanolaminlarni regeneratsiyalashdagi muammolarni bartaraf etish, ularni qayta ishlatishda ko'piklanishining sabablarini tadqiq qilish va faollashtirilgan ko'mir bilan filtrlash texnologiyalarini takomillashtirish muhim ahamiyatga ega.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son «2022-2026-yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni, 2018-yil 25-oktabrdagi «O'zbekiston Respublikasida kimyo sanoatini jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi PQ-3983-sonli hamda 2019-yil 3-apreldagi «Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi PQ-4265

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

sonli Qarorlarida, shuningdek, ushbu faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda mazkur dissertatsiya tadqiqotlari muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga bog'liqligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII «Kimyo texnologiyalari va nanotexnologiyalar» ustuvor yo'nalishiga muvofiq holda bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalash jarayonida alkanolaminlarning ko'piklanishini oldini olish hamda filtrlovchi xususiyatiga ega bo'lgan faollashtirilgan ko'mirlarni olish va ularning adsorbsion xossalari yaxshilash bo'yicha dunyoda quyidagi olimlar: M.M. Dubinin, N.V. Kelsev, A.V. Kiselev, S.S. Serpinskiy, T.M. Bekirov, A.I. Afanasev, E.Dj. Styuart, G.A. Agaev, V.M. Kapustinlar va mamlakatimiz olimlaridan: Axmedov K.S., Salimov Z.S., Ryabova N.D., Raxmatkariev G.U., Mo'minov S.Z., Yodgorov N., Xamidov B.N., Narmetova G.R., Saydaxmedov Sh.M., Abduraximov S.A., Yusupov F.M., Ismailova M.G., Qudratov A.M., Shermatov B.E., Hayitov R.R. va boshqalar ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borishgan.

Yuqorida keltirilgan olimlar tomonidan alkanolaminlarning ko'piklanishini oldini olish, yangi turdagi ko'pik so'ndiruvchi reagentlarni olish, faollashtirilgan ko'mirlarni olishning turli usullarini ishlab chiqish, ularning qo'llanilish sohalariga bog'liq holda kolloid-kimyoviy, adsorbsion ko'rsatkichlarini aniqlash, adsorbentlarning organik moddalar etalonlari bo'yicha dinamik sig'imini aniqlash usulini ishlab chiqish, samarali adsorbentlar olish, tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalash texnologiyasini takomillashtirish, adsorbent va adsorbentlarni regeneratsiya qilishning samarali usullarini ishlab chiqish bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlari amalga oshirilgan.

Ammo qimmatbaho alkanolaminlarning tabiiy gazni tozalash jarayonidagi ekspluatatsiyasi davrida yo'qotilishi va bu muammoni bartaraf etish, organik va noorganik moddalar miqdorini aminlar eritmalarining ko'piklanish xususiyatlariga ta'siri qonuniyatlarini aniqlash, ishlatilgan alkanolaminlarni sifatli regeneratsiya qilish va adsorbsion tozalash, alkanolaminlarni adsorbsion tozalash uchun organik xomashyo asosida mikrog'ovakli adsorbentlarni olish bo'yicha tadqiqot ishlari hozirgi vaqtga qadar o'tkazilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Qarshi davlat texnika universiteti ilmiy-tadqiqot faoliyatining ustuvor yo'nalishlari rejasiga muvofiq – “Neft-gaz kimyo sanoati energiya va resurs tejamkor texnologiyalar muammolari va ularning yechish choralari” 8-yo'nalish doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi metildietanolaminni (MDEA) ko'pik hosil qiluvchi komponentlardan tozalash uchun modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir olish jarayonining texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

tabiiy gazni tozalash jarayonida MDEAni ko'piklanish sabablarini aniqlash;

MDEA eritmasining ko'piklanish balandligi va vaqtiga organik va noorganik moddalarning ta'sirini tadqiq qilish;

sanoatda alkanolaminlarni adsorbsion tozalash uchun ishlatiladigan faollashtirilgan ko'mirlarning tuzilishi va xossalarini o'rganish;

mahalliy xomashyolar: o'rik danagining po'stlog'i, chinor, tut, archa, terak daraxtlari yog'ochi hamda g'o'zapoya asosida faollashtirilgan ko'mir namunalari olish;

faollashtirilgan ko'mir namunalari olish va ularni faollashtirish jarayoni parametrlarini tadqiq qilish;

olingan faollashtirilgan ko'mir namunalari akril kislota yordamida kimyoviy usulda faollashtirish jarayonini tadqiq qilish hamda ularning kolloid-kimyoviy va adsorbsion xossalarini aniqlash;

ishlatilgan MDEA eritmasini olingan yangi faollashtirilgan ko'mir namunalari bilan tozalash jarayoniga bog'liq tadqiqotlarni amalga oshirish;

mahalliy xomashyodan faollashtirilgan ko'mir olish texnologiyasini ishlab chiqish va uning asosida laboratoriya qurilmasini yaratish;

faollashtirilgan ko'mirning sanoat tajriba-sinov namunasini ishlab chiqarish va tegishli korxonalarda sanoat sinovlarini o'tkazish;

olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijalari asosida ilmiy-texnikaviy hujjatlarni tayyorlash va rasmiylashtirish.

Tadqiqotning ob'yekti sifatida Gazli gazni qayta ishlash zavodining 30% li va Muborak gazni qayta ishlash zavodining 40 % li MDEA eritmasi, mahalliy xomashyolar: o'rik danagining po'stlog'i, chinor, tut, archa, terak daraxtlari yog'ochi hamda g'o'zapoya olingan.

Tadqiqotning predmeti meva danaglari po'stlog'i asosida olingan faollashtirilgan ko'mirlarning fizik-kimyoviy, tuzilish va adsorbsion xossalari hamda texnik xususiyatlari, ularni olish jarayonining maqbul rejimi parametrlari, faollashtirilgan ko'mirni laboratoriya va ishlab chiqarishda sinovdan o'tkazish texnologik rejimlarini aniqlash hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya tadqiqotini amalga oshirishda fizik-kimyoviy (IQ-spektroskopiya, yuqori vakuumli Mak-Ben tarozisidagi tahlillar) va analitik-kimyoviy tahlillar usullari hamda ko'mirni olish va faollashtirishning fizik va kimyoviy usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

gidrofob moddalar: parafin, naften, aromatik uglevodorodlar va kondensat fraksiyalari hamda turli noorganik tuzlar MDEAning ko'piklanish qobiliyatiga ta'siri qonuniyati o'rnatilib, ko'pikning balandligi va uning yashash vaqtini oshirishi, gidrofil moddalar: spirtlar va aminospirtlar esa ko'piklanishni kamaytirishi yoki umuman yuzaga keltirmasligi ilmiy asoslangan;

meva danaglari po'stlog'i va turli daraxtlar yog'ochi asosida mikro- va mezog'ovakli faollashtirilgan ko'mir olishda xomashyoni karbonizatsiyalash jarayonining harorati – 300-400°C, vaqti – 1 soat, karbonizatni suv bug'i bilan faollashtirish jarayonining harorati – 800°C, vaqti – 4 soatga teng bo'lgan maqbul rejimi ishlab chiqilgan;

suv bug‘i yordamida faollashtirilgan ko‘mirni akril kislotaning 15 % li eritmasini ko‘mirga shimdirish va namunani 100°C haroratda 30 minut vaqtda initsiator sifatida 3 % li vodorod peroksidni qo‘llash orqali modifikatsiyalash usuli ishlab chiqilgan;

modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko‘mir tarkibida poliakril kislota ($C_2H_3COOH)_n$, akrilonitril ($CH_2=CH-C\equiv N$), polibutilmetakrilat ($C_8H_{14}O_2$), polimetilmetakrilat ($(C_5H_8O_2)_n$) va shu kabi boshqa ko‘p funksional guruhlari bor moddalarning hosil bo‘lganligi hisobiga ko‘mir organik qo‘shimchalardan tashqari noorganik qo‘shimchalar, ya‘ni Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} metall kationlarini ham ion almashinish yo‘li orqali adsorbsiyalashi isbotlangan;

tabiiy gazni aminli tozalash jarayonida ishlatilgan alkanolaminlar eritmalarini filtrlash uchun quvvati 300 t/yil bo‘lgan meva danaglari po‘stlog‘i va turli daraxtlar yog‘ochlari asosida modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko‘mir olish jarayoni texnologiyasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

meva danaglari po‘stlog‘i, turli daraxtlar yog‘ochi hamda g‘o‘zapoya asosida faollashtirilgan ko‘mir olish jarayonining texnologiyasi ishlab chiqilgan va uning asosida laboratoriya qurilmasi yaratilgan;

faollashtirilgan ko‘mir olishda karbonizatsiya jarayoni, suv bug‘i yordamida fizik usulda hamda akril kislota yordamida kimyoviy usulda faollashtirish jarayonlarining maqbul rejimlari ishlab chiqilgan;

meva danaglari po‘stlog‘i, turli daraxtlar yog‘ochi hamda g‘o‘zapoya asosida faollashtirilgan ko‘mir olish uchun laboratoriya qurilmasi yig‘ilgan;

yig‘ilgan laboratoriya qurilmasida turli rusumli faollashtirilgan ko‘mir namunalari olingan.

Tadqiqot natijalarning ishonchliligi analitik, fizik-kimyoviy tahlil, laboratoriya tajribalari, ishlab chiqarish sinovlari natijalari hamda faollashtirilgan ko‘mirlar ishlab chiqarishning amaldagi standart talablari bo‘yicha aniqlanganligi bilan tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati gidrofob moddalar: parafin, naften, aromatik uglevodorodlar va kondensat fraksiyalari hamda turli noorganik tuzlar MDEAning ko‘piklanish qobiliyatiga ta‘siri qonuniyati o‘rnatilib, ko‘pikning balandligi va uning yashash vaqtini oshirishi, gidrofil moddalar: spirtlar va aminospirtlar esa ko‘piklanishni kamaytirishi yoki umuman yuzaga keltirmasligi ilmiy asoslanganligi, meva danaglari po‘stlog‘i va turli daraxtlar yog‘ochi asosida mikro- va mezog‘ovakli faollashtirilgan ko‘mir olishda xomashyoni karbonizatsiyalash jarayonining harorati – 300-400°C, vaqti – 1 soat, karbonizatni suv bug‘i bilan faollashtirish jarayonining harorati – 800°C, vaqti – 2 soatga teng bo‘lgan maqbul rejimi ishlab chiqilganligi, suv bug‘i yordamida faollashtirilgan ko‘mirni akril kislotaning 15 % li eritmasini ko‘mirga shimdirish va namunani 100°C haroratda 30 minut vaqtda initsiator sifatida 3 % li vodorod peroksidni qo‘llash orqali modifikatsiyalash usuli ishlab chiqilganligi, modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko‘mir tarkibida poliakril kislota ($C_2H_3COOH)_n$, akrilonitril ($CH_2=CH-C\equiv N$), polibutilmetakrilat ($C_8H_{14}O_2$),

polimetilmetakrilat ((C₅H₈O₂)_n) va shu kabi boshqa ko'p funksional guruhlar bor moddalarning hosil bo'lganligi hisobiga ko'mir organik qo'shimchalardan tashqari noorganik qo'shimchalar, ya'ni Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ metall kationlarini ham ion almashinish yo'li orqali adsorbsiyalashi isbotlanganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati mahalliy xomashyolar asosida import o'rnini qoplovchi modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir ishlab chiqarish texnologiyasining loyihalanishiga, chiqindi xomashyoning foydali mahsulotgacha qayta ishlanishi orqali utilizatsiya qilinishiga, meva danaglari po'stlog'i hamda turli xil daraxtlar yog'ochi asosida faollashtirilgan ko'mir olish jarayonining muqobil rejimini ishlab chiqish orqali tayyor mahsulot sifatining yaxshilanishiga, faollashtirilgan ko'mir namunalari akril kislota yordamida kimyoviy usulda modifikatsiyalash orqali MDEA eritmasi tarkibidagi mineral moddalarning kamaytirilishiga, shuningdek, mahalliy faollashtirilgan ko'mirni sanoatda ishlatilayotgan AG-3, HX-30 rusumli ko'mirlar bilan raqobatlasha olishi tufayli uni amaliyotga tatbiq qilinishiga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. MDEA ni ko'pik hosil qiluvchi komponentlardan tozalash uchun modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir olish jarayonining texnologiyasini ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

mahalliy xomashyolar: o'rik danagi po'stlog'i, tut va chinor daraxtlari yog'ochi asosida faollashtirilgan ko'mir olish va ularni modifikatsiyalash usuli Gazli neft va gaz qazib chiqarish boshqarmasining ishlab chiqarish jarayonlariga tadbiq qilish bo'yicha istiqbolli rejasiga kiritilgan («O'zbekneftgaz» AJning 2023-yil 22-avgustdagi 08-18-8-658-son ma'lumotnomasi). Natijada, MDEA eritmasi tarkibidagi ko'pik hosil qiluvchi va metallar korroziyasiga sabab bo'luvchi qo'shimchalar: H₂S miqdori – 0,06 dan 0,0015 mol/mol gacha; CO₂ – 0,36 dan 0,01 mol/mol gacha; mineral tuzlar miqdori – 8,90 dan 2,63 g/kg gacha kamayishi imkonini beradi;

akril kislota bilan modifikatsiyalangan AU-KU, AU-T va AU-K rusumli faollashtirilgan ko'mirlarni olish texnologiyasi Gazli neft va gaz qazib chiqarish boshqarmasi hamda Muborak gazni qayta ishlash zavodining ishlab chiqarish jarayonlariga tadbiq qilish bo'yicha istiqbolli rejalariga kiritilgan («O'zbekneftgaz» AJning 2023-yil 22-avgustdagi 08-18-8-658-son ma'lumotnomasi). Natijada, MDEA eritmasining ko'piklanish balandligi – 42 dan 15 mm gacha, ko'piklanish vaqti – 33 dan 9 sek. gacha kamayishi, shuningdek, MDEA eritmasi tarkibidagi ko'pik hosil qiluvchi va metallar korroziyasiga sabab bo'luvchi qo'shimchalar: H₂S miqdori – 0,13 dan 0,002 mol/mol gacha, CO₂ – 0,43 dan 0,015 mol/mol gacha, mineral tuzlar – 9,48 dan 2,23 g/kg gacha kamayishi imkonini beradi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Ushbu tadqiqot natijalari 2 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 17 ta ilmiy ish nashr etilgan, shulardan 1 ta monografiya va O'zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya

Komissiyasi tomonidan doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya qilingan ilmiy nashrlarda 6 ta maqola – 4 tasi xorijiy va 2 tasi respublika ilmiy jurnallarida chop etilgan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 110 betni tashkil etadi.

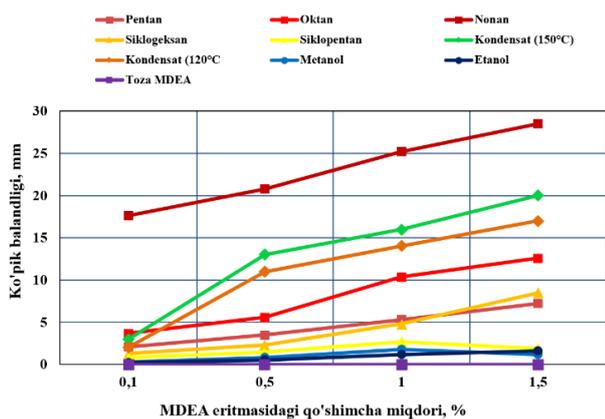
DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning **kirish** qismida masalaning qo‘yilishi qisqacha tavsiflangan, dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, maqsadi va vazifalari, tadqiqot ob‘yektini hamda predmeti ifodalangan, tadqiqotning O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotda erishilgan ilmiy yangiliklar, amaliy natijalarning ishonchligi asoslangan, nazariy va amaliy qiymati ochilgan, natijalarning ishlab chiqarishga joriy etilishi haqida ma‘lumotlar keltirilgan, olingan natijalarning aprobeatsiyasi va dissertatsiya ishining tuzilishi va hajmi bo‘yicha ma‘lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning “**Tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalashning zamonaviy texnologiyalari va faollashtirilgan ko‘mirlardan foydalanish**” deb nomlangan birinchi bobida dunyoda hozirgi vaqtda tabiiy gazni qazib olishning keskin sur‘atlar bilan o‘sishi hamda bu borada dunyo reytingining holati va mamlakatimizning ushbu reytingda tutgan o‘rni to‘g‘risidagi so‘nggi ma‘lumotlar keltirilgan bo‘lib, xususan tabiiy gazni qayta ishlashdagi muammolar, ayniqsa uni tarkibidagi nordon komponentlardan tozalashning turli usullari va texnologiyalari, shuningdek, tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalashda alkanolaminlarning yo‘qotilishi bo‘yicha ilmiy asoslangan ma‘lumotlar yoritilgan. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha dunyoda va mamlakatimizda olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlarning tahlili asosida ushbu tadqiqotning maqsad va vazifalari belgilab olingan.

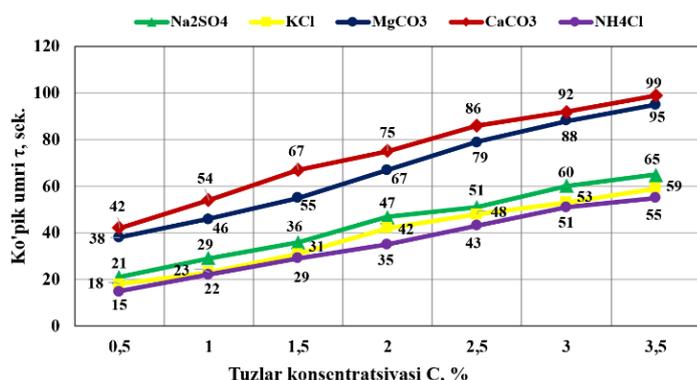
Dissertatsiyaning “**Faollashtirilgan ko‘mirlarning sifat ko‘rsatkichlarini aniqlashning asosiy usullari va alkanolaminlarning ko‘piklanish omillarini tadqiq qilish**” deb nomlangan ikkinchi bobida faollashtirilgan ko‘mirlarning tuzilish, adsorbsion va sifat ko‘rsatkichlarini aniqlash imkonini beruvchi davlat standartlariga mos keluvchi klassik va zamonaviy usullar tahlili keltirilgan. Shuningdek, tabiiy gazni qayta ishlash zavodlaridagi etanolaminlar eritmalarining ko‘piklanish qobiliyatini aniqlashning maxsus metodik yo‘riqnomasi berilgan. Etanolamin eritmalarining ko‘piklanish xususiyatlari bo‘yicha standart parametrlar o‘rnatildi. Ushbu standart parametrlarga ko‘ra tozalangan etanolamin eritmasining ko‘piklanish jarayonidagi ko‘pik balandligi 25-40 mm intervalida, ko‘pikning buzilish vaqti esa 10-20 sekund intervalida bo‘lishi lozim.

25 % li MDEA eritmasida turli xil aralashmalar ishtirokida yuzaga keladigan ko‘piklanishni aniqlash bo‘yicha tadqiqot amalga oshirildi va olingan natijalar 1-rasmda keltirildi.



1-rasm. Turli qo'shimchalarning 25% MDEA eritmasining ko'pik hosil qilish qobiliyatiga ta'sirini ko'rsatuvchi grafik: 1 – pentan (C_5H_{12}); 2 – oktan (C_8H_{18}); 3 – nonan (C_9H_{20}); 4 – undekan ($C_{11}H_{24}$); 5 – siklogeksan (C_6H_{12}); 6 – siklopentan (C_5H_{10}); 7 – 150°C fraksiyali kondensat; 8 – 120°C fraksiyali kondensat; 9 – metanol; 10 – etanol; 11 – toza MDEA eritmasi

Bu ma'lumotlar shuni ko'rsatdiki, kondan kelayotgan tabiiy gaz tarkibidagi deyarli barcha moddalar aminlar eritmalarining ko'piklanishiga olib keladi. Qaynash harorati 100°C dan yuqori bo'lgan uglevodorodlar (kondensat, neft), SFM, ayrim korroziyaga qarshi ingibitorlar eng ko'p ko'piklanishga sababchi bo'ladilar. Bundan tashqari etanolaminlar eritmalarining ko'piklanishiga mineral tuzlar ham sababchi bo'lishini bilgan holda Na_2SO_4 , KCl , $MgCO_3$, $CaCO_3$ va NH_4Cl tuzlarining MDEA eritmasining ko'piklanishiga ta'sirini aniqlash bo'yicha tajriba o'tkazildi va olingan natijalar 2-rasmda keltirildi.



2-rasm. MDEA eritmasida ko'pikning yashash muddati τ (soniya) ning tuzlar konsentratsiyasi C (%) ga bog'liqligi.

Bu grafik shuni ko'rsatdiki, noorganik tuzlar konsentratsiyasi ham aminlar eritmalarining ko'piklanishiga ta'sir qiladi, ya'ni tuzlar konsentratsiyasi oshishi bilan

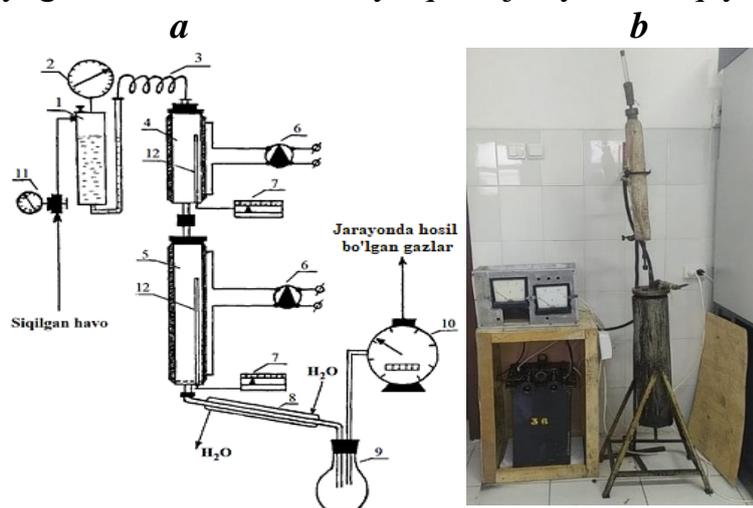
aminlar eritmalarining ko'piklanish vaqti davomiyligi ham oshadi.

Dissertatsiyaning “**Mahalliy xomashyolar asosida modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir olishni tadqiq qilish**” deb nomlangan uchinchi bobida meva danaglari po'stlog'i va turli xil daraxtlar yog'ochlari asosida faollashtirilgan ko'mir olish jarayonini tadqiq qilish, faollashtirilgan ko'mir namunalari benzolni adsorbsiyalash izotermasi va tuzilish xossalarini aniqlash, faollashtirilgan ko'mirni akril kislota yordamida modifikatsiyalash bo'yicha amalga oshirilgan tadqiqotlar natijalari keltirilgan.

Ishning maqsadidan kelib chiqqan holda, regeneratsiyalangan MDEA eritmasini ko'pik hosil qiluvchi komponentlardan adsorbsion tozalash uchun mahalliy chiqindi xomashyolar: o'rik danagi po'stlog'i, g'o'za poyasi, tut, chinor, terak va archa asosida faollashtirilgan ko'mir namunalari olish jarayonining texnologik sxemasi (3-rasm, a) ishlab chiqilgan va uning asosida laboratoriya qurilmasi yig'ilgan (3-rasm, b).

Tadqiqotni amalga oshirishda sig'imi 0,25 m³ bo'lgan va elektr toki yordamida

qizdiriladigan laboratoriya trubali reaktorida havosiz sharoitda xomashyo karbonizatsiya qilindi. Reaktor ichidagi harorat termopara va potensiometr yordamida nazorat qilindi. Karbonizatsiya jarayoni 300-500°C harorat intervalida amalga oshirildi. Haroratni ko'tarish tezligi minutiga 7-10°C ni tashkil qildi. Karbonizatni faollashtirish suv bug'i yordamida o'sha reaktorda 600-800°C harorat intervalida amalga oshirildi. O'rik danagi po'stlog'i, g'o'za poyasi, tut, chinor, terak va archa yog'ochinini karbonizatsiya qilish jarayonidan quyidagi natijalar olindi (1-jadval).



3-rasm. Faollashtirilgan ko'mir olish qurilmasining texnologik sxemasi (a) va laboratoriya qurilmasi (b):

1 – suv uchun sig'im; 2 – manometr; 3 – mis kapillyar nay; 4 – bug'generatori; 5 – karbonizatsiyalash va faollashtirish reaktori; 6 – avtotransformator; 7 – millivoltmetr; 8 – sovutgich;

9 – yig'gich; 10 – gaz o'lchagich; 11 – bosim rostlagich; 12 – termopara uchun metall nay.

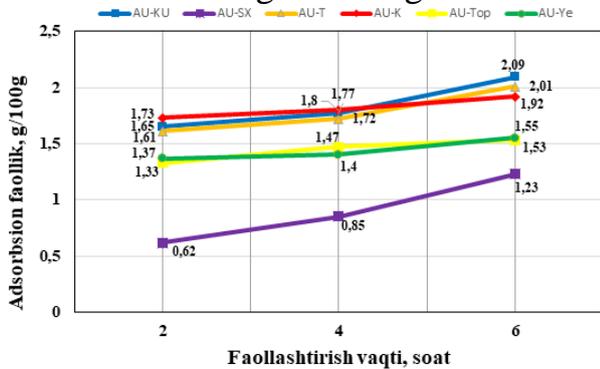
1-jadval

O'rik danagi po'stlog'i, g'o'za poyasi, tut, chinor, terak va archa daraxtlari yog'ochini karbonizatsiyalash sharoiti

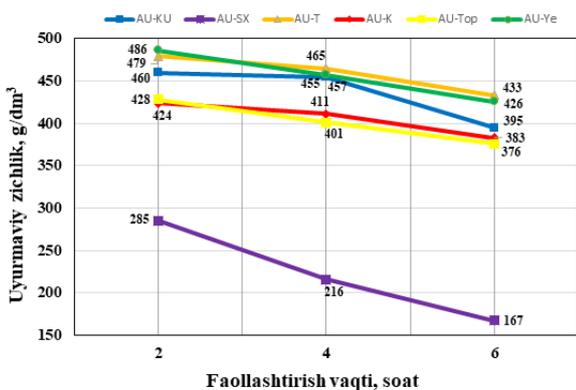
(dastlabki xom ashyo miqdori 1000 g, haroratni ko'tarish tezligi minutiga 7-10°C)

Namunalar	Harorat, °C	Karbonizat massasi, g	Uyurmaviy zichlik, g/dm ³	Kullilik, %	C ₆ H ₆ bo'yicha adsorbsion faolligi, g/100 g
AU-KU (o'rik danagi)	300	632	644	4,3	0,87
	400	613	623	4,8	1,18
	500	521	536	5,0	1,25
AU-SX (g'o'za poyasi)	300	566	586	4,2	0,15
	400	453	463	4,5	0,24
	500	345	368	5,3	0,46
AU-T (tut)	300	713	724	4,8	0,84
	400	671	677	5,2	1,06
	500	625	634	6,1	1,22
AU-K (chinor)	300	626	637	5,2	0,81
	400	611	620	6,5	0,98
	500	515	527	7,3	1,15
AU-Top (terak)	300	619	624	4,2	0,34
	400	575	587	4,9	0,76
	500	505	512	5,6	0,82
AU-Ye (archa)	300	676	688	4,7	0,57
	400	633	651	5,1	0,78
	500	583	598	6,3	1,01

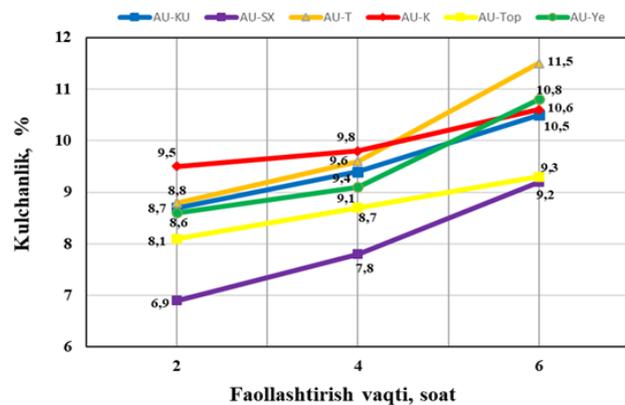
Olingan karbonizat namunalarini suv bug'i yordamida faollashtirish uchun reaktordagi harorat 600°C ga oshirildi va 200°C gacha qizdirilgan suv bug'i reaktordagi karbonizat namunasi orqali o'tkazildi. Karbonizat namunalarini suv bug'i bilan faollashtirish jarayoni 600-800°C harorat intervalida 2-6 soat vaqt oralig'ida amalga oshirildi. O'tkazilgan eksperimentlar natijalari asosida 4-6-rasmlarda keltirilgan nomogrammlar ishlab chiqildi.



5-rasm. Karbonizatlarni 800°C haroratda suv bug'i bilan faollashtirish jarayoni vaqtining faollashtirilgan ko'mirlarning kullilikga bog'liqlik grafiqi.



4-rasm. Karbonizatlarni 800°C haroratda suv bug'i bilan faollashtirish jarayoni vaqtining adsorbsion faolligiga bog'liqlik grafiqi.



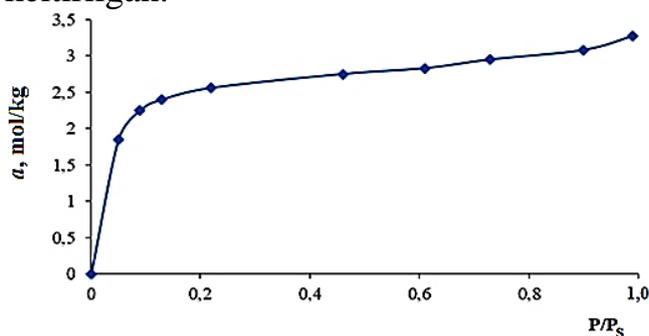
6-rasm. Karbonizatlarni 800°C haroratda suv bug'i bilan faollashtirish jarayoni vaqtining faollashtirilgan ko'mirlarning uyurmaviy zichligiga bog'liqlik grafiqi.

4-6-rasmlardagi nomogrammlardan ko'rinib turibdiki, karbonizatlarni suv bug'i bilan faollashtirish jarayonining harorati 600-800°C intervalida ortishi

bilan faollashtirilgan ko'mir namunalarining benzol bo'yicha adsorbsion faolligi mos ravishda 0,49-2,09 g/100 g intervalida, kullilik 5,3-11,5 % intervalida ortib borgan, ammo uyurmaviy zichligi esa 623 g/dm³ dan 167 g/dm³ gacha kamayib borgan. Yana shuni ta'kidlash lozimki, faollashtirish jarayonini eng yuqori harorat 800°C va 2-6 soat vaqt intervalida amalga oshirish orqali yuqori adsorbsion faollikka erishilgan ammo kullilik ham mos ravishda oshib borgan, uyurmaviy zichlik esa kamayib borganini aniqlash mumkin. Hozirgi kunda, Muborak gazni qayta ishlash hamda Gazli gazni qayta ishlash zavodlarida ishlatilayotgan Rossiya Federatsiyasining AG-3 rusumli faollashtirilgan ko'miri dissertatsiya tadqiqotlari natijalarini taqqoslash uchun analog sifatida olingan bo'lib, uning uyurmaviy zichligi 400-500 g/dm³, kullilik esa 10-16 % ga teng bo'lgan sifat ko'rsatkichlari me'yorlab qo'yilgan. 4-6-rasmlardagi nomogrammlar tahlillariga asoslanib, bu me'yorga mos keluvchi faollashtirilgan ko'mir namunalari karbonizatni 800°C

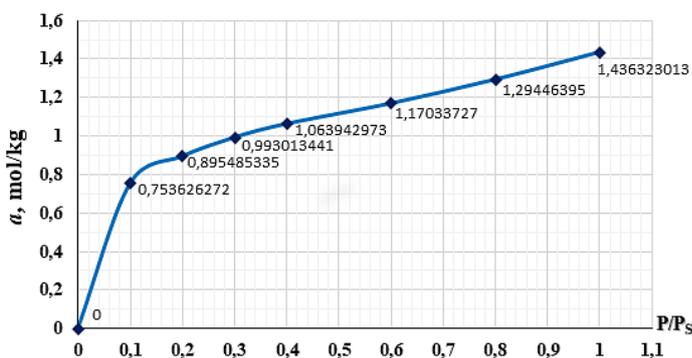
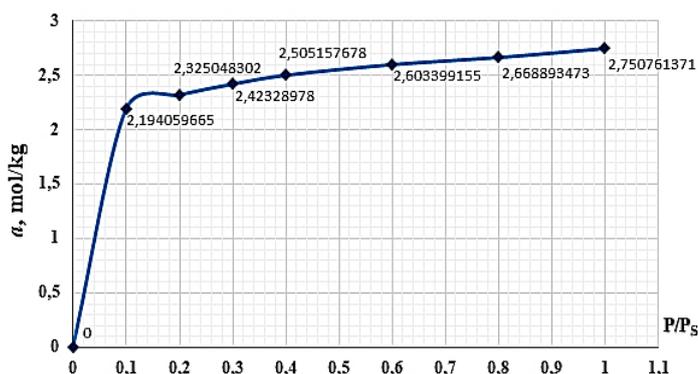
haroratda 4 soat mobaynida suv bug‘i bilan faollashtirish orqali olinganini aniqlash mumkin. Bundan xulosa shuki, o‘rik danagi po‘stlog‘i, g‘o‘za poyasi, tut, chinor, terak va archa daraxtlari yog‘ochlari asosida yuqori sifatli faollashtirilgan ko‘mir olishda karbonizatlarni suv bug‘i bilan faollashtirish uchun 800°C harorat va 4 soat maqbul parametrlar sifatida qabul qilindi.

AU-KU, AU-T va AU-Top faollashtirilgan ko‘mir namunalariga benzolning adsorbsiyasi bo‘yicha tadqiqotlar $1,33 \cdot 10^{-3}$ Pa qoldiq bosimda va 298 K haroratda simobli klapanlar va Mak-Ben kvarts tarozusi bilan jihozlangan yuqori vakuumli uskunada amalga oshirildi. Prujining cho‘zilish darajasi KM-8 katetometr yordamida nazorat qilindi. 7-9-rasmlarda AU-KU, AU-T va AU-Top faollashtirilgan ko‘mir namunalariga benzolning adsorbsiyalanish izotermalari keltirilgan.



7-rasm. AU-KU faollashtirilgan ko‘mirda benzolning adsorbsiyalanish izotermasi.

8-rasm. AU-T faollashtirilgan ko‘mirda benzolning adsorbsiyalanish izotermasi.



9-rasm. AU-Top faollashtirilgan ko‘mirda benzolning adsorbsiyalanish izotermasi.

Faollashtirilgan ko‘mir namunalarida benzol adsorbsiyasining izotermasini aniqlashdan olingan natijalar asosida adsorbentlarning

solishtirma yuzasi, monoqatlam sig‘imi, mezo- va mikrog‘ovaklar sig‘imi hamda umumiy adsorbsiya hajmi kabi adsorbsiya-tuzilish xossalari BET tenglamasi bo‘yicha hisoblab aniqlandi. Hisoblashlardan olingan natijalar va boshqa xorijiy sanoat faollashtirilgan ko‘mirlarining adsorbsiya-tuzilish xossalari 2-jadvalda keltirildi.

AU-KU, AU-T va AU-Top faollashtirilgan ko‘mir namunalariga benzolning adsorbsiyalanish izotermalari hamda adsorbsiya-tuzilish xossalarini aniqlashdan

olingan natijalarga asoslanib, mazkur faollashtirilgan ko‘mirlar mezo- va mikrog‘ovakli ko‘mirlar turiga mansubligi aniqlandi.

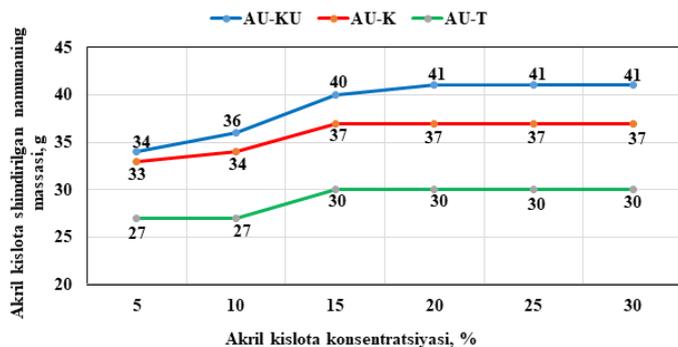
2-jadval

Faollashtirilgan ko‘mirlarning adsorbsiya-tuzilish xossalari

Namuna	G‘ovak radiusi, Å (1Å=0,1nm)	a_m , mol /kg	Solishtirma yuza $S \cdot 10^{-3}$, m^2/g	Mikrog‘ovak lar sig‘imi $W_0 \cdot 10^{-3}$, m^3/kg	Mezog‘ovaklar sig‘imi, $W_{me} \cdot 10^{-3}$, m^3/kg	Umumiy adsorbsiya hajmi, $V_s \cdot 10^{-3}$, m^3/kg
AU-KU	11,5	1,77	426	0,262	0,029	0,291
AU-T	12,5	1,62	390	0,234	0,01	0,244
AU-Top	15,9	0,66	161	0,111	0,02	0,128
BAU	16,0	0,87	183	0,128	0,031	0,159
OU-A	9,00	2,12	475	0,390	0,140	0,530
FAS	13,2	1,33	282	0,210	0,05	0,215
Kokos yong‘og‘i asosidagi FK	12,3	1,67	410	0,258	0,059	0,317
Antrasitli FK	14,5	1,09	211	0,130	0,176	0,306

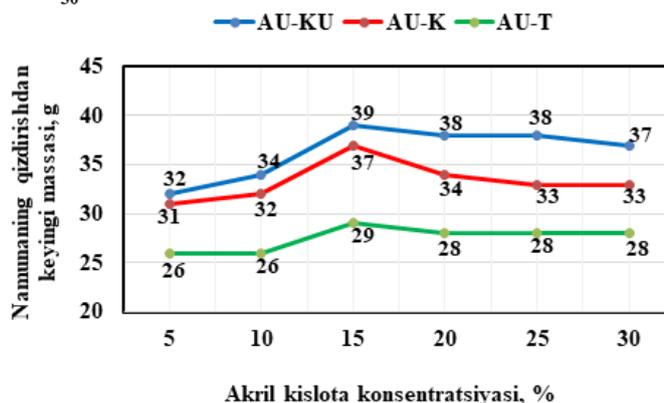
AU-KU va AU-T faollashtirilgan ko‘mirlarning adsorbsiya-tuzilish xossalari 2-jadvalda keltirilgan xorijiy analoglarining xossalaridan qolishmasligi va ayrim xossalari esa ustun ekanligi aniqlandi, ammo AU-Top faollashtirilgan ko‘mirning adsorbsiya-tuzilish xossalari esa bundan mustasno. Shuning uchun mahalliy xomashyolardan olingan AU-KU va AU-T hamda adsorbsion faolligi yuqori va kulliligi past bo‘lgan AU-K faollashtirilgan ko‘mir namunalari ishlatilgan aminlar eritmalarini tozalash bo‘yicha o‘tkaziladigan tadqiqotlar uchun tavsiya qilindi.

MDEAning suvli eritmasi tarkibida erigan termo barqaror tuzlarni va boshqa ko‘piklanishni keltirib chiqaruvchi organik moddalarni qisman xemosorbsiya orqali adsorbsiyalash uchun faollashtirilgan ko‘mirlarning g‘ovaklarida ushlanib qolingan funksional guruhlar va ularning faolligi kamlik qilishini inobatga olib, faollashtirilgan ko‘mir namunalari akril kislotani yordamida modifikatsiyalash bo‘yicha tadqiqotlar amalga oshirildi. Faollashtirilgan ko‘mir g‘ovaklariga akril kislotani shimdirish va uni g‘ovakda ushlanib qolishini, shuningdek, kislotadagi karboksil (COOH) guruhi sonini ko‘paytirish maqsadida akril kislotani poliakril kislotani polimeriga aylantirish bo‘yicha izlanishlar olib borildi. Tadqiqot natijalari asosida 10-11-rasmlarda keltirilgan nomogrammlar ishlab chiqildi. 10-11-rasmlarda keltirilgan nomogrammlarga asoslanib, faollashtirilgan ko‘mir namunalari deyarli barchasiga akril kislotaning 15 % suvli eritmasi boshqa konsentrsiyadagilariga nisbatan maksimum miqdorda yutilganini, shuningdek, poliakril kislotasini hosil qilish uchun akril kislotani shimdirilgan namunalarni 30 minut vaqt mobaynida 100°C harorat bilan qizdirishdan keyin akril kislotaning 15 % suvli eritmasi shimdirilgan ko‘mir namunalari massasi maksimum miqdorda qolganini aniqlash mumkin.

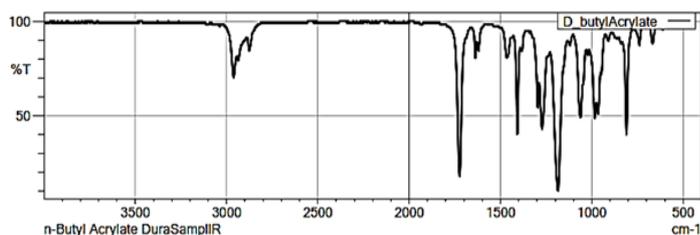


10-rasm. Akryl kislotasi konsentratsiyasini uning faollashtirilgan ko‘mirlarga shimdirilgan namunalarning massasiga bog‘liqlik grafigi

11-rasm. Akryl kislotasi konsentratsiyasini uning faollashtirilgan ko‘mirlarga shimdirilgan namunalarni qizdirishdan keyingi massasiga bog‘liqlik grafigi



Faollashtirilgan ko‘mir namunalarning g‘ovaklarida poliakryl kislotasi polimer shaklida hosil bo‘lib, ushlab qolganini aniqlash maqsadida ushbu namunalarning IQ-spektr tahlili amalga oshirildi. Tahlil natijalari 12-rasmida faqatgina o‘rik danagi po‘stlog‘i asosidagi faollashtirilgan ko‘mirni 15 % li akryl kislotasi yordamida modifikatsiyalashdan olingan namunalarning IQ-spektragrammasi misolida keltirildi.



12-rasm. O‘rik danagi po‘stlog‘i asosidagi faollashtirilgan ko‘mirni 15 % li akryl kislotasi yordamida modifikatsiyalashdan olingan namunalarning IQ-spektragrammasi

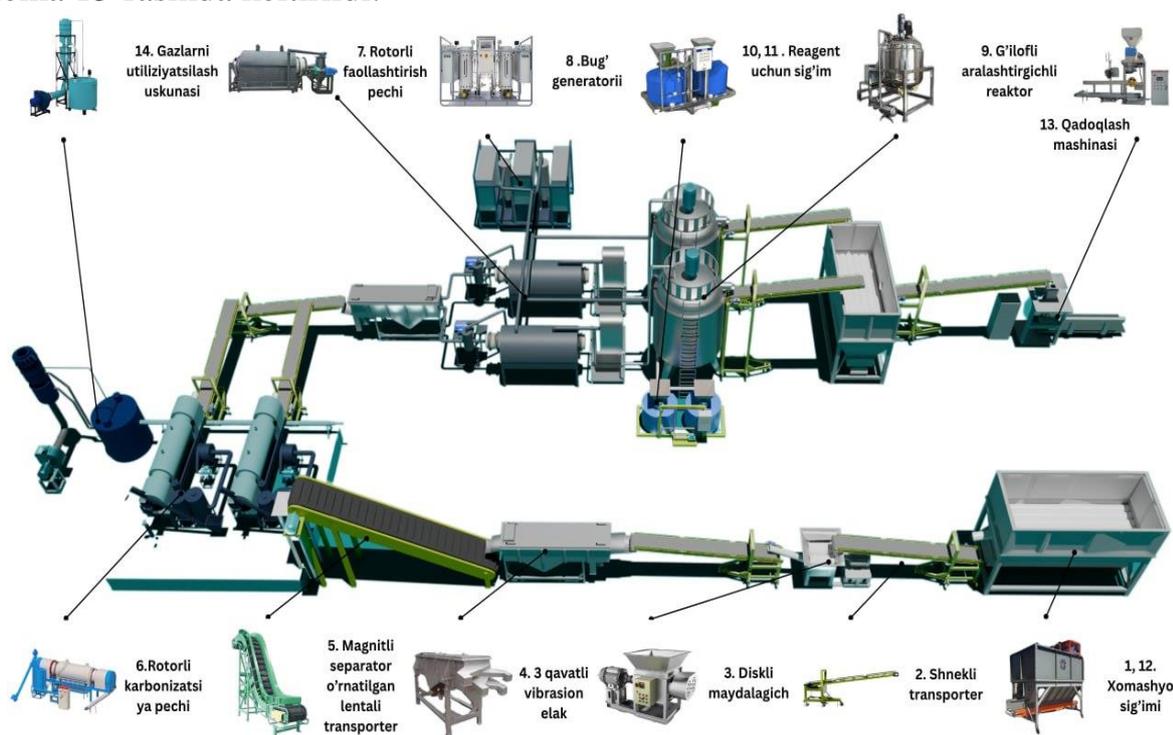
12-rasmida keltirilgan o‘rik danagi po‘stlog‘i asosidagi faollashtirilgan ko‘mir va boshqa faollashtirilgan ko‘mirlarni 15 % li akryl kislotasi yordamida modifikatsiyalashdan olingan namunalarning IQ-spektragrammasi tahlili modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko‘mirlar tarkibida butilakrilat (C₇H₁₂O₂) – 718 sm⁻¹, izoamilformiat (C₆H₁₂O₂) – 714 sm⁻¹, etilakrilat (C₅H₈O₂) – 712 sm⁻¹, malein kislotaning metilvinil efiri – 712, 698 sm⁻¹, poliakryl kislotasi (C₂H₃COOH)_n – 701, 680 sm⁻¹, akrilonitril (CH₂=CH-C≡N) – 675, 672 sm⁻¹, poli-2-gidroksietil metakrilat (C₆H₁₀O₃) – 674 sm⁻¹, metilakrilat (C₄H₆O₂) – 669 sm⁻¹, polibutilmetakrilat (C₈H₁₄O₂) – 668 sm⁻¹, polimetilmetakrilat ((C₅H₈O₂)_n) – 662 sm⁻¹ kabi moddalar hosil bo‘lganini ko‘rsatdi.

Dissertatsiyaning “MDEAni ko‘pik hosil qiluvchi komponentlardan tozalash uchun modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko‘mir olish jarayonining texnologiyasini ishlab chiqish” deb nomlangan to‘rtinchi bobida mahalliy xomashyolar asosida modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko‘mir olish texnologiyasi va olingan namunalarni ishlab chiqarishda sinovdan o‘tkazish,

alkanolaminlarni filtrlashda ishlatilgan faollashtirilgan ko'mirlarni regeneratsiyalashni tadqiq qilish hamda mahalliy xomashyolar asosida modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mirni ishlab chiqarish va amaliyotga joriy qilishdan kutilayotgan iqtisodiy samaradorlikni hisoblash bo'yicha amalga oshirilgan tadqiqotlar natijalari keltirilgan.

Respublikamizdagi barcha tabiiy gazni qayta ishlash zavodlarida qimmatbaho alkanolaminlarni tozalash uchun yiliga 300 tonna AG-3, HX-30 rusumli faollashtirilgan ko'mirlar (tonnasi 2500-3000 AQSh dollari) Rossiya va Xitoydan import qilinadi va bu o'z navbatida iqtisodiy jihatdan dolzarb hisoblanadi.

Bu ma'lumotlarga asoslanib, meva danaglari po'stlog'i va turli xil daraxtlar yog'ochi asosida modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir ishlab chiqarishning quvvati 300 t/yil bo'lgan texnologik tizim prinsipial sxemasi ishlab chiqildi. Bu sxema 13-rasmda keltirildi.



13-rasm. Quvvati 300 t/yil bo'lgan meva danaglari po'stlog'i va turli daraxtlar yog'ochidan modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir ishlab chiqarish texnologiyasining prinsipial sxemasi

Gazli gazni qayta ishlash va Muborak gazni qayta ishlash zavodlarida tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalash qurilmasida ishlatilgan MDEA eritmasini regeneratsiyalash paytida tarkibidagi ko'pik hosil qiluvchi qo'shimchalardan tozalash uchun Rossiya Federatsiyasidan import qilinayotgan AG-3 faollashtirilgan ko'miri ishlatilishini inobatga olib, sinov-tajriba ishlari AG-3 hamda mahalliy xomashyolardan olingan AU-T va AU-K faollashtirilgan ko'mirlari asosida amalga oshirildi. Sinov-tajriba natijalari 3-jadvalda keltirildi.

3-jadvallarda keltirilgan sinov-tajriba natijalariga ko'ra AU-T va AU-K faollashtirilgan ko'mir namunalari yordamida regeneratsiyalangan MDEA eritmasini filtrlash orqali tarkibidagi ko'piklanish va metallar korroziyasiga sabab

bo‘luvchi qo‘shimchalar: H₂S miqdori 0,06 dan 0,0015 mol/mol gacha; CO₂ 0,36 dan 0,01 mol/mol gacha; mineral tuzlar miqdori 8,90 dan 2,63 g/kg gacha kamayganligi aniqlandi.

3-jadval

Gazli gazni qayta ishlash zavodining 5-texnologik tarmog‘ida regeneratsiyalangan MDEA eritmasining tahlili natijalari

№	Namunalar	Kons. %	H ₂ S miqdori mol/mol	CO ₂ miqdori mol/mol	pH	Mineral miqdori mg/l	Umumiy tuz PSU g/kg	Zichligi kg/m ³
1.	Reg. eritma	33,9	0,006	0,35	9,36	7846	8,90	1,034
Filtrlashdan keyingi natijalar								
2.	AG-3	34,2	0,003	0,01	10,26	7735	8,90	1,032
3.	AU-T	34,6	0,004	0,02	10,36	7243	8,37	1,029
4.	AU-K	34,0	0,002	0,01	10,41	7942	9,20	1,034
5.	AU-T (modifik.)	35,4	0,0015	0,02	10,39	2,378	2,63	1,021
6.	AU-K (modifik.)	35,0	0,002	0,01	10,47	2,816	2,97	1,028

Yuqorida keltirilgan sinov natijalari MDEA eritmasini faollashtirilgan ko‘mir namunalari bilan filtrlashdan keyingi eritma pH ko‘rsatgichi 9,36 dan 10,47 gacha ortganligi ko‘pik hosil qiluvchi qo‘shimchalarning kamayganidan dalolat beradi. Bundan tashqari AU-T va AU-K faollashtirilgan ko‘mirlarning akril kislota yordamida modifikatsiyalangan namunalari dastlabkilariga nisbatan yaxshi natijalarni ko‘rsatgan. Ayniqsa, umumiy tuz miqdori regeneratsiyalangan MDEA eritmasi tarkibida 8,90 g/kg ni tashkil qilib, zavodda ishlatilayotgan AG-3 faollashtirilgan ko‘mir bilan filtrlanganidan keyin bu ko‘rsatkich o‘zgarib qolganini, taklif qilinayotgan modifikatsiyalangan AU-T va AU-K faollashtirilgan ko‘mir namunalari bilan filtrlangandan keyin esa umumiy tuz miqdori mos ravishda 2,63 va 2,97 g/kg gacha kamayganini aniqlandi. Regeneratsiyalangan MDEA eritmasi tarkibidagi mineral tuzlar uning tabiiy gazni tozalash jarayonida ko‘piklanishiga, ya’ni hosil bo‘lgan ko‘pikning umrini davomiyligiga sababchi bo‘luvchi asosiy omil bo‘lib, adabiyotlarda keltirilgan ma’lumotlarga asosan uning miqdori alkanolaminlar tarkibida 0,1-0,5 % intervalida bo‘lishiga ruxsat etiladi. Bundan xulosa shuki, zavod namunasi regeneratsiyalangan MDEA eritmasini modifikatsiyalangan AU-T va AU-K faollashtirilgan ko‘mir namunalari yordamida filtrlashdan keyin uning tarkibidagi umumiy tuz miqdori mos ravishda 0,263 % (2,63 g/kg) va 0,297 % (2,97 g/kg) ni tashkil qilib, bu ko‘rsatkichlar me’yor talablaridan oshmaganligi asoslandi.

Sinov-tajriba ishlarinig keyingi bosqichi Muborak gazni qayta ishlash zavodida amalga oshirildi. Zavodning 14-sex texnologik qurilmasidan olingan MDEA eritmasi AU-KU, AU-T va AU-K faollashtirilgan ko‘mir namunalari yordamida filtrlandi va filtrlangan MDEA eritmasining ko‘piklanish va fizik-kimyoviy xossalari aniqlandi hamda olingan natijalar zavodda amalda ishlatilayotgan AG-3 rusumli ko‘mirning filtrlash ko‘rsatkichlari bilan taqqoslandi. Olingan natijalar 4-jadvallarda keltirildi.

14-sexning texnologik qurilmasidan olingan MDEA eritmasining tahlil natijalari

Namunalar		Ko'piklanish xossalari				
		Ko'piklanish balandligi, mm		Ko'piklanish vaqti (umri), sek.		
Dastlabki MDEA eritmasi		42		33		
Fitrlashdan keyingi natijalar						
1-filtrat (AG-3)		17		11		
2-filtrat (AU-K modf.)		15		11		
3-filtrat (AU-KU modf.)		16		9		
4-filtrat (AU-T modf.)		15		10		
Boshqa ko'rsatgichlar tahlili natijalari						
№	Namunalar	Kons. %	H ₂ S miqdori mol/mol	CO ₂ miqdori mol/mol	pH	Umumiy tuz PSU g/kg
1.	Regeneratsiya qilingan MDEA eritmasi	35,7	0,13	0,43	9,30	9,48
Fitrlashdan keyingi natijalar						
2.	1-filtrat (AG-3)	39,5	0,003	0,018	10,62	7,63
3.	2-filtrat (AU-K modf.)	39,6	0,004	0,021	10,63	2,23
4.	3-filtrat (AU-KU modf.)	40,01	0,002	0,016	10,84	4,93
5.	4-filtrat (AU-T modf.)	38,4	0,003	0,015	10,54	3,78

4-jadvalda keltirilgan tahlil natijalaridan ko'rinib turibdiki, taklif qilinayotgan faollashtirilgan ko'mirlar namunalarini bilan MDEA eritmasini filtrlangandan keyin eritmaning ko'piklanish xossalari sezilarli darajada o'zgarib, MGQIZning NGH 39.2-22:2017 tashkilot standartida talab qilingan me'yorlarga mos kelgan. Har ikkala zavodlarda olib borilgan sinov-tajriba ishlari natijalari asosida taklif etilayotgan modifikatsiyalangan AU-KU, AU-T va AU-K faollashtirilgan ko'mir namunalarining filtrlash qobiliyati amalda MDEA eritmasini filtrlash uchun ishlatilayotgan Rossiya Federatsiyasidan import qilinayotgan AG-3 rusumli faollashtirilgan ko'mirining filtrlash qobiliyatiga nisbatan ustunligi isbotlandi.

13-rasmda keltirilgan quvvati 300 tonna/yil bo'lgan meva danaglari po'stlog'i va turli daraxtlar yog'ochidan modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir ishlab chiqarish texnologik qurilmasining rentabellik va iqtisodiy samaradorligi quyidagicha hisoblandi:

Yillik tushum: 1 tonna AG-3 rusumli faollashtirilgan ko'mir (RF) narxi: 2000-2500 AQSh dollari × 12800 so'm = 32 mln. so'm; 300 tonna × 32 mln. so'm = 9,6 mlrd. so'm; 1 tonna mahalliy modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir narxi: 1500 AQSh dollari × 12800 so'm = 19,2 mln. so'm; 300 tonna × 19,2 mln. so'm = 5,760 mlrd. so'm.

Rentabellik va iqtisodiy samara. Foyda: 5,760 – 3,1549 = 2,6051 mlrd. so'm.

Rentabellik darajasi:
$$\frac{\text{Foyda}}{\text{Ishlab chiqarish xarajatlari}} \times 100 = \frac{2,6051}{3,1549} \times 100 = 82,5\%$$

Investitsiya o'zini qoplash muddati:
$$\frac{\text{Jami investitsiya}}{\text{Yillik foyda}} = \frac{5,100}{2,6051} \approx 1,9 \text{ yil}$$

XULOSA

1. Parafin, naften, aromatik uglevodorodlar, kondensat fraksiyalari kabi organik moddalarning va noorganik tuzlarning alkanolaminlar ko'piklanish qobiliyatiga ta'siri qonuniyati o'rnatilib, tarkibida bunday qo'shimchalari bo'lgan alkanolaminlarni tozalash zarurligi ko'rsatilgan.

2. Mahalliy xomashyolar: o'rik danagi po'stlog'i hamda tut, terak, chinor, archa va g'o'za poyasidan faollashtirilgan ko'mir olish jarayoni uchun karbonizatsiya jarayoni 300-400°C haroratda 1 soat, suv bug'i bilan faollashtirish jarayoni esa 800°C haroratda 4 soatga teng maqbul rejim ishlab chiqilgan va texnologik qurilmani ishlab chiqish uchun asos sifatida qabul qilingan.

3. AU-KU, AU-T va AU-Top faollashtirilgan ko'mir namunalarning benzol bug'ini adsorbiyalash izotermasini aniqlash orqali ularning adsorbsion-tuzilish xossalari tahlil qilish natijasiga ko'ra mazkur ko'mir namunalari mezo- va mikrog'ovakli ko'mirlar turiga mansubligi, adsorbsiyaning solishtirma yuzasi, monoqatlam sig'imi va umumiy adsorbsiya hajmi kabi xossalari bo'yicha xorijiy analoglarining xossalari qolishmasligi va ayrim xossalari esa ustun ekanligi aniqlangan hamda AU-KU va AU-T hamda adsorbsion faolligi yuqori va kullilik past bo'lgan AU-K faollashtirilgan ko'mir namunalari ishlatilgan aminlar eritmalarini tozalash bo'yicha o'tkaziladigan tadqiqotlar uchun tavsiya qilingan.

4. AU-KU, AU-T va AU-K faollashtirilgan ko'mir namunalari akril kislotada yordamida modifikatsiyalash usuli ishlab chiqilgan va bu usul yordamida modifikatsiyalangan ko'mir namunalarning IQ-spektr tahlili natijalariga asosan faollashtirilgan ko'mirni modifikatsiyalash akril kislotaning 15 % li eritmasini ko'mirga shimdirish va namunani 100°C haroratda 30 minut vaqtda initsiator sifatida 3 % li vodorod peroksidni qo'llash orqali amalga oshirish tavsiya qilingan.

5. Gazli gazni qayta ishlash zavodida regeneratsiyalangan MDEA eritmasini filtrlash orqali olib borilgan tadqiqotlar natijasiga asosan AG-3, AU-T va AU-K faollashtirilgan ko'mir namunalari nisbatan modifikatsiyalangan AU-T va AU-K ko'mir namunalari MDEA eritmasi tarkibidagi ko'piklanish va metallar korroziyasiga sabab bo'luvchi qo'shimchalarni: H₂S miqdori 0,06 dan 0,0015 mol/mol gacha; CO₂ 0,36 dan 0,01 mol/mol gacha; mineral tuzlar miqdori 8,90 dan 2,63 g/kg gacha kamaytirgani aniqlangan va bu natijalar me'yor talablariga javob berishi isbotlangan.

6. Muborak gazni qayta ishlash zavodida olib borilgan tadqiqot natijalariga asosan MDEA eritmasini modifikatsiyalangan AU-KU, AU-K va AU-T faollashtirilgan ko'mir namunalari bilan filtrlashdan keyin eritmaning ko'piklanish xossalari: ko'piklanish balandligi 42 mm dan 15 mm gacha, ko'pikning umri 33 sek. dan 9 sek. gacha kamaygani, shuningdek, H₂S miqdori 0,13 dan 0,002 mol/mol gacha; CO₂ 0,43 dan 0,015 mol/mol gacha; mineral tuzlar miqdori 9,48 dan 2,23 g/kg gacha kamaygani aniqlangan va bu natijalar zavodning NGH 39.2-22:2017 tashkilot standartida talab qilingan me'yorlarga mos kelishi isbotlangan.

7. Meva danaglari po'stlog'i va turli xil daraxtlar yog'ochi asosida modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir ishlab chiqarishning quvvati 300 t/yil bo'lgan texnologik tizim prinsipial sxemasi ishlab chiqilgan va kelgusida faollashtirilgan ko'mirni ishlab chiqarishni yo'lga qo'yish uchun asos sifatida tavsiya qilingan.

8. Quvvati 300 t/yil bo'lgan meva danaglari po'stlog'i va turli daraxtlar yog'ochi asosida modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir ishlab chiqarish texnologik tizimini ishga tushirish va unda yiliga 300 tonna modifikatsiyalangan faollashtirilgan ko'mir ishlab chiqarishdan kutilayotgan iqtisodiy samaradorlik: yillik foyda - 2,6051 mlrd. so'm; rentabellik darajasi - 82,5 %; investitsiyani qaytarish muddati ~1,9 yil; tannarx (1 t faollashtirilgan ko'mir) - 10,516 mln. so'm; bozor narxi (1 t faollashtirilgan ko'mir) - 19,2 mln. so'm; 1 tonnadagi foyda - 8,684 mln. so'mni tashkil qilgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/28.02.2022.Т.101.01 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ БУХАРСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**КАРШИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ОРИПОВА ЛОБАР НОРБОВНА

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
МОДИФИЦИРОВАННОГО АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ДЛЯ
ОЧИСТКИ МДЭА ОТ ПЕНООБРАЗУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ**

02.00.08 – Химия и технология нефти и газа

**АВТОРЕФЕРАТ диссертации доктора философии
(PhD) по ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Бухара – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2021.1.PhD/T2043

Диссертация выполнена в Каршинском государственном техническом университете
Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета (www.bstu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz)

Научный руководитель:

Хайитов Руслан Рустамжонович
доктор технических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Махмудов Мухтор Жамолович
доктор химических наук, профессор

Азимова Шодия Аббаровна
доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

Ведущая организация:

Каракалпакский государственный университет имени Бердака

Защита диссертации состоится 28-ноября 2025 года в 9⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.03/28.02.2022.T.101.01 по присуждению учёных степеней при Бухарском государственном техническом университете. (Адрес: 200117, г. Бухара, ул. К.Муртазаева, дом 15. Тел.: (99865) 223-78-84; Факс: (99865) 223-78-84; E-mail: bmti_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Бухарского государственного технического университета (зарегистрировано за № 395). (Адрес: 200117, г. Бухара, ул. К.Муртазаева, 15. Тел.: (99865) 223-78-84).

Автореферат диссертации разослан 13-ноября 2025 года.
(реестр протокол №12 от 20-августа 2025 года.)



С.Ф. Фозилов

Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор

А.Г. Олтиев

Ученый секретар научного совета по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, доцент

Х.Б. Дустов

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, доктор химических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире, интенсивное развитие нефтегазовой промышленности приводит к возрастающей потребности в производстве высококачественной нефтегазовой продукции, эффективных адсорбентов для сортирования и очистки веществ. В связи с этим, производство различных адсорбентов на основе органического и неорганического сырья: цеолитов, силикагелей, активированных углей, и их использование для улучшения качества нефти и нефтепродуктов, в процессах очистки природного газа от кислых компонентов имеет большое значение в областях нефте- и газопереработки, нефтегазохимии и химии полимеров.

На сегодняшний день в мире всё большее значение приобретает обоснование следующих научных решений по получению активированных углей для фильтрации ценных алканоламинов, используемых в процессе очистки природного газа от кислых компонентов, в частности: выбор подходящего сырья для получения микропористых активированных углей; определение оптимального температурного режима; изучение коллоидно-химических свойств полученных активированных углей, определение их структурного строения и химического состава; обоснование закономерностей влияния различных органических и неорганических веществ на пенообразующие свойства водных растворов алканоламинов, научное обоснование влияния активированных углей на предотвращение пенообразования.

В республике достигаются научные и практические результаты по расширению объёмов добычи природного газа, его качественной очистке и поставке потребителям, продлению срока службы импортируемых алканоламинов, используемых в процессе очистки, и предотвращению их больших потерь, а также производству различных видов активированного угля на основе местного сырья, улучшению их адсорбционных и коллоидно-химических свойств. В стратегии развития Нового Узбекистана указан ряд важных задач, как «Широкое внедрение инноваций в экономику, развитие кооперационных связей между промышленными предприятиями и научными учреждениями»¹. В этой связи особую важность имеет получение различных марок импортозамещающих и отвечающих требованиям активированных углей на основе местных природных ресурсов, их модификация различными методами с целью повышения их селективности, устранение проблем регенерации алканоламинов, используемых при очистке природного газа от кислых компонентов, исследование причин их вспенивания при повторном использовании, совершенствование технологий фильтрации активированных углей.

Исследования данной диссертации в определенной степени послужат реализации задач, обозначенных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28-января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-3983 от 25-октября 2018 года «О мерах по ускоренному развитию

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

химической промышленности Республики Узбекистан», № ПП-4265 от 3-апреля 2019 года «О мерах по дальнейшему реформированию и повышению инвестиционной привлекательности химической промышленности», а также других нормативно-правовых актах, связанных с данной деятельностью.

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

Степень изученности проблемы. Научно-исследовательские работы в области предотвращения вспенивания алканоламинов при очистке природного газа от кислых компонентов, а также получения активированных углей с фильтрующими свойствами и улучшения их адсорбционных свойств проведены такими мировыми учёными как М.М. Дубинин, Н.В. Кельцев, А.В. Киселев, С.С. Серпинский, Т.М. Бекиров, А.И. Афанасьев, Э.Дж. Стюарт, Г.А. Агаев, В.М. Капустин, а также отечественными учеными как К.С. Ахмедов, З.С. Салимов, Н.Д. Рябова, Г.У. Рахматкариев, С.З. Муминов, Н. Ёдгоров, Б.Н. Хамидов, Г.Р. Нарметова, Ш.М. Сайдахмедов, С.А. Абдурахимов, Ф.М. Юсупов, М.Г. Исмаилова, А.М. Кудратов, Б.Э. Шерматов, Р.Р. Хайитов и др.

Вышеуказанными учеными проводились исследования по предотвращению вспенивания алканоламинов, получению новых видов пеногасящих реагентов, разработке различных методов получения активированных углей, определению коллоидно-химических и адсорбционных показателей в зависимости от сферы их применения, разработке метода определения динамической емкости адсорбентов по стандартам органических веществ, получению эффективных адсорбентов, совершенствованию технологии очистки природного газа от кислых компонентов, разработке эффективных методов регенерации абсорбентов и адсорбентов.

Однако научно-исследовательские работы по изучению потер ценных алканоламинов при эксплуатации установок очистки природного газа и устранению этой проблемы, установлению закономерностей влияния содержания органических и неорганических веществ на пенообразующие свойства аминовых растворов, качественной регенерации и адсорбционной очистке отработанных алканоламинов, получению микропористых адсорбентов на основе органического сырья для адсорбционной очистки алканоламинов до настоящего времени не проводились.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация. Диссертация выполнена в соответствии с планом приоритетных направлений научно-исследовательской деятельности Каршинского государственного технического университета в рамках 8-го направления «Проблемы энерго- и ресурсосберегающих технологий нефтегазохимической промышленности и меры по их решению».

Целью исследования является разработка технологии получения модифицированного активированного угля для очистки метилдиэтанолamina (МДЭА) от пенообразующих компонентов.

Задачи исследования:

определение причин пенообразования МДЭА в процессе очистки природного газа;

исследование влияния органических и неорганических веществ на высоту и время пенообразования раствора МДЭА;

изучение структуры и свойств активированных углей, используемых в промышленности для адсорбционной очистки алканоламинов;

получение образцов активированного угля на основе местного сырья: скорлупы косточек урюка, древесины платана, тутовника, можжевельника, тополя и стеблей хлопчатника;

исследование параметров получения образцов активированного угля и процесса их активации;

исследование процесса химической активации полученных образцов активированного угля с использованием акриловой кислоты и определение их коллоидно-химических и адсорбционных свойств;

проведение исследований, связанных с процессом очистки отработанного раствора МДЭА полученными новыми образцами активированного угля;

разработка технологии получения активированного угля из местного сырья и создание лабораторной установки на ее основе;

изготовление опытно-промышленного образца активированного угля и проведение промышленных испытаний на соответствующих предприятиях;

подготовка и оформление научно-технической документации по результатам научных исследований.

В качестве **объектов исследования** выбраны 30% раствор МДЭА Газлинского газоперерабатывающего завода и 40% раствор МДЭА Мубарекского газоперерабатывающего завода, местное сырье: скорлупа косточек урюка, древесина платана, тутовника, можжевельника, тополя, а также стебел хлопчатника.

Предметом исследования является определение физико-химических, структурно-адсорбционных свойств и технических характеристик активированных углей, полученных на основе скорлупы косточек фруктов, параметров оптимального режима процесса их получения, а также технологических режимов лабораторной и производственной апробации активированных углей.

Методы исследования. При выполнении диссертационного исследования были использованы физико-химические (ИК-спектроскопия, анализы с использованием высоковакуумных весов Мак-Бена) и аналитико-химические методы анализа, а также физические и химические методы получения и активации угля.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

установлены закономерности влияния гидрофобных веществ: парафиновых, нафтеновых, ароматических углеводородов и конденсатных фракций, а также различных неорганических солей на пенообразующую способность МДЭА, научно обосновано, что они увеличивают высоту пены и время ее жизни, в то время как гидрофильные вещества как спирты и аминоспирты снижают пенообразование или не вызывают его вовсе;

разработан оптимальный режим процесса карбонизации сырья для получения микро- и мезопористого активированного угля на основе скорлупы косточек фруктов и древесины различных деревьев, с температурой 300-400 °С, временем 1 час, и активации карбонизата водяным паром температурой 800°С и временем 4 часа;

разработан способ модификации активированного угля путём замачивания угля в 15% растворе акриловой кислоты с использованием водяного пара и нагреванием образца при 100°С в течение 30 минут с использованием 3% перекиси водорода в качестве инициатора;

доказано, что за счет образования в составе модифицированного активированного угля полиакриловой кислоты $(C_2H_3COOH)_n$, акрилонитрила $(CH_2=CH-C\equiv N)$, полибутилметакрилата $(C_8H_{14}O_2)$, полиметилметакрилата $((C_5H_8O_2)_n)$ и других веществ с подобными многофункциональными группами, уголь способен адсорбировать не только органические, но и неорганические добавки, а именно катионы металлов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и NH_4^+ посредством ионного обмена.

разработана технология получения модифицированного активированного угля на основе скорлупы косточек фруктов и древесины различных пород деревьев для фильтрации растворов алканолamines, используемых в процессе аминовой очистки природного газа производительностью 300 тонн в год.

Практические результаты исследований заключаются в следующем:

разработана технология процесса получения активированного угля на основе скорлупы косточек фруктов, древесины различных деревьев и стебля хлопчатника и на ее основе создана лабораторная установка;

разработаны оптимальные режимы процесса карбонизации при производстве активированного угля физическим методом с использованием водяного пара и химическим методом с использованием акриловой кислоты;

собрана лабораторная установка для получения активированного угля на основе скорлупы косточек фруктов, древесины различных деревьев и стебля хлопчатника;

получены различные виды образцов активированного угля в собранной лабораторной установке.

Достоверность результатов исследований подтверждается результатами аналитического, физико-химического анализа, лабораторных экспериментов, производственных испытаний и определением производства активированных углей в соответствии с требованиями действующего стандарта.

Научно-практическая значимость результатов исследований. Научная значимость результатов исследований заключается в том, что установлены закономерности влияния гидрофобных веществ: парафиновых, нафтеновых, ароматических углеводородов и конденсатных фракций, а также различных неорганических солей на пенообразующую способность МДЭА, научно доказано, что они увеличивают высоту пены и время ее пребывания, в то время как гидрофильные вещества как спирты и аминоспирты снижают пенообразование или не вызывают его вовсе; разработан оптимальный режим процесса карбонизации сырья для получения микро- и мезопористого активированного угля на основе скорлупы косточек фруктов и древесины

различных деревьев, с температурой 300-400°C, временем 1 час, и активации карбонизата водяным паром температурой 800°C и временем 4 часа; разработан способ модификации активированного угля путём замачивания угля в 15% растворе акриловой кислоты с использованием водяного пара и нагреванием образца при 100°C в течение 30 минут с использованием 3% перекиси водорода в качестве инициатора; доказано, что за счет образования в составе модифицированного активированного угля полиакриловой кислоты $(C_2H_3COOH)_n$, акрилонитрила $(CH_2=CH-C\equiv N)$, полибутилметакрилата $(C_8H_{14}O_2)$, полиметилметакрилата $((C_5H_8O_2)_n)$ и других веществ с подобными многофункциональными группами, уголь способен адсорбировать не только органические, но и неорганические добавки, а именно катионы металлов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и NH_4^+ посредством ионного обмена.

Практическая значимость результатов исследований послужит проектированию технологии производства импортозамещающего модифицированного активированного угля на основе местного сырья, утилизации отработанного сырья путем переработки в полезный продукт, улучшению качества готовой продукции за счет разработки альтернативного варианта процесса производства активированного угля на основе скорлупы косточек фруктов и древесины различных деревьев, снижению содержания минеральных веществ в растворе МДЭА путем химической модификации образцов активированного угля с использованием акриловой кислоты, а также практическому применению местного активированного угля, который может составить конкуренцию углям марок АГ-3, НХ-30, используемым в промышленности.

Внедрение результатов исследований. На основе научных результатов, полученных при разработке технологии получения модифицированного активированного угля для очистки МДЭА от пенообразующих компонентов:

способ получения активированного угля на основе местного сырья: скорлупы урюковых косточек, древесины тутового и платанового деревьев и их модификации включён в перспективный план по внедрению в производственные процессы Газлийского нефтегазодобывающего управления (справка АО «Узбекнефтегаз» № 08-18-8-658 от 22-августа 2023 года). В результате обеспечивается снижение содержания пенообразующих и вызывающих коррозию металлов примесей в растворе МДЭА: количество H_2S – с 0,06 до 0,0015 моль/моль; количество CO_2 – с 0,36 до 0,01 моль/моль; содержание минеральных солей – с 8,90 до 2,63 г/кг;

технология получения активированных углей марок АУ-КУ, АУ-Т и АУ-К, модифицированных акриловой кислотой, включена в перспективные планы по внедрению в производственные процессы Газлийского нефтегазодобывающего управления и Мубарекского газоперерабатывающего завода (справка АО «Узбекнефтегаз» № 08-18-8-658 от 22-августа 2023 года). В результате высота пенообразования раствора МДЭА уменьшается – с 42 до 15 мм, время пенообразования – с 33 до 9 секунд, а также достигается снижение содержания пенообразующих и вызывающих коррозию металлов примесей в растворе МДЭА: количество H_2S – с 0,13 до 0,002 моль/моль, количество CO_2 – с 0,43 до 0,015 моль/моль, содержание минеральных солей – с 9,48 до 2,23 г/кг.

Апробация результатов исследований. Результаты исследований обсуждены на 2 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 1 монография и 6 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из которых 4 опубликованы в зарубежных и 2 в республиканских научных журналах.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 110 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении кратко описана постановка проблемы, обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, поставлены цели и задачи, объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, обоснованы научная новизна, достоверность практических результатов исследования, раскрыты теоретическая и практическая значимость результатов, приведены сведения о внедрении результатов в производство, апробации полученных результатов, а также о структуре и объеме диссертационной работы.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Современные технологии очистки природного газа от кислых компонентов и использование активированных углей»**, приведены актуальные данные о стремительном росте добычи природного газа в мире, состоянии мирового рейтинга в этой области, а также позиция нашей страны в данном рейтинге. В частности, рассмотрены проблемы переработки природного газа, различные методы и технологии очистки его от кислых компонентов, а также научно обоснованные данные по вопросам потерь алканоламинов при очистке природного газа от кислых компонентов. На основе анализа научно-исследовательских работ, проведенных в мире и в нашей стране по теме диссертации, сформулированы цель и задачи данного исследования.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **«Основные методы определения показателей качества активированных углей и исследование факторов вспенивания алканоламинов»** представлен анализ классических и современных методов, соответствующих государственным стандартам, определения структурных, адсорбционных и качественных показателей активированных углей. Также приведено специальное методическое руководство по определению пенообразующей способности растворов этаноламина на предприятиях по переработке природного газа. Установлены нормативные показатели пенообразующих свойств растворов этаноламина. Согласно этим нормативным показателям, высота пены в процессе вспенивания очищенного раствора этаноламина должна быть в пределах 25-40 мм, а время спада пены должно быть в пределах 10-20 секунд.

Было проведено исследование по определению вспенивания, возникающего при наличии различных примесей в 25% растворе МДЭА, результаты которого представлены на рис. 1.

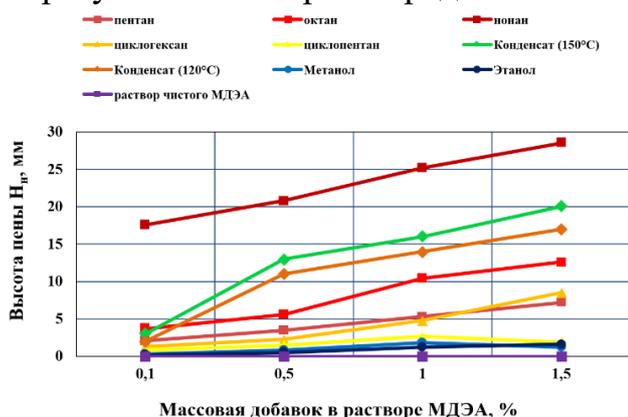


Рис. 1. График влияния различных добавок на пенообразующую способность 25% раствора МДЭА: 1 – пентан (C_5H_{12}); 2 – октан (C_8H_{18}); 3 – нонан (C_9H_{20}); 4 – ундекан ($C_{11}H_{24}$); 5 – циклогексан (C_6H_{12}); 6 – циклопентан (C_5H_{10}); 7 – конденсат фракции 150°C; 8 – конденсат фракции 120°C; 9 – метанол; 10 – этанол; 11 – раствор чистого МДЭА.

Приведенные данные показали, что практически все вещества в природном газе с месторождения вызывают вспенивание растворов аминов. Наибольшее вспенивание вызывают углеводороды с температурой кипения выше 100°C (конденсат, нефть), ПАВ и некоторые ингибиторы коррозии.

Кроме того, учитывая, что минеральные соли также вызывают вспенивание растворов этаноламина, был проведен эксперимент по определению влияния солей Na_2SO_4 , KCl , $MgCO_3$, $CaCO_3$ и NH_4Cl на вспенивание растворов МДЭА, результаты которого представлены на рис. 2.

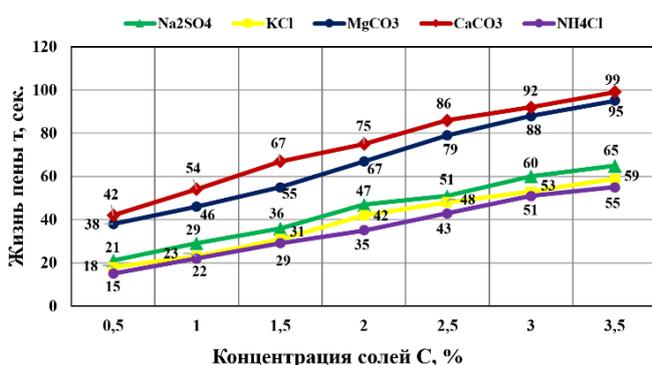


Рис. 2. Зависимость продолжительности жизни пены τ (с) от концентрации солей C (%) в растворе МДЭА.

Данный график показывает, что концентрация неорганических солей также влияет на вспенивание аминных растворов, т.е. с увеличением концентрации солей также увеличивается продолжительность вспенивания аминных растворов.

В третьей главе диссертации, озаглавленной «Исследование производства модифицированного активированного угля на основе местного сырья» представлены результаты исследований процесса получения активированного угля на основе скорлупы косточек фруктов и древесины различных пород, определения изотермы адсорбции бензола и структурных свойств образцов активированного угля, а также модифицирования активированного угля акриловой кислотой.

Исходя из цели работы, была разработана технологическая схема процесса получения образцов активированного угля на основе местного отходного сырья: скорлупы косточек урюка, стеблей хлопчатника, древесины тутовника, платана, тополя и можжевельника для адсорбционной очистки регенерированного раствора МДЭА от пенообразующих компонентов (рис. 3, а) и на ее основе собрана лабораторная установка (рис. 3, б).

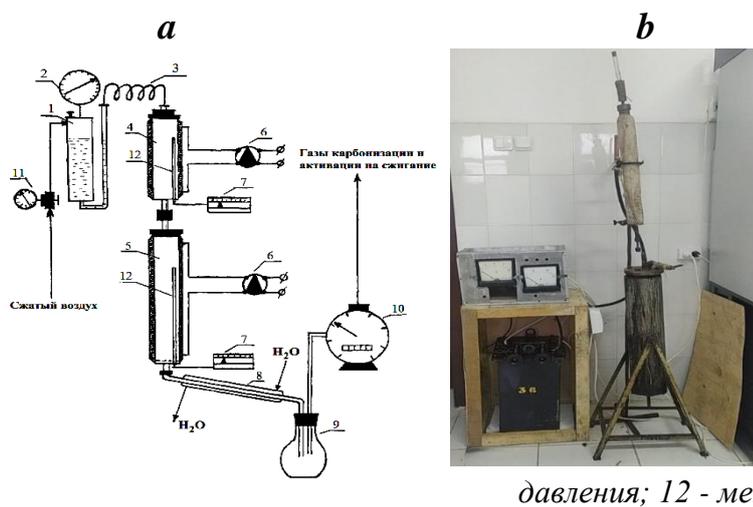


Рис. 3. Технологическая схема (а) и лабораторная установка (б) получения активированного угля из скорлупы косточек урюка, стеблей хлопчатника, древесины тутовника, платана, тополя и можжевельника: 1 - емкость для воды; 2 - манометр; 3 - медная капиллярная трубка; 4 - парогенератор; 5 - реактор карбонизации и активации; 6 - автотрансформатор; 7 - милливольтметр; 8 - охладитель; 9 - сборник; 10 - газомер; 11 - регулятор давления; 12 - металлическая трубка для термопары.

В ходе проведения исследований карбонизация сырья проводилась в лабораторном трубчатом реакторе объемом 0,25 м³ без доступа воздуха и при нагревании электрическим током. Температура внутри реактора контролировалась с помощью термопары и потенциометра. Процесс карбонизации проводили в диапазоне температур 300-500°С. Скорост повышения температуры составляла 7-10°С в минуту. Активацию карбонизата проводили в том же реакторе с использованием пара в интервале температур 600-800°С. Получены следующие результаты по процессу карбонизации скорлупы косточек урюка, стеблей хлопчатника, древесины тутовника, платана, тополя и можжевельника (табл. 1).

Таблица 1
Условия карбонизации скорлупы косточек урюка, стеблей хлопчатника, древесины тутовника, платана, тополя и можжевельника
(количество исходного сырья 1000 г, скорость повышения температуры 7-10°С в мин)

Образцы	Температура, °С	Масса карбонизата, г	Насыпная плотность г/дм ³	Зольность, %	Адсорбционная активность по С ₆ Н ₆ , г/100 г
АУ-КУ (скорлупы косточек урюка)	300	632	644	4,3	0,87
	400	613	623	4,8	1,18
	500	521	536	5,0	1,25
АУ-СХ (стебли хлопчатника)	300	566	586	4,2	0,15
	400	453	463	4,5	0,24
	500	345	368	5,3	0,46
АУ-Т (тутовник)	300	713	724	4,8	0,84
	400	671	677	5,2	1,06
	500	625	634	6,1	1,22
АУ-К (платан)	300	626	637	5,2	0,81
	400	611	620	6,5	0,98
	500	515	527	7,3	1,15
АУ-Топ (тополь)	300	619	624	4,2	0,34
	400	575	587	4,9	0,76
	500	505	512	5,6	0,82
АУ-Е (можжевельник)	300	676	688	4,7	0,57
	400	633	651	5,1	0,78
	500	583	598	6,3	1,01

Для активации полученных образцов карбонизата с использованием водяного пара температуру в реакторе повышали до 600°C и пропускали через образец карбонизата в реакторе водяной пар, нагретый до 200°C. Процесс активации образцов карбонизата водяным паром, проводили в интервале температур 600-800 °C в течение 2-6 часов. На основе проведённых экспериментов были разработаны номограммы, представленные на рисунках 4-6.

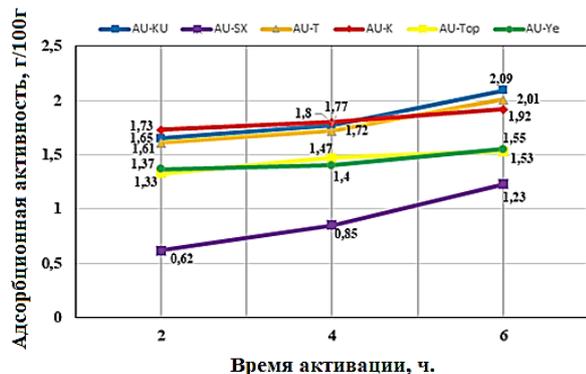
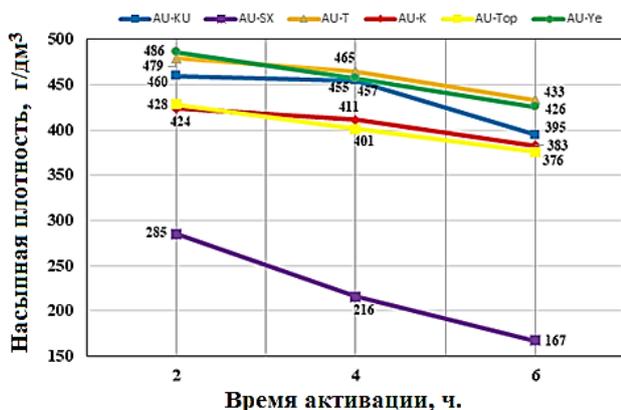


Рис. 5. График зависимости длительности процесса активации карбонизатов водяным паром при температуре 800°C от зольности активированных углей



Как видно из номограмм, представленных на рисунках 4-6, при повышении температуры процесса паровой активации карбонизатов в интервале 600-800°C адсорбционная активность образцов активированного угля по бензолу увеличивалась в диапазоне от 0,49 до 2,09 г/100 г, зольность возрастала от 5,3 до 11,5 %, в то время как насыпная плотность снижалась от 623 до 167 г/дм³. Следует также отметить, что при проведении активации при максимальной температуре 800°C и в течение 2-6 часов достигалась высокая адсорбционная активность, однако при этом также наблюдалось увеличение зольности и снижение насыпной плотности.

В настоящее время на Муборакском и Газлинском газоперерабатывающих заводах в качестве сорбента применяется активированный уголь марки АГ-3 производства Российской Федерации,

Рис. 4. График зависимости длительности процесса активации карбонизатов водяным паром при температуре 800°C от адсорбционной активности активированных углей

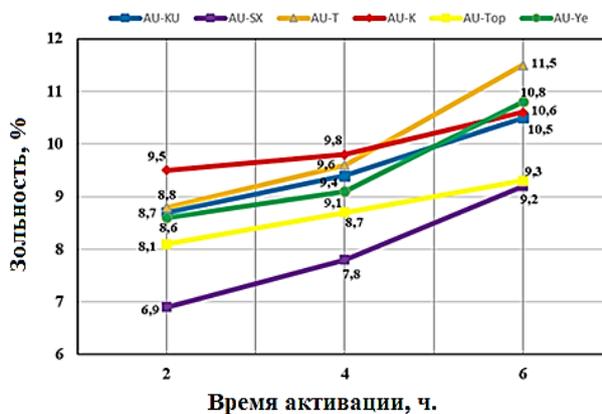


Рис. 6. График зависимости длительности процесса активации карбонизатов водяным паром при температуре 800°C от насыпной плотности активированных углей

который был принят в качестве аналога для сравнения с результатами диссертационного исследования. Нормативные показатели данного угля составляют: насыпная плотность – 400-500 г/дм³, зольность – 10-16 %. Анализ номограмм на рисунках 4-6 показывает, что образцы активированного угля с аналогичными показателями получены при активации карбонизатов паром при температуре 800°C в течение 4 часов. Таким образом, можно сделать вывод, что для получения высококачественного активированного угля на основе скорлупы косточек урюка, стеблей хлопчатника, древесины тутовника, платана, тополя и можжевельника оптимальными параметрами паровой активации карбонизатов являются температура 800°C и продолжительность процесса 4 часа.

Исследования по адсорбции бензола на образцах активированного угля марок АУ-КУ, АУ-Т и АУ-Топ проводились в высоковакуумной установке, снабженной ртутными вентилями и кварцевыми весами Мак-Бена, при остаточном давлении $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па и температуре 298 К. Степен удлинения пружины контролировали с помощью катетометра КМ-8. На рис. 7-9 представлены изотермы адсорбции бензола на образцах активированного угля марок АУ-КУ, АУ-Т и АУ-Топ.

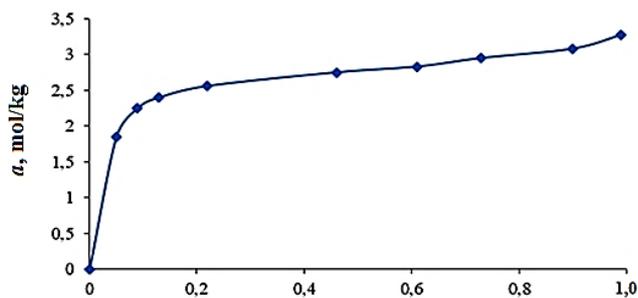


Рис. 7. Изотерма адсорбции бензола на активированном угле АУ-КУ

Рис. 8. Изотерма адсорбции бензола на активированном угле АУ-Т

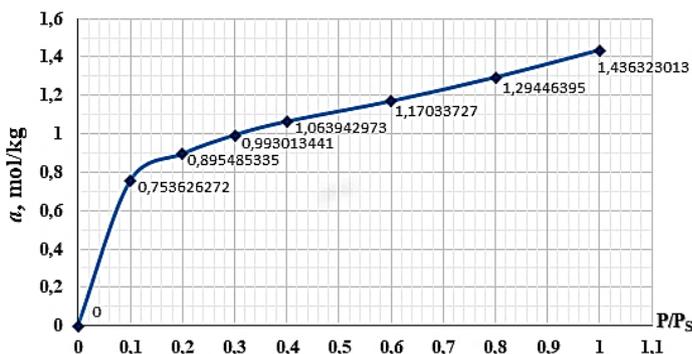
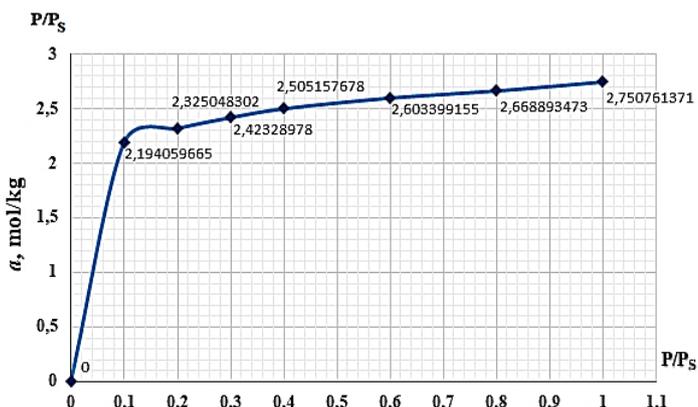


Рис. 9. Изотерма адсорбции бензола на активированном угле АУ-Топ.

На основании результатов, полученных при определении изотермы адсорбции бензола на образцах активированного угля, по уравнению БЭТ рассчитаны адсорбционно-структурные свойства адсорбентов, такие как удельная поверхность, емкость монослоя, емкость мезо- и микропор, общий адсорбционный объем. Полученные в результате расчетов результаты и адсорбционно-структурные свойства других импортируемых промышленных активированных углей представлены в табл. 2. На основании результатов определения изотерм адсорбции и адсорбционно-структурных свойств бензола на образцах активированных углей марок АУ-КУ, АУ-Т и АУ-Топ установлено, что данные активированные угли относятся к типу мезо- и микропористых углей.

Таблица 2

Адсорбционно-структурные свойства активированных углей

Образец	Радиус поры, Å (1Å=0,1нм)	a_m , мол/кг	Удельная поверхность, $S \cdot 10^{-3}$, м ² /г	Ёмкость микропор, $W_0 \cdot 10^{-3}$, м ³ /кг	Ёмкость мезопор, $W_{me} \cdot 10^{-3}$, м ³ /кг	Общий адсорбционный объём, $V_s \cdot 10^{-3}$, м ³ /кг
АУ-КУ	11,5 1,15	1,77	426	0,262	0,029	0,291
АУ-Т	12,5 1,25	1,62	390	0,234	0,01	0,244
АУ-Топ	15,9 1,59	0,66	161	0,111	0,02	0,128
БАУ	16,0 1,60	0,87	183	0,128	0,031	0,159
ОУ-А	9,00 0,90	2,12	475	0,390	0,140	0,530
ФАС	13,2 1,32	1,33	282	0,210	0,05	0,215
АУ на основе кокосового ореха	12,3 1,23	1,67	410	0,258	0,059	0,317
Антрацит-ный АУ	14,5 1,45	1,09	211	0,130	0,176	0,306

Установлено, что адсорбционно-структурные свойства активированных углей марок АУ-КУ и АУ-Т не уступают свойствам зарубежных аналогов, приведенных в табл. 2, а по некоторым свойствам превосходят их, за исключением адсорбционно-структурных свойств активированного угля марки АУ-Топ. Поэтому образцы АУ-КУ и АУ-Т, полученные из местного сырья, а также образцы активированного угля марки АУ-К с высокой адсорбционной активностью и низкой зольностью были рекомендованы для проведения исследований по очистке отработанных растворов аминов.

С учётом того, что в порах активированного угля, применяемого для частичной хемосорбции термостойких солей и других пенообразующих органических соединений, растворённых в водном растворе МДЭА,

содержится недостаточное количество функциональных групп и их активность ограничена, были проведены исследования по модификации образцов активированного угля с использованием акриловой кислоты. В ходе эксперимента изучались процессы сорбции акриловой кислоты в поры активированного угля, удерживания её внутри пор, а также превращения акриловой кислоты в полиакриловую кислоту с целью увеличения количества карбоксильных ($-COOH$) групп. На основании результатов исследований были разработаны номограммы, представленные на рисунках 10-11.

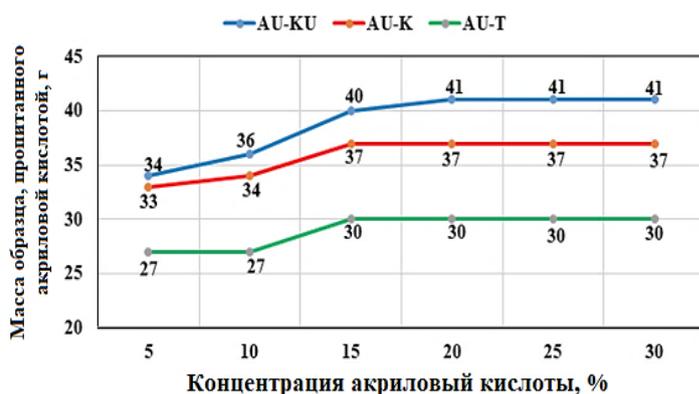
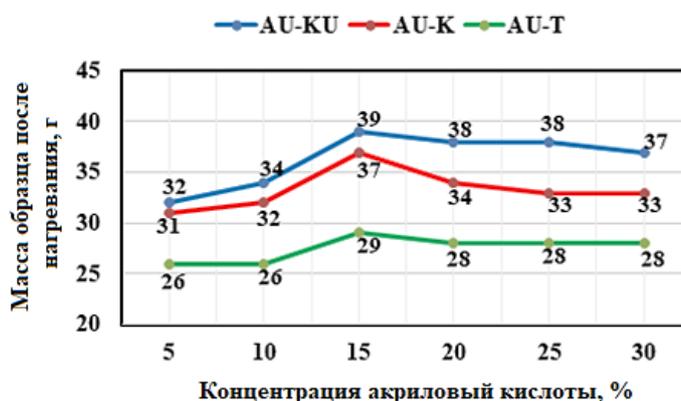


Рис. 10. График зависимости концентрации акриловой кислоты от массы, пропитанных ею образцов активированных углей

Рис. 11. График зависимости концентрации акриловой кислоты от массы пропитанных ею образцов активированных углей после нагревания



Анализ номограмм, приведённых на рисунках 10-11, показывает, что практически все образцы активированного угля поглотили наибольшее количество акриловой кислоты при использовании её 15%-ного водного раствора по сравнению с другими концентрациями. Кроме того, установлено, что после прогревания образцов, пропитанных 15%-ным раствором акриловой кислоты, при температуре $100^{\circ}C$ в течение 30 минут, в образцах сохраняется максимальная масса модифицирующего агента, что свидетельствует о наиболее эффективном формировании полиакриловой кислоты в порах угля.

С целью подтверждения образования и удерживания полиакриловой кислоты в виде полимерной формы в порах образцов активированного угля был проведён ИК-спектральный анализ модифицированных образцов. Результаты анализа приведены на рисунке 12 – на примере ИК-спектрограммы образца активированного угля, полученного из скорлупы косточек урюка и модифицированного 15%-ным раствором акриловой кислоты.

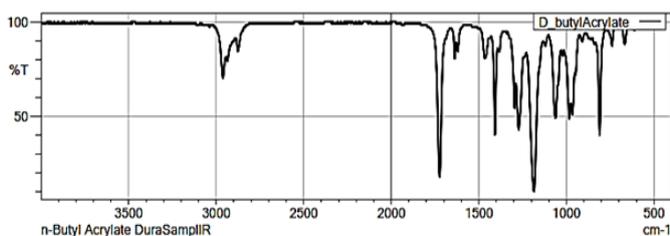


Рис. 12. ИК-спектрограмма образца, полученного при модификации активированного угля на основе скорлупы косточек урюка 15% акриловой кислотой

Анализ ИК-спектрограмм образцов, модифицированных 15% раствором акриловой кислоты, включая активированный уголь на основе скорлупы косточек урюка, представленный на рисунке 12, показал наличие различных органических соединений, образовавшихся в результате модификации. В частности, в составе модифицированных активированных углей были идентифицированы следующие соединения по соответствующим полосам поглощения: бутилакрилат ($C_7H_{12}O_2$) – 718 см^{-1} , изоамилформиат ($C_6H_{12}O_2$) 714 см^{-1} , этилакрилат ($C_5H_8O_2$) – 712 см^{-1} , метилвиниловый эфир малеиновой кислоты – $712, 698\text{ см}^{-1}$, полиакриловая кислота ($(C_2H_3COOH)_n$) – $701, 680\text{ см}^{-1}$, акрилонитрил ($CH_2=CH-C\equiv N$) – $675, 672\text{ см}^{-1}$, поли-2-гидроксиэтилметакрилат ($C_6H_{10}O_3$) – 674 см^{-1} , метилакрилат ($C_4H_6O_2$) – 669 см^{-1} , полибутилметакрилат ($C_8H_{14}O_2$) – 668 см^{-1} , полиметилметакрилат ($(C_5H_8O_2)_n$) – 662 см^{-1} .

Полученные данные свидетельствуют о том, что в порах активированного угля происходят химические превращения акриловой кислоты с образованием различных функциональных полимерных и мономерных соединений, обладающих потенциалом для повышения адсорбционной активности угля за счёт появления дополнительных активных центров.

В четвертой главе диссертации, озаглавленном **«Разработка технологии получения модифицированного активированного угля для очистки МДЭА от пенообразующих компонентов»**, представлены результаты исследований по разработке технологии производства модифицированного активированного угля на основе местного сырья, испытания полученных образцов в производственных условиях, изучению регенерации активированного угля, используемого для фильтрации алканоламинов, а также расчету ожидаемой экономической эффективности производства и внедрения модифицированного активированного угля на базе местного сырья.

На всех заводах по переработке природного газа в нашей республике ежегодно импортируется около 300 тонн активированного угля марок АГ-3 и НХ-30 (стоимость одной тонны составляет 2500-3000 долларов США) из России и Китая для очистки ценных алканоламиновых растворов, что является значительной экономической нагрузкой.

Исходя из этих данных, была разработана принципиальная схема технологической системы мощностью 300 тонн в год по производству модифицированного активированного угля на основе скорлупы фруктовых косточек и древесины различных пород деревьев. Эта схема представлена на рисунке 13.

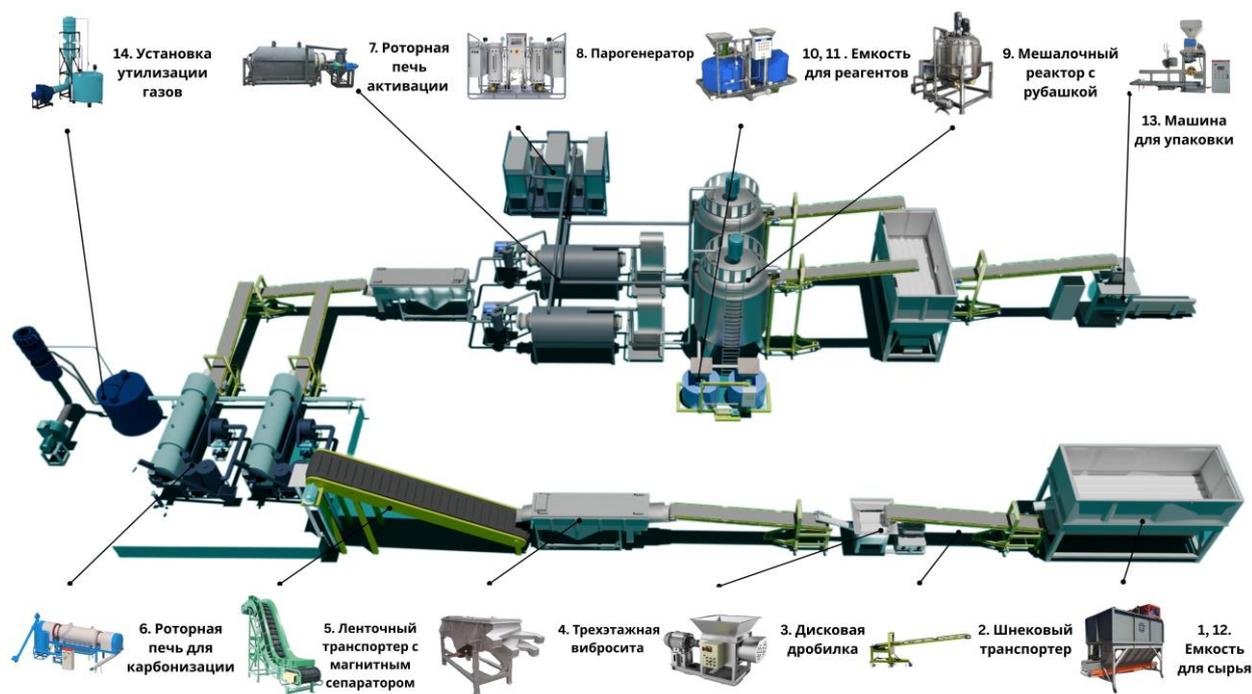


Рис. 13. Принципиальная схема технологии получения модифицированного активированного угля из скорлупы косточек фруктов и древесины различных пород мощностью 300 т/год

С учётом того, что при регенерации раствора МДЭА, использованного в установках очистки природного газа от сернистых компонентов на Газлинском и Мубарекском газоперерабатывающих заводах, применяется импортируемый из Российской Федерации активированный уголь марки АГ-3 для удаления пенообразующих добавок, были проведены экспериментальные испытания на основе углей АУ-Т и АУ-К, полученных из местного сырья. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

**Таблица 3
Результаты анализа регенерированного раствора МДЭА, полученного с 5-й технологической линии Газлинского газоперерабатывающего завода**

№	Образцы	Конц. %	Содержание H ₂ S мол/мол	Содержание CO ₂ мол/мол	pH	Содержание минералов, г/л	Общее содержание солей PSU г/кг	Плотность, кг/м ³
1.	Регенер. раствор	33,9	0,006	0,35	9,36	7846	8,90	1,034
Результаты после фильтрации								
2.	АГ-3	34,2	0,003	0,01	10,26	7735	8,90	1,032
3.	АУ-Т	34,6	0,004	0,02	10,36	7243	8,37	1,029
4.	АУ-К	34,0	0,002	0,01	10,41	7942	9,20	1,034
5.	АУ-Т (модифиц.)	35,4	0,0015	0,02	10,39	2,378	2,63	1,021
6.	АУ-К (модифиц.)	35,0	0,002	0,01	10,47	2,816	2,97	1,028

Согласно данным, приведённым в таблице 3, при фильтрации регенерированного раствора МДЭА с использованием образцов активированного угля АУ-Т и АУ-К наблюдалось снижение содержания пенообразующих и вызывающих коррозию металлов добавок: количество H_2S уменьшилось с 0,06 до 0,0015 моль/моль; CO_2 – с 0,36 до 0,01 моль/моль; минеральных солей – с 8,90 до 2,63 г/кг.

Результаты вышеуказанных испытаний показали, что после фильтрации раствора МДЭА через образцы активированного угля значение рН раствора увеличилось с 9,36 до 10,47, что свидетельствует о снижении содержания пенообразующих примесей. Кроме того, модифицированные акриловой кислотой образцы активированного угля АУ-Т и АУ-К продемонстрировали лучшие результаты по сравнению с немодифицированными. Особенно важно отметить, что при фильтрации регенерированного раствора МДЭА через импортируемый уголь АГ-3 содержание общей соли, первоначально составлявшее 8,90 г/кг, практически не изменилось. В то время как при использовании модифицированных активированных углей АУ-Т и АУ-К это значение снизилось соответственно до 2,63 и 2,97 г/кг.

Таблица 4

Результаты анализа раствора МДЭА, полученного из технологического блока 14-го цеха

Образцы		Характеристики вспенивания				
		Высота вспенивания, мм		Время (жизн) вспенивания, сек.		
Раствор предварительного МДЭА		42		33		
Результаты после фильтрования						
Фильтрат 1 (АГ-3)		17		11		
Фильтрат 2 (АУ-К модиф.)		15		11		
Фильтрат 3 (АУ-КУ модиф.)		16		9		
Фильтрат 4 (АУ-Т модиф.)		15		10		
Результаты анализа других показателей						
№	Образцы	Конц. %	Содержание H_2S мол/мол	Содержание CO_2 мол/мол	рН	Общее содержание солей PSU г/кг
1.	Регенерированный раствор МДЭА	35,7	0,13	0,43	9,30	9,48
Результаты после фильтрования						
2.	Фильтрат 1 (АГ-3)	39,5	0,003	0,018	10,62	7,63
3.	Фильтрат 2 (АУ-К модиф.)	39,6	0,004	0,021	10,63	2,23
4.	Фильтрат 3 (АУ-КУ модиф.)	40,01	0,002	0,016	10,84	4,93
5.	Фильтрат 4 (АУ-Т модиф.)	38,4	0,003	0,015	10,54	3,78

Минеральные соли, присутствующие в растворе регенерированного МДЭА, являются основным фактором, способствующим образованию и устойчивости пены в процессе очистки природного газа. Согласно данным научной литературы, допустимое содержание минеральных солей в растворах алканоламинов составляет от 0,1 до 0,5 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что после фильтрации регенерированного раствора МДЭА через модифицированные активированные угли АУ-Т и АУ-К общее содержание солей составило соответственно 0,263 % (2,63 г/кг) и 0,297 % (2,97 г/кг), что укладывается в допустимые нормативные пределы.

Следующий этап экспериментальных работ был проведен на Мубарекском газоперерабатывающем заводе. Раствор МДЭА, полученный из технологического блока 14-го цеха завода, был отфильтрован с использованием образцов активированного угля АУ-КУ, АУ-Т и АУ-К, и определены пенообразующие и физико-химические свойства отфильтрованного раствора МДЭА, а также проведено сравнение полученных результатов с показателями фильтрации угля АГ-3, используемого в практике на заводе. Полученные результаты представлены в таблице 4.

Как видно из результатов анализа, представленных в таблице 4, после фильтрации раствора МДЭА с использованием предлагаемых образцов активированного угля, показатели пенообразования раствора значительно изменились и соответствуют нормативным требованиям, установленным в организационном стандарте НГХ 39.2-22:2017 МГПЗ.

На основании результатов опытно-промышленных испытаний, проведенных на обоих газоперерабатывающих заводах, было доказано, что фильтрующая способность модифицированных образцов активированного угля – АУ-КУ, АУ-Т и АУ-К, полученных из местного сырья, превосходит фильтрующую способность активированного угля марки АГ-3, импортируемого из Российской Федерации и применяемого в настоящее время для очистки раствора МДЭА.

Таким образом, эффективность предложенных модифицированных активированных углей в процессе глубокой очистки раствора метилдиэтанолamina от пенообразующих примесей полностью подтверждена.

Экономическая эффективность и рентабельность технологической установки по производству модифицированного активированного угля из кожуры фруктовых косточек и древесины различных пород деревьев производственной мощностью 300 тонн в год, представленная на рисунке 13, была рассчитана следующим образом:

Годовой доход: стоимость 1 тонны активированного угля АГ-3 (РФ): 2000-2500 долларов США \times 12800 сум = 32 млн. сум; 300 т \times 32 млн. сум = 9,6 млрд. сум; стоимость 1 тонны местного модифицированного активированного угля: 1500 долларов США \times 12800 сум = 19,2 млн. сум; 300 т \times 19,2 млн. сум = 5,760 млрд. сум.

Рентабельность и экономическая эффективность:

Прибыль: 5,760 – 3,1549 = 2,6051 млрд. сум.

Уровень рентабельности:

$$\frac{\text{Прибыль}}{\text{Производственные затраты}} \times 100 = \frac{2,6051}{3,1549} \times 100 = 82,5\%$$

Срок покрытия инвестиций: $\frac{\text{Всего инвестиций}}{\text{Годовая прибыль}} = \frac{5,100}{2,6051} \approx 1,9 \text{ год}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлена закономерность влияния таких органических веществ, как парафины, нафтены, ароматические углеводороды, фракции конденсата, а также неорганических солей на способность алканоламинов к пенообразованию. На основе полученных данных обоснована необходимость очистки алканоламинов, содержащих указанные примеси.

2. Для процесса получения активированного угля из местного сырья: скорлупы косточек урюка, древесины тутовника, тополя, платана, можжевельника и стеблей хлопчатника разработан оптимальный режим, равный 1 часу для процесса карбонизации при температуре 300-400°C, а процесс активации водяным паром составил 4 часа при температуре 800°C, и принят за основу для разработки технологического устройства.

3. По результатам анализа адсорбционно-структурных свойств образцов активированного угля марок АУ-КУ, АУ-Т и АУ-Топ путем определения их изотермы адсорбции паров бензола установлено, что данные образцы угля относятся к типу мезо- и микропористых углей, по таким свойствам, как удельная адсорбционная поверхность, емкость монослоя и общий адсорбционный объем, не уступают зарубежным аналогам, а по некоторым свойствам превосходят их. Образцы активированного угля марок АУ-КУ и АУ-Т, а также АУ-К, обладающие высокой адсорбционной активностью и низкой адсорбционной емкостью, рекомендованы для проведения исследований по очистке отработанных аминовых растворов.

4. Разработан способ модификации образцов активированного угля марок АУ-КУ, АУ-Т и АУ-К с использованием акриловой кислоты и на основании результатов ИК-спектрального анализа образцов угля, модифицированных данным способом, рекомендовано проводить модификацию активированного угля путем замачивания угля в 15% растворе акриловой кислоты и нагревания образца при температуре 100°C в течение 30 минут с использованием в качестве инициатора 3% перекиси водорода.

5. На основании исследований, проведенных на Газлинском газоперерабатывающем заводе по фильтрации насыщенных и регенерированных растворов МДЭА, было установлено, что модифицированные образцы активированного угля АУ-Т и АУ-К по сравнению с немодифицированными углями марок АГ-3, АУ-Т и АУ-К значительно эффективнее снижают содержание примесей, вызывающих пенообразование и коррозию металлов в растворе МДЭА. В частности, было зафиксировано снижение: H_2S уменьшилось с 0,06 до 0,0015 моль/моль; CO_2 – с 0,36 до 0,01 моль/моль; минеральных солей – с 8,90 до 2,63 г/кг. Полученные результаты соответствуют нормативным требованиям, что подтверждает высокую эффективность применения модифицированных образцов АУ-Т и АУ-К для глубокой очистки раствора МДЭА.

6. По результатам исследований, проведенных на Мубарекском газоперерабатывающем заводе, доказано, что после фильтрации раствора МДЭА с модифицированными образцами активированного угля АУ-КУ, АУ-К и АУ-Т были выявлены следующие пенообразующие свойства раствора: высота пены снизилась с 42 мм до 15 мм, время жизни пены сократилось с 33

сек до 9 сек, а содержание H_2S снизилось с 0,13 до 0,002 моль/моль; CO_2 с 0,43 до 0,015 моль/моль; содержание минеральных солей снизилось с 9,48 до 2,23 г/кг, что соответствует стандартам, требуемым организационным стандартом завода НГХ 39.2-22:2017.

7. Разработана принципиальная схема технологической системы производства модифицированного активированного угля на основе скорлупы косточек фруктов и древесины различных пород мощностью 300 т/год, которая рекомендована в качестве основы для создания производства активированного угля в будущем.

8. Ожидаемая экономическая эффективность от запуска технологической системы производства модифицированного активированного угля на основе скорлупы косточек фруктов и древесины различных пород деревьев мощностью 300 т/год и выпуском 300 тонн модифицированного активированного угля в год: годовая прибыль - 2,6051 млрд. сум; уровень рентабельности - 82,5%; срок окупаемости инвестиций ~1,9 года; себестоимость (1 т активированного угля) - 10,516 млн. сум; рыночная цена (1 т активированного угля) - 19,2 млн. сум; прибыль на тонну составила 8,684 млн. сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/28.02.2022.T.101.01 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT BUKHARA STATE TECHNICAL
UNIVERSITY**

KARSHI STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ORIPOVA LOBAR

**DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF
MODIFIED ACTIVATED CARBON FOR THE PURIFICATION OF
MDEA FROM FOAM-FORMING COMPONENTS**

02.00.08 - Chemistry and technology of oil and gas

**DISSERTATION ABSTRACT of the doctor of philosophy (PhD) on
TECHNICAL SCIENCE**

Bukhara -2025

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) is registered at the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher education, science and innovations of Republic of Uzbekistan numbered B2021.1.PhD/T2043.

The dissertation was completed at the Karshi State Technical University.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (abstract)) is posted on the website of the Scientific Council (www.bstu.uz) and on the website of "ZiyoNet" information and educational portal (www.ziyo.net.uz).

Scientific supervisor: **Khayitov Ruslan**
doctor of technical sciences, senior staff scientist

Official opponents: **Makhmudov Mukhtor**
doctor of chemical sciences, professor

Azimova Shodiya
PhD in technical sciences, associate professor

Leading organization: **Karakalpak State University named after Berdak**

The defense of the dissertation will take place on November 28, 2025 at 9⁰⁰ at the meeting of Scientific Council DSc.03/28.02.2022.T.101.01 for awarding academic degrees at the Bukhara State Technical University (Address: 15, K.Murtazayev street, 200117, Bukhara. Phone: (998 65) 223-78-84, Fax: (998 65) 223-78-84. E-mail: bmti_info@edu.uz).

The dissertation has been registered at the Informational Resource Centre of Bukhara State Technical University (registered under number №395). (Address: 200117, K.Murtazayev street, 15. Bukhara, Phone: (998 65) 223-78-84).

Abstract of dissertation has been distributed on "13" November 2025.
(registry protocol № 12 dated August "20", 2025)



S.F.Fozilov
Chairman of the Scientific Council
on awarding scientific degrees, doctor of
technical sciences, professor

A.T.Oltiyev
Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees, doctor of
technical sciences, associate professor

Kh.B.Dustov
Chairman of scientific seminar under
Scientific Council on awarding scientific
degrees, doctor of chemical sciences,
professor

INTRODUCTION (annotation of PhD dissertation)

The purpose of the research is development of a technology for producing modified activated carbon for the purification of methyldiethanolamine (MDEA) from foam-forming components.

The objects of the research were 30% MDEA solution from the Gazli Gas Processing Plant and 40% MDEA solution from the Mubarak Gas Processing Plant, local raw materials: apricot kernel bark, wood of maple, mulberry, juniper, poplar trees, and cottonwood.

The scientific novelty of the research is as follows:

The patterns of impact of hydrophobic substances: paraffin, naphthenic, aromatic hydrocarbons and condensate fractions, as well as various inorganic salts on the foaming capacity of MDEA have been established; scientific studies have shown that these substances enhance the height and stability of foam, while hydrophilic compounds, including alcohols and amino alcohols, either suppress foaming or completely prevent its occurrence;

an optimal process mode for carbonization of raw materials for obtaining micro- and mesoporous activated carbon based on the shells of fruit pits and wood of various trees was developed, with a temperature of 300-400 °C, a time of 1 hour, and activation of the carbonizate with water vapor at a temperature of 800 °C and a time of 4 hours;

a method for modifying activated carbon by soaking the carbon in a 15% acrylic acid solution using water vapor and heating the sample at 100 °C for 30 minutes using 3% hydrogen peroxide as an initiator has been developed;

It has been established that the modified activated carbon contains polymeric compounds such as polyacrylic acid ((C₂H₃COOH)_n), acrylonitrile (CH₂=CH-C≡N), polybutyl methacrylate (C₈H₁₄O₂), polymethyl methacrylate ((C₅H₈O₂)_n), and other substances possessing multifunctional groups. The presence of these compounds enables the carbon not only to adsorb organic impurities but also to capture inorganic components, specifically metal cations such as Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺ – through ion-exchange mechanisms.

a technology for producing modified activated carbon based on fruit pit shells and wood from various tree species for filtering alkanolamine solutions used in the amine purification process for natural gas with a capacity of 300 tons per year has been developed.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained on the development of a technology for the process of obtaining modified activated carbon for cleaning MDEA from foam-forming components:

the method of obtaining activated carbon based on local raw materials: apricot kernel bark, mulberry and maple wood and their modification is included in the perspective plan of the Gas Oil and Gas Production Department for its implementation in production processes (Reference No. 08-18-8-658 of “Uzbekneftegaz” JSC dated august 22, 2023). As a result, the amount of foam-forming and metal-corrosion-causing additives in the MDEA solution: H₂S content

from 0,06 to 0,0015 mol/mol; CO₂ from 0,36 to 0,01 mol/mol; mineral salts content from 8,90 to 2,63 g/kg;

the technology for obtaining activated carbons of the AU-KU, AU-T and AU-K types modified with acrylic acid is included in the perspective plans for the implementation of the production processes of the Gas Oil and Gas Production Department and the Mubarak Gas Processing Plant (Reference No. 08-18-8-658 of “Uzbekneftegaz” JSC dated august 22, 2023). As a result, the foaming height of the MDEA solution will decrease from 42 to 15 mm, the foaming time from 33 to 9 sec., as well as the amount of foam-forming and metal-corrosion-causing additives in the MDEA solution: H₂S from 0,13 to 0,002 mol/mol, CO₂ from 0,43 to 0,015 mol/mol, and mineral salts from 9,48 to 2,23 g/kg.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 110 pages.

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

I bo'lim (I часть; part I)

1. Хайитов Р.Р., Орипова Л.Н. Активированный уголь из органического сырья для газоперерабатывающих заводов // Монография. - Бухара: Изд-во. «Дурдона», 2021. -144 стр.

2. Хайитов Р.Р., Орипова Л.Н. Получение активированного угля из древесного и косточкового сырья // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. - 2021. - №9(90). (02.00.00; № 01)

3. Хайитов Р.Р., Орипова Л.Н. Изучение физико-химических свойств раствора дэа до и после адсорбционной очистки активированным углем из скорлупы косточек урюка // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. -2021.-№12(93). (02.00.00; №01)

4. Орипова Л.Н., Хайитов Р.Р., Тлеумуратов К.Б., Наубеев Т.Х. Определение технических характеристик активированных углей, полученных из скорлупы косточек урюка и стебля хлопчатника // Фан ва технологиялар тараққиёти илмий – техникавий журнал. - 2021. -№3. -28-32 стр. (02.00.00; №14)

5. Oripova L.N., Hayitov R.R. Research of foaming characteristics of dea and mea // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology-Vol. 9, -Issue 5, -2022. Page.19328-19333. (SJIF:2022:6.684)

6. Oripova L.N., Hayitov R.R., Xudayberdiyev A. Testing new activated coals AU-T and AU-K from local raw materials when filtration of the waste MDEA at Gazlin gas processing plant // Scientific and Technical Journal of NamIET. - Volume 8-Issue 1-2023.-101-106 b. (05.00.00; № 33)

7. Oripova L.N. Tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalashning zamonaviy usullari va texnologiyalari // International Journal of Education, Social Science & Humanities.Finland Academic Research Science Publishers. Volume-13| Issue-5|. -P.453-457. (SJIF:2025:8.09).

II bo'lim (II часть; part II)

8. Oripova L.N., Hayitov R.R., Hotamov T.N. Obtaining activated carbon from the shells of apricot and peach seeds // International Journal On Orange Technologies ISSN: 2615-7071 Volume: 02 Issue: 11 | November 2020. -33-36-b.

9. Орипова Л.Н., Ахадов А.А., Муродов М.Н., Хайитов Р.Р., Тошкузиёв Т.М. Определение структурно-сорбционные свойства активированного угля, полученного из скорлупы косточек урюка // Science and education scientific journal. ISSN 2181-0842 Volume 2, ISSUE 1 January 2021. -52-58-b.

10. Орипова Л.Н., Хайитов Р.Р., Хотамов Т.Н., Савриёв М.С. Активированный уголь из местного сырья для газоперерабатывающих заводов республики // «Инновационные пути решения актуальных проблем развития

пищевой и нефтегазохимической промышленности» Материалы международной научно-практической конференции. – Бухоро (2020 йил 12-14 ноябр). – Том-1. – 423-426 б.

11. Л.Н. Орипова., Р.Р. Хайитов., Т.Н. Хотамов Изотерма адсорбции бензола на активированном угле, полученного из скорлупы косточек урюка // «Замонавий кимёнинг долзарб муаммолари» мавзусидаги Республика миқёсидаги хорижий олимлар иштирокидаги онлайн илмий-амалий анжумани тўплами. – Бухоро, 2020. – 329-330 б.

12. Орипова Л.Н., Хайитов Р.Р., Тлеумуратов К.Б., Наубеев Т.Х. Известные и местные углеродные адсорбенты для адсорбционной очистки реагентов нефтехимии // «Қорақалпоқистон Республикасида ишлаб чиқариш саноат соҳалари ривожининг долзарб муаммолари» мавзусидаги Республика илмий-амалий конференция. – Нукус, 2021. – 196-197 б.

13. Орипова Л.Н., Хайитов Р.Р. Изучение физико-химических свойств и технических характеристик промышленных алканоламинов, применяемых для аминовой очистки природного газа // «Нефт ва газ саноатида замонавий технологиялар ва инновациялар» мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани материаллар тўплами. – Қарши, 2021. – 198-203 б.

14. Орипова Л.Н., Ахадов А.А., Муродов М.Н., Хайитов Р.Р. Местный активированный уголь для газоперерабатывающих заводов республики // Материалы международной конференции «Инновационные подходы к развитию Образовательно-производственного кластера в нефтегазовой отрасли». – Ташкент, 2022. – Том-1. – 108-110 б.

15. Орипова Л.Н., Бахрамов Н.И., Хайитов Р.Р. Очистка раствора МДЭА с помощью активированного угля из органического сырья // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Применение инновационных технологии и рациональная эксплуатация нефтяных и газовых месторождений». – Ташкент, 2022. – 208-211 б.

16. Орипова Л.Н., Бахрамов Н.И., Хайитов Р.Р. Использование графитового сорбента СТРГ в нефтехимии // «Та’лим-ishlab chiqarish klasterida yoshlarning o’rni» mavzusidagi Respublika ilmiy-texnikaviy anjumani to’plami. – G’uzor, 2022. – 180-182 b.

17. Oripova L.N., Hayitov R.R. Tabiiy gazni nordon komponentlardan tozalashda faollashtirilgan ko’mirlardan foydalanish // “Neft va gaz sohasida kadrlar tayyorlash sifatini oshirishda ta’lim va ishlab chiqarish klasterining ahamiyati” mavzusidagi Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjumani materiallar to’plami. – Qarshi, 2025. – 132-135 b.

Avtoreferat “Durdona” nashriyotida tahrirdan o‘tkazildi hamda o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarning mosligi tekshirildi.

Bosishga ruxsat etildi: 7.11.2025-yil. Bichimi 60x84 ¹/₁₆,
“Times New Roman” garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3. Adadi: 100 nusxa. Buyurtma № 356.

Guvohnoma AI №178. 08.12.2010.
“Sadridin Salim Buxoriy” MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Buxoro shahri, M.Iqbol ko‘chasi, 11-uy. Tel.: 65 221-26-45

